

DIN EN 13480-3**DIN**

ICS 23.040.01

Ersatz für
DIN EN 13480-3:2014-12,
DIN EN 13480-3
Berichtigung 1:2015-12,
DIN EN 13480-3
Berichtigung 2:2016-10 und
DIN EN 13480-3/A1:2017-11

**Metallische industrielle Rohrleitungen –
Teil 3: Konstruktion und Berechnung;
Deutsche Fassung EN 13480-3:2017**

Metallic industrial piping –
Part 3: Design and calculation;
German version EN 13480-3:2017

Tuyauteries industrielles métalliques –
Partie 3: Conception et calcul;
Version allemande EN 13480-3:2017

Gesamtumfang 367 Seiten

DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD)



Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13480-3:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 267 „Metallische industrielle Rohrleitungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird. Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 082-00-17 AA im DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD).

Dieser Teil von DIN EN 13480 enthält alle in Zusammenhang mit der Berechnung und Konstruktion für Rohrleitungssysteme nach dieser Europäischen Norm relevanten Festlegungen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13480-3:2014-12, DIN EN 13480-3 Berichtigung 1:2015-12, DIN EN 13480-3 Berichtigung 2:2016-10 und DIN EN 13480-3/A1:2017-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aktualisierung der normativen Verweisungen;
- b) Ergänzung von Normativen Verweisungen in Abschnitt 2 hinsichtlich der Arten von Prüfbescheinigungen für metallische Erzeugnisse und der Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe;
- c) Überarbeitung von 4.2.3.4 zum Berechnungsdruck;
- d) Überarbeitung von 4.3 zur Wanddicke;
- e) Überarbeitung von 4.6 zur Dimensionierung von druckbeaufschlagten Rohrleitungsbau Teilen;
- f) Überarbeitung von 5.2 zur zeitunabhängigen zulässigen Spannung;
- g) Überarbeitung von 5.3 zur zeitabhängigen zulässigen Spannung;
- h) Überarbeitung von 6.2.3 zur erforderlichen Wanddicke;
- i) Überarbeitung von 6.3 zu den Segmentkrümmern;
- j) Überarbeitung von 6.4.4 zu den Kegelschalen;
- k) Überarbeitung von 6.6 zu den verschraubten Flanschverbindungen;
- l) Überarbeitung von Tabelle 7.2.4-1 zu den empfohlenen Dichtungsbeiwerten und Werten für Mindestflächenpressung;
- m) Überarbeitung von Abschnitt 8 zu Ausschnitten und Abzweigen;
- n) Hinzufügung von 8.3.9 zum geschmiedeten T-Stück;
- o) Überarbeitung von 10.3.2.3 zur Ermittlung der zulässigen Lastspielzahl;
- p) Überarbeitung von Abschnitt 11 zu festen Anbauteilen;
- q) Überarbeitung von 12.1.3 zu den zulässigen Spannungen;
- r) Überarbeitung von 12.2 zur Elastizität von Rohrleitungen;

- s) Überarbeitung von 12.3 zur Elastizitätsanalyse;
- t) Hinzufügung von 12.3.8 zu alternativen Methoden zur Spannungsberechnung;
- u) Überarbeitung von Abschnitt 13 zu Rohrhalterungen;
- v) Überarbeitung von Anhang B zur genaueren Berechnung von Rohrbiegungen und Bögen;
- w) Überarbeitung von Anhang C zu Kompensatoren;
- x) Überarbeitung von Anhang D zu Flanschen;
- y) Überarbeitung von Anhang E zur Auslegung von Abzweiganschlüssen in Rohrleitungsbauteilen;
- z) Überarbeitung von Anhang H zu Elastizität, Elastizitäts- und Spannungserhöhungsfaktoren sowie Widerstandsmomenten von Rohrleitungsbauteilen und geometrischen Diskontinuitäten;
- aa) Überarbeitung von Anhang I zur Fertigungsprüfungen von federnden Halterungen und Stoßbremsen;
- bb) Überarbeitung von Anhang K zur Befestigung von Rohrhalterungen an Tragwerken;
- cc) Überarbeitung von Anhang L zum Knicken von stabförmigen Rohrhalterungen;
- dd) Überarbeitung von Anhang N zur Dokumentation für Rohrhalterungen;
- ee) Ergänzung des neuen Anhang O zum alternativen Verfahren für die Prüfung von Abzweigverbindungen;
- ff) Überarbeitung des Anhangs P zu empfohlenen Dichtungen für industrielle Rohrleitungen;
- gg) Ergänzung des neuen Anhang Q zur vereinfachten Analyse von Spannungen in Rohrleitungen;
- hh) Überarbeitung des Anhang ZA in Verbindung zur Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU;
- ii) Aktualisierung der Literaturhinweise;
- jj) editorielle Überarbeitung der Norm.

Frühere Ausgaben

- DIN 2413: 1927-01, 1936-09, 1954-05, 1966-06, 1972-06
 DIN 2413-1: 1993-10
 DIN 2413-2: 1993-10
 DIN EN 13480-3: 2002-08, 2012-11, 2013-11, 2014-12
 DIN EN 13480-3/A1: 2005-11, 2017-11
 DIN EN 13480-3 Berichtigung 1: 2005-12, 2015-12
 DIN EN 13480-3 Berichtigung 2: 2006-06, 2016-10
 DIN EN 13480-3/A2: 2007-02
 DIN EN 13480-3 Berichtigung 3: 2007-05
 DIN EN 13480-3/A3: 2009-11
 DIN EN 13480-3/A4: 2010-10

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 13480-3

Juni 2017

ICS 23.040.01

Ersatz für EN 13480-3:2012

Deutsche Fassung

Metallische industrielle Rohrleitungen - Teil 3: Konstruktion
und Berechnung

Metallic industrial piping - Part 3: Design and
calculation

Tuyauteries industrielles métalliques - Partie 3:
Conception et calcul

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. Juni 2017 angenommen.

Die CEN-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-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute 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, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	10
1 Anwendungsbereich.....	12
2 Normative Verweisungen.....	12
3 Begriffe, Symbole und Einheiten.....	13
3.1 Begriffe	13
3.2 Symbole und Einheiten.....	13
4 Grundlegende Auslegungskriterien	15
4.1 Allgemeines	15
4.2 Belastungen	15
4.2.1 Allgemeines	15
4.2.2 Kombination von Lasten	16
4.2.3 Bei der Dimensionierung zu berücksichtigende Lasten	16
4.2.4 Weitere zu berücksichtigende Belastungen	18
4.2.5 Auslegungsbedingungen	19
4.3 Wanddicke	22
4.4 Toleranzen	25
4.5 Schweißnahtfaktor	25
4.6 Dimensionierung von druckbeaufschlagten Rohrleitungsbauten	26
5 Zulässige Spannungen	26
5.1 Allgemeines	26
5.2 Zeitunabhängige zulässige Spannung	27
5.2.1 Nichtaustenitische Stähle	27
5.2.2 Austenitische Stähle	27
5.2.3 Nickel-, Chromnickel- und Chromstähle	28
5.2.4 Stahlguss	28
5.2.5 Zusätzliche Anforderungen an Stähle ohne besondere Qualitätsüberwachung	28
5.3 Zeitabhängige zulässige Spannung	29
5.3.1 Allgemeines	29
5.3.2 Stähle	29
5.3.3 Nickel-, Chromnickel- und Chromstähle	30
6 Auslegung von Rohrleitungsbauten unter Innendruck.....	30
6.1 Gerade Rohre	30
6.2 Rohrbiegungen und Rohrbögen	30
6.2.1 Allgemeines	30
6.2.2 Symbole	31
6.2.3 Erforderliche Wanddicke	31
6.3 Segmentkrümmer.....	32
6.3.1 Allgemeines	32
6.3.2 Symbole	32
6.3.3 Effektiver Radius des Segmentkrümmers	33
6.3.4 Segmentkrümmer mit mehr als einem Gehrungsschnitt	33
6.3.5 Segmentkrümmer mit einem Gehrungsschnitt	34
6.3.6 An Segmentkrümmer anschließende gerade Rohrsegmente	34
6.4 Reduzierstücke	34

6.4.1	Gültigkeitsbedingungen.....	34
6.4.2	Spezielle Begriffe	35
6.4.3	Spezielle Symbole und Abkürzungen.....	35
6.4.4	Kegelschalen	36
6.4.5	Verbindungsstellen - Allgemeines.....	37
6.4.6	Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder ohne Krempe und einem Kegel an dessen großem Durchmesserende	37
6.4.7	Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder mit Krempe und einem Kegel an dessen großem Durchmesserende	40
6.4.8	Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder und einem Kegel an dessen kleinem Durchmesserende	41
6.4.9	Reduzierstücke mit Mittellinienversatz	43
6.4.10	Geschmiedete Spezialreduzierstücke.....	43
6.5	Flexible Rohrleitungselemente	44
6.5.1	Allgemeines	44
6.5.2	Kompensatoren.....	44
6.5.3	Wellschlauchleitungen	46
6.6	Verschraubte Flanschverbindungen	47
6.6.1	Allgemeines	47
6.6.2	Symbole.....	47
6.6.3	Genormter Flansch.....	47
6.6.4	Nicht genormter Flansch	48
7	Auslegung von Böden unter Innendruck.....	48
7.1	Gewölbte Böden	48
7.1.1	Symbole.....	48
7.1.2	Halbkugelförmige Böden.....	49
7.1.3	Torisphärische Böden.....	50
7.1.4	Elliptische Böden	51
7.1.5	Berechnung des Beiwerts β	52
7.2	Runde ebene Böden	56
7.2.1	Allgemeines	56
7.2.2	Symbole.....	56
7.2.3	Mit Zylinderschalen oder Rohren verschweißte ebene runde Böden, nicht verankert.....	58
7.2.4	Unverankerte, verschraubte ebene runde Böden	65
7.2.5	Verstärkung von Ausschnitten in unverankerten ebenen Böden	71
8	Ausschnitte und Abzweige	74
8.1	Allgemeines	74
8.2	Symbole.....	74
8.3	Einschränkungen.....	75
8.3.1	Wanddickenverhältnis	75
8.3.2	Ausschnitte im Bereich von Störstellen	77
8.3.3	Verfahren zur Verstärkung.....	79
8.3.4	Berechnungsverfahren.....	80
8.3.5	Elliptische Ausschnitte und schräge Abzweige	80
8.3.6	Verstärkungsscheiben	82
8.3.7	Unterschiedliche Werkstoffe von Schale und Verstärkung	82
8.3.8	Ausgehalste Abzweige	82
8.3.9	Geschmiedetes T-Stück	82
8.3.10	Abzweige in Rohrbiegungen oder -bögen	83
8.3.11	Eingeschraubte Stutzen	83
8.4	Einzelaußenschnitte.....	84
8.4.1	Allgemeines	84
8.4.2	Unverstärkte Ausschnitte	87

8.4.3	Verstärkte Ausschnitte mit Durchmesserverhältnissen $d_i/D_i < 0,8$	87
8.4.4	Verstärkung von Einzelausschnitten mit $0,8 < d/D \leq 1,0$	93
8.5	Benachbarte Ausschnitte	93
8.5.1	Unverstärkte Ausschnitte	93
8.5.2	Verstärkte Ausschnitte mit $d/D \leq 0,8$	93
8.6	Auslegung besonderer Rohrleitungsbauenteile	94
8.6.1	Zylindrische Y-Abzweige	94
8.6.2	Kugelförmige Y-Abzweige	95
8.6.3	Abzweige mit rippenförmiger Verstärkung	96
9	Auslegung von Rohrleitungsbauenteilen unter Außendruck	97
9.1	Allgemeines	97
9.2	Symbole und Elastizitätsgrenzen	99
9.2.1	Symbole	99
9.2.2	Elastizitätsgrenzen	101
9.3	Zylindrische Rohre, Rohrbiegungen und Rohrbögen	101
9.3.1	Ermittlung der Längen	101
9.3.2	Versagen zwischen Versteifungen	103
9.3.3	Gesamtversagen von versteiften Rohren	105
9.3.4	Stabilität von Versteifungen	106
9.3.5	Heiz- oder Kühlkanäle	109
9.4	Reduzierstücke (kegelförmige Rohre)	110
9.5	Gewölbte Böden	112
9.5.1	Halbkugelförmige Böden	112
9.5.2	Torisphärische Böden	113
9.5.3	Elliptische Böden	113
10	Auslegung für Wechselbeanspruchung	113
10.1	Allgemeines	113
10.2	Ausnahmen von einer Ermüdungsanalyse	113
10.3	Auslegung für Wechselbeanspruchung durch Druckschwankungen	114
10.3.1	Anzahl äquivalenter Volllastspiele	114
10.3.2	Vereinfachte Auslegung für Wechselbeanspruchung	114
10.4	Auslegung gegen Ermüdung durch Wärmebeanspruchung	129
10.4.1	Allgemeines	129
10.4.2	Hinweise zur Auslegung	129
10.5	Auslegung gegen Ermüdung durch Lastkombinationen	130
11	Feste Anbauteile	130
11.1	Allgemeines	130
11.2	Zulässige Spannungen	130
11.3	Symbole	131
11.4	Rohrförmige Anbauteile	133
11.4.1	Einschränkungen	133
11.4.2	Vorausgehende Berechnungen	133
11.4.3	Spannungsberechnung für mit durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile	135
11.4.4	Spannungsberechnung für mit Kehlnähten oder teilweise durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile	136
11.5	Rechteckige Anbauteile	136
11.5.1	Einschränkungen	136
11.5.2	Vorausgehende Berechnungen	136
11.5.3	Spannungsberechnung für mit durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile	138
11.5.4	Spannungsberechnung für mit Kehlnähten oder teilweise durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile	139

11.6	Spannungsberechnung des Grundrohrs	139
11.7	Berechnung der Schubspannung in Anbauteilen	141
11.7.1	Rohrförmige Anbauteile	141
11.7.2	Rechteckige Anbauteile.....	141
11.8	Alternative Berechnungsverfahren.....	141
12	Spannungsanalyse und Annahmekriterien	141
12.1	Grundlegende Bedingungen.....	141
12.1.1	Allgemeines	141
12.1.2	Lastzustände	142
12.1.3	Zulässige Spannungen	142
12.2	Elastizität von Rohrleitungen	144
12.2.1	Allgemeines	144
12.2.2	Grundlegende Bedingungen.....	144
12.2.3	Dehnungen durch aufgeprägte Verschiebungen	144
12.2.4	Spannungen durch aufgeprägte Verschiebungen.....	145
12.2.5	Spannungsschwingbreite	146
12.2.6	Kaltvorspannung	146
12.2.7	Parameter für die Elastizitätsanalyse.....	147
12.2.8	Stützzustände.....	147
12.2.9	Kompensatoren.....	149
12.2.10	Elastizitätsanalyse	149
12.3	Elastizitätsanalyse	151
12.3.1	Allgemeines	151
12.3.2	Spannungen aufgrund ständig wirkender Lasten	152
12.3.3	Spannungen aufgrund gelegentlich wirkender oder außergewöhnlicher Lasten	152
12.3.4	Spannungsschwingbreite aufgrund von Wärmeausdehnung und Wechselbeanspruchung..	153
12.3.5	Zusätzliche Bedingungen für den Zeitstandbereich.....	154
12.3.6	Spannungen aufgrund einmaliger Verschiebung von Rohrhalterungen	154
12.3.7	Bestimmung der resultierenden Momente.....	155
12.3.8	Alternative Methode zur Spannungsberechnung.....	157
12.3.9	Reaktionskräfte	157
12.4	Ermüdungsanalyse	157
12.5	Schwingungen.....	157
13	Rohrhalterungen	158
13.1	Allgemeine Anforderungen	158
13.1.1	Allgemeines	158
13.1.2	Klassifizierung der Halterungen.....	158
13.1.3	Zusätzliche Definitionen.....	159
13.1.4	Abgrenzung.....	161
13.1.5	An das Rohr geschweißte Rohrhalterungen.....	163
13.2	Auswahl der Rohrhalterungen	164
13.2.1	Allgemeines	164
13.2.2	Einzelheiten der Auslegung von Rohrhalterungen	165
13.2.3	Lage der Halterungen.....	166
13.3	Konstanthänger/ Konstantstützen	166
13.3.1	Allgemeines	166
13.3.2	Lastabweichung von der Einstelllast.....	166
13.3.3	Verstellung der Einstelllast auf der Baustelle	166
13.3.4	Wegreserve	166
13.3.5	Blockierung	167
13.3.6	Identifikationskennzeichnung/Typenschild	167
13.4	Federhänger / Federstützen	167
13.4.1	Allgemeines	167
13.4.2	Toleranzen der Federrate	168

13.4.3 Wegreserve	168
13.4.4 Blockierung	168
13.4.5 Typenschild	168
13.5 Gelenkstreben	169
13.6 Stoßbremsen	169
13.7 Gleitlager	170
13.8 Festpunkte	170
13.9 Dokumentation von Rohrhalterungen	170
13.10 Kennzeichnung von Rohrhalterungen	170
13.11 Herstellung von Rohrhalterungen	170
13.11.1 Materialanforderungen	170
13.11.2 Auslegungstemperaturen für Halterungsbauteile	171
13.11.3 Konstruktionsdetails	172
13.11.4 Bestimmung der Bauteilabmessungen	172
13.11.5 Geschweißte Verbindungen	174
13.11.6 Gewindeverbindungen	176
13.11.7 Zusätzliche Anforderungen an Federn	177
13.11.8 Auslegungsdetails für Gelenkstreben	177
13.11.9 Auslegungsdetails für Stoßbremsen	178
13.11.10 Schellen für Stoßbremsen, Gelenkstreben	179
Anhang A (informativ) Dynamische Analyse	180
A.1 Allgemeines	180
A.2 Analyse durch Berechnung	180
A.2.1 Seismische Ereignisse	180
A.2.2 Schlagartiges Schließen von Ventilen	184
A.2.3 Strömungsinduzierte Schwingungen	187
A.2.4 Öffnen von Sicherheitsventilen	189
A.2.5 Zulässige Spannungen	192
A.3 Alternative Nachweisverfahren	192
A.3.1 Vergleichende Untersuchungen	192
A.3.2 Prüfung am vollmaßstäblichen Modell	192
A.3.3 Prüfung am maßstäblich verkleinerten Modell	192
Anhang B (normativ) Genauere Berechnung von Rohrbiegungen und Bögen	193
B.1 Allgemeines	193
B.2 Symbole	193
B.3 Geforderte Wanddicke	194
B.4 Berechnung	195
B.4.1 Berechnung der Wanddicke	195
B.4.2 Spannungsberechnung	197
Anhang C (informativ) Kompensatoren	201
C.1 Einbau von Kompensatoren in Rohrleitungssysteme	201
C.1.1 Allgemeines	201
C.1.2 Kompensatortypen	202
C.1.3 Auslegung von Kompensatoren	202
C.1.4 Konstruktion von Rohrleitungen unter Verwendung von Kompensatoren	203
C.1.5 Analyse und Berechnung	205
C.1.6 Kaltvorspannung	206
C.2 Maximale Führungsabstände für gerade Rohrleitungen mit unverspannten Axialkompensatoren	206
C.2.1 Allgemeines	206
C.2.2 Berechnungsregeln	206
C.2.3 Maximale Führungsabstände für festgelegte Bedingungen	207
C.3 Angaben zur Auslegung von Kompensatoren	209

C.3.1	Allgemeines	209
C.3.2	Angaben für den Systemanalytiker.....	209
Anhang D (normativ) Flansche.....		210
D.1	Zweck.....	210
D.2	Spezielle Begriffe	210
D.3	Spezielle Symbole und Abkürzungen.....	211
D.4	Allgemeines	212
D.4.1	Einleitung	212
D.4.2	Verwendung von genormten Flanschen ohne Berechnung.....	212
D.4.3	Verschraubung	213
D.4.4	Flanschkonstruktion	215
D.4.5	Maschinelle Bearbeitung.....	215
D.4.6	Dichtungen.....	215
D.5	Schmale Flansche mit Dichtung	216
D.5.1	Allgemeines	216
D.5.2	Schraubenlasten und -flächen	219
D.5.3	Flanschmomente	220
D.5.4	Flanschspannungen und Spannungsgrenzwerte	220
D.5.5	Schmale Flansche unter Außendruck	226
D.5.6	Überlappungsstöße	226
D.5.7	Geteilter Losflansch	229
D.6	Breite Flansche mit ringförmigen Weichstoffdichtungen	230
D.6.1	Spezielle Symbole und Abkürzungen.....	231
D.6.2	Schraubenlasten und -flächen	231
D.6.3	Flanschauslegung	232
D.6.4	Breite Flansche unter Außendruck	233
D.7	Dichtgeschweißte Flansche	233
D.8	Schmale Gegenflansche	234
D.8.1	Innendruck	234
D.8.2	Außendruck	236
D.9	Gegenflansche mit durchgehender Dichtung	236
D.9.1	Allgemeines	236
D.9.2	Auslegung nach dem in D.5 angegebenen Verfahren	236
D.9.3	Auslegung nach dem in D.6 angegebenen Verfahren	238
D.10	Flansche mit Dichtung im Kraft-Nebenschluss.....	240
D.10.1	Allgemeines	240
D.10.2	Besondere Symbole und Abkürzung	240
D.10.3	Auslegung	241
Anhang E (normativ) Auslegung von Abzweiganschlüssen in Rohrleitungsanbauteilen.....		243
E.1	Anwendungsbereich.....	243
E.1.1	Allgemeines	243
E.2	Verstärkung	245
E.2.1	Winkel und Flächen	245
E.2.2	Die nachstehende Beziehung muss erfüllt sein:	245
E.3	Elastizitätsanalyse	246
Anhang F (informativ) Prüfung während des Betriebs unter Wechselbeanspruchung.....		248
F.1	Prüfung während des Betriebs.....	248
F.2	Maßnahmen bei Erreichen der berechneten Ermüdungsliebensdauer	248
Anhang G (informativ) Physikalische Eigenschaften von Stählen.....		250
G.1	Allgemeines	250
G.2	Physikalische Eigenschaften	250
G.2.1	Dichte	250
G.2.2	Differentieller linearer Wärmeausdehnungskoeffizient.....	251

G.2.3	Spezifische Wärmekapazität	251
G.2.4	Temperaturleitzahl	251
G.2.5	Querkontraktionszahl	251
G.3	Physikalische Eigenschaften von Stählen	251
Anhang H (normativ) Elastizität, Elastizitäts- und Spannungserhöhungsfaktoren sowie Widerstandsmomente von Rohrleitungsbauteilen und geometrische Diskontinuitäten 257		
Anhang I (informativ) Fertigungsprüfungen von federnden Halterungen und Stoßbremsen 267		
I.1	Konstanthänger/-stützen	267
I.2	Federhänger/-stützen	267
I.3	Stoßbremsen	267
Anhang J (normativ) Baumusterprüfung von Rohrhalterungen/Rohrunterstützungen 272		
Anhang K (informativ) Befestigung von Rohrhalterungen an Tragwerken 274		
K.1	Befestigung von Rohrhalterungen an Betontragwerken	274
K.2	Befestigung an Stahltragwerken	275
K.2.1	Standardschrauben	275
K.2.2	Hochfest vorgespannte Schrauben (HV-Schrauben)	275
K.2.3	Schweißen	275
Anhang L (informativ) Knicken von stabförmigen Rohrhalterungen 276		
L.1	Allgemeines	276
L.2	Symbole	276
L.3	Grundlegende Gleichungen	277
L.4	Zulässige Druckspannung	277
L.5	Knicklänge	278
Anhang M (informativ) Anleitung für die Auslegung tragender Bauteile 280		
M.1	Stabförmige Bauteile unter Biegebeanspruchung	280
M.1.1	Allgemeines	280
M.1.2	Ergänzende Nachweise für stabförmige Rohrhalterungen	280
M.2	Stabilität plattenförmiger Rohrhalterungen	282
M.3	Ankerplatten und vergleichbare Verankerungsteile	282
M.3.1	Allgemeines	282
M.3.2	Auslegung einfacher Ankerplatten	282
M.3.3	Ankerplatten mit Versteifungen	283
M.3.4	Lastberechnungen für in Beton eingelassene Verankerungen	283
Anhang N (normativ) Dokumentation von Rohrhalterungen 284		
Anhang O (normativ) Alternatives Verfahren für die Prüfung von Abzweigverbindungen 286		
O.1	Anwendungsbereich	286
O.2	Symbole	286
O.3	Konstruktion und Prüfung der Abzweigverbindung	288
O.3.1	Zulässiger Wert für die Belastung ausschließlich durch Druck, für gerade Rohre ohne Ausschnitt	288
O.3.2	Ermittlung der Mindestwanddicken bei ausschließlich durch Druck verursachten Beanspruchungen	289
O.3.3	Prüfung der für die Kombination aus Druckbelastung und Beanspruchungen durch äußere Lasten gewählten Wanddicken	289
Anhang P (informativ) Empfohlene Dichtungen für industrielle Rohrleitungen 340		
Anhang Q (informativ) Vereinfachte Analyse von Spannungen in Rohrleitungen 342		
Q.1	Allgemeines	342
Q.2	Vereinfachtes Verfahren	342
Q.2.1	Allgemeines	342
Q.2.2	Festlegung der zulässigen Abstände zwischen Rohrhalterungen	342

Q.2.3	Elastizitätskontrolle.....	342
Q.3	Erläuterungen zu Tabelle Q.1	344
Q.4	Symbole.....	346
Q.5	Indizes f_L	346
Q.6	Erläuterungen zu Q.2.2	347
Q.6.1	Festlegung der zulässigen Stützweiten	347
Q.7	Umrechnung der zulässigen Längen.....	348
Q.7.1	Andere Lagerungsbedingungen	348
Q.7.2	Sonstige Parameter.....	348
Q.8	Zusätzliche Einzellasten.....	349
Q.8.1	Allgemeines	349
Q.9	Erläuterung zu Bild Q.2	352
Q.9.1	Allgemeines	352
Q.9.2	Erforderliche Länge der Rohrstrecke L_1 für f_1 nach Nomogramm	354
Q.9.3	Erforderliche Länge der Rohrstrecke L_2 für f_2 nach Nomogramm	354
Anhang Y (informativ) Entwicklung der EN 13480-3.....		359
Y.1	Unterschiede zwischen EN 13480-3:2012 und EN 13480-3:2017.....	359
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2014/68/EU.....		361
Literaturhinweise.....		362

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13480-3:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 267 „Industrial piping and pipelines“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2017, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2017 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Diese Europäische Norm EN 13480 für industrielle Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen besteht aus den folgenden aufeinander verweisenden und zusammengehörenden acht Teilen:

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 2: Werkstoffe
- Teil 3: Konstruktion und Berechnung
- Teil 4: Fertigung und Verlegung
- Teil 5: Prüfung
- Teil 6: Zusätzliche Anforderungen an erdgedeckte Rohrleitungen
- CEN/TR 13480-7: Anleitung für den Gebrauch des Konformitätsbewertungsverfahrens
- Teil 8: Zusatzanforderungen an Rohrleitungen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen

Obwohl die Teile dieser Norm einzeln erhältlich sind, sollte erkennbar sein, dass sie voneinander abhängig sind. Die Herstellung von metallischen industriellen Rohrleitungen erfordert schlechthin die Anwendung aller relevanten Normteile, damit die Anforderungen der Norm ausreichend erfüllt werden können.

Diese Europäische Norm wird von einer Maintenance MHD Working Group gepflegt, deren Aufgabe darauf beschränkt ist, Korrekturen und Interpretationen vorzunehmen, die im Zusammenhang mit EN 13480 stehen.

Anfragen können an diese Webadresse gerichtet werden: <http://www.unm.fr> (en13480@unm.fr). Über den Link zur MHD-Webseite kann auch ein Formular zur Übermittlung von Fragen heruntergeladen werden. Nachdem sich die Experten der Fachgebiete auf eine Antwort geeinigt haben, wird diese dem Fragesteller mitgeteilt. Korrigierte Seiten erhalten eine spezifische Ausgabenummer und werden von CEN nach den CEN-Regularien herausgegeben. Die Auswertungsbögen werden auf die Webseite des MHD gestellt.

Dieses Dokument ersetzt EN 13480-3:2012. Diese neue Ausgabe umfasst die vorher von den CEN-Mitgliedern genehmigten Änderungen und Korrekturen sowie die korrigierten Seiten bis Ausgabe 5 ohne jegliche technische Änderungen. Anhang Y liefert genaue Angaben zu den maßgeblichen technischen Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und der vorherigen Ausgabe.

Zu dieser neuen Ausgabe können von Zeit zu Zeit Änderungen/Ergänzungen herausgegeben werden, die unmittelbar als Alternative zu den hier verwendeten Regularien genutzt werden.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil dieser Europäischen Norm legt die Konstruktion und Berechnung von metallischen industriellen Rohrleitungen einschließlich ihrer Halterungen, soweit durch EN 13480 abgedeckt, fest.

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).

EN 1515-2:2001, *Flansche und ihre Verbindungen — Schrauben und Muttern — Teil 2: Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen für Stahlflansche, nach PN bezeichnet*

EN 1515-3:2005, *Flansche und ihre Verbindungen — Schrauben und Muttern — Teil 3: Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen für Stahlflansche, nach Class bezeichnet*

EN 1515-4:2010, *Flansche und ihre Verbindungen — Schrauben und Muttern — Teil 4: Auswahl von Schrauben und Muttern zur Anwendung im Gültigkeitsbereich der Druckgeräterichtlinie 97/23/EG*

EN 1591-1:2013, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnung*

EN 1591-2:2008, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 2: Dichtungskennwerte*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 10204:2004, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 10216-2:2013, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 13445-3:2014, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion*

EN 13480-1:2017, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 1: Allgemeines*

EN 13480-2:2017, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 2: Werkstoffe*

EN 13480-4:2017, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 4: Fertigung und Verlegung*

EN 13480-5:2017, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 5: Prüfung*

EN ISO 5817:2007, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003 + Cor. 1:2006)*

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe nach EN 13480-1.

3.2 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieses Teils dieser Europäischen Norm gelten die in EN 13480-1 und in Tabelle 3.2-1 angegebenen Symbole und Einheiten.

Spezifische Symbole sind in den entsprechenden Unterabschnitten angegeben.

Tabelle 3.2-1 — Allgemeine Symbole und Einheiten

Symbol	Erläuterung	Einheit
P_{\max}	Maximaler Druck, der im Rahmen der Berechnung durch Gleichungen oder einschlägige Verfahren für eine bestimmte Komponente ermittelt wird	MPa (N/mm ²)
PS^a	Maximal zulässiger Druck	bar
R, r^b	Radien	mm
$R_{eH\ t}$	festgelegter Mindestwert der oberen Streckgrenze bei Berechnungstemperatur, sofern diese höher ist als die Raumtemperatur	MPa (N/mm ²)
S_1	Mittelwert der 1 % Zeitdehngrenze nach 100 000 h	MPa (N/mm ²)
S_2	Mittelwert der 1 % Zeitdehngrenze nach 200 000 h	MPa (N/mm ²)
$S_{R\ T\ t}$	Mittelwert der Zeitstandfestigkeit nach Werkstoffnorm für den betreffenden Werkstoff bei Berechnungstemperatur t und betrachteter Lebensdauer T (in Stunden), wobei die Streuung 20 % des Mittelwertes nicht überschreiten darf.	MPa (N/mm ²)
TS	Höchste zulässige Temperatur	°C
Z	Widerstandsmoment eines Rohrs	mm ³
c_0	Korrosions- bzw. Erosionszuschlag (siehe Bild 4.3-1)	mm
c_1	Absolutwert der Minustoleranz aus der zugehörigen Werkstoffnorm (siehe Bild 4.3-1)	mm
c_2	Zuschlag für mögliche Wanddickenabnahme bei der Fertigung (siehe Bild 4.3-1)	mm
e_a	Ermittelte Wanddicke eines Bauteils zur Verwendung für die Festigkeitsprüfung (siehe Bild 4.3-1)	mm
e_n	Nennwanddicke in Zeichnungen (siehe Bild 4.3-1)	mm
e_{ord}	Bestellte Wanddicke (siehe Bild 4.3-1)	mm
e_r	Geforderte Mindestwanddicke einschließlich Zuschlägen und Toleranzen (siehe Bild 4.3-1)	mm
f	Auslegungsspannung (siehe Abschnitt 5)	MPa (N/mm ²)
f_{cr}	Auslegungsspannung im Zeitstandbereich	MPa (N/mm ²)
f_f	Auslegungsspannung für die Elastizitätsanalyse	MPa (N/mm ²)
p_c	Berechnungsdruck (siehe 4.2.3.4)	MPa (N/mm ²)
p_o	Betriebsdruck (siehe 4.2.3.1)	MPa (N/mm ²)
t_c	Berechnungstemperatur (siehe 4.2.3.5)	°C
t_o	Betriebstemperatur (siehe 4.2.3.2)	°C
z	Schweißnahtfaktor (siehe 4.5)	-
ε	Wanddickenzuschlag aufgrund der bestellten Wanddicke (siehe Bild 4.3-1)	mm

^a Sämtliche Drücke für Berechnungszwecke sind in MPa (N/mm²), PS ist in bar angegeben.

^b Es gelten die folgenden Indizes:

- i innen
- m mittlere(r)
- o außen.

4 Grundlegende Auslegungskriterien

4.1 Allgemeines

Die Berechnungsregeln in diesem Dokument gelten für Betriebs- und Prüfbedingungen sowie für Montage-, Kaltvorspannungs-, Spül- und Reinigungsbedingungen.

Der Anwendungsbereich der Berechnungsregeln ist von Fall zu Fall begrenzt durch die Geometrie des Bauteils, die zu berücksichtigenden Lastfälle, Versagensarten und Werkstoffeigenschaften.

ANMERKUNG Gibt diese Europäische Norm keine Berechnungsregel vor, so sind vom Konstrukteur allgemein anerkannte Berechnungsregeln oder experimentelle Verfahren zum Nachweis der gewählten Abmessungen und Wanddicken anzuwenden.

In diesem Teil der Norm werden Berechnungsmethoden angewandt, die elastisches Werkstoffverhalten zugrunde legen, auch wenn einige Bauteile plastisches Verhalten zeigen können.

Werden für Rohre mit großen Durchmessern Form- und Montageverfahren aus dem Bereich der Druckbehälterindustrie angewandt, so gelten für diese Verfahren die Regeln für die Konstruktion von Druckbehältern. Für das Gesamtverhalten gelten die Regeln nach EN 13480 weiterhin, wenn sich die Gesamtkonstruktion mit der Balkentheorie ausreichend beschreiben lässt.

Bei vorübergehend verlegten Rohrleitungen, z. B. für Spül-, Reinigungs- und Aus-/Durchblaszwecke, werden die zulässigen Spannungen unter Auslegungsbedingungen zugrunde gelegt.

Rohrleitungen für Fluide, die zu Kondensatbildung neigen, müssen mit ausreichenden Gefällen und Abscheidern ausgestattet werden.

4.2 Belastungen

4.2.1 Allgemeines

Rohrleitungssysteme sind während ihrer Lebensdauer einer Vielzahl von Belastungen ausgesetzt, darunter folgenden Einzellasten und Kombinationen von Lasten:

- Innen- und/oder Außendruck;
- Temperatur;
- Gewicht von Rohrleitung und Inhalt;
- Klimabelastungen;
- dynamische Effekte des Fluids;
- Bewegungen von Untergrund und Gebäuden;

- Schwingungen;
- Erdbeben.

ANMERKUNG 1 Diese Aufzählung enthält nicht alle möglichen Belastungen.

ANMERKUNG 2 Erläuterungen dieser Belastungen sind in 4.2.3 und 4.2.4 gegeben.

4.2.2 Kombination von Lasten

Die in 4.2.5.1 bis 4.2.5.4 angegebenen Lastfälle und ihre möglichen Kombinationen müssen bereits während der Konstruktion eines Rohrleitungssystems und seiner Halterungen berücksichtigt werden. Einige unwahrscheinliche Lastkombinationen können ausgeschlossen werden, wenn die Ergebnisse von Studien beachtet werden, bei denen sowohl die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens als auch die Möglichkeit der Undichtigkeit des Rohrleitungssystems und die sich daraus für Gesundheit und Sicherheit ergebenden Folgen untersucht werden.

Treten in einem Rohrleitungssystem mehr als eine Lastkombination aus Druck und Temperatur auf, so muss die größte der für diese Kombinationen berechneten Wanddicken verwendet werden.

4.2.3 Bei der Dimensionierung zu berücksichtigende Lasten

4.2.3.1 Betriebsdruck

Der Betriebsdruck, p_o , muss unter dem für das jeweilige Rohrleitungssystem festgelegten maximal zulässigen Druck, PS , liegen.

4.2.3.2 Betriebstemperatur

Die Betriebstemperatur, t_o , muss unterhalb der für das jeweilige Rohrleitungssystem festgelegten maximal zulässigen Temperatur, TS , liegen.

4.2.3.3 Druck-Temperatur-Zustände

Die für die Bemessung der Elemente des Rohrleitungssystems zu betrachtende Kombination von Druck und Temperatur (p_o, t_o) muss die höchsten Belastungen im Rohrleitungssystem berücksichtigen, die gleichzeitig in dem jeweiligen Rohrleitungssystem über längere Zeit vorherrschen können. Somit sind die für die Berechnung der Wanddicke eines Rohrleitungsteils zu berücksichtigenden gleichzeitig auftretenden Druck- und Temperaturbedingungen die Bedingungen, die zur größten Wanddicke führen.

Für alle Elemente des Rohrleitungssystems kann unter Berücksichtigung der zutreffenden Sicherheitsbeiwerte einfach der maximal zulässige Druck berechnet werden auf Grundlage

- a) eines festgelegten Werkstoffs (mechanische Eigenschaften);
- b) einer festgelegten Temperatur.

Vorübergehende Abweichungen z. B. aufgrund von Druckstoß oder Auslösung des Steuerventils (Sicherheitsventil) brauchen nicht berücksichtigt werden, sofern die berechneten Spannungen aufgrund derartiger Abweichungen die zulässige Spannung nicht um mehr als 10 % für weniger als 10 % einer beliebigen 24-stündigen Betriebsdauer überschreiten.

4.2.3.4 Berechnungsdruck

Für alle in 4.2.3.3 festgelegten Druck- und Temperaturbedingungen (p_o, t_o) sind Berechnungsdrücke p_c zu bestimmen.

Der Berechnungsdruck p_c darf nicht kleiner sein als der zugehörige Betriebsdruck p_o , wobei die Einstellungen der Sicherheitsvorrichtungen zu berücksichtigen sind. Die Bedingungen (p_o, t_o), die die größte Wanddicke ergeben, müssen berücksichtigt werden.

Alternativ muss das Druckgerät mit der Druck/Temperatur-Kombination (p_c, t_c) ausgelegt sein, welche zur größten berechneten Wanddicke oder der höchsten Beanspruchung führt und welche auf der Druck/Temperatur-Kombination (p_o, t_o) unter normalen Betriebsbedingungen basiert (siehe EN 764-1:2015+A1:2016, Bild A.1). In diesem Fall kann der Druck p_c in Verbindung mit der Temperatur t_c niedriger sein als PS.

ANMERKUNG 1 Die Bezeichnungen p_c und t_c entsprechen P_d und T_d in der EN 764-1:2015+A1:2016 sowie P_D und T_D in der EN 764-1:2015+A1:2016, Bild A.1.

Die Auslegung der Druckgeräte sollte PS und TS_{max} entsprechen, das heißt:

- kompatibel mit der Kombination von PS mit der Temperatur $T(p_{o\max})$, wobei $p_{o\max}$ der maximale Druck unter normalen Betriebsbedingungen ist;
- kompatibel mit der Kombination TS_{max} beim Druck $P(t_{o\max})$, wobei $t_{o\max}$ die maximale Temperatur unter normalen Betriebsbedingungen ist.

Liegt die Berechnungstemperatur t_c in einem Bereich, in dem das Zeitstandverhalten für die Bestimmung der Nenn-Auslegungsspannung von Bedeutung ist, muss der Berechnungsdruck als gleich dem bei der Betriebstemperatur (t_o) herrschenden Betriebsdruck (p_o) angenommen werden.

ANMERKUNG 2 Gibt es einen Zustand, in dem $p_o = PS$ und $t_o = TS$, brauchen die Berechnungen nur für diesen Zustand durchgeführt zu werden.

4.2.3.5 Berechnungstemperatur

Die Berechnungstemperatur, t_c , ist die maximale, unter normalen Betriebsbedingungen bei Berechnungsdruck p_c in der Mitte der Rohrleitungswanddicke zu erwartende Temperatur. Ihr Wert wird, wie nachstehend beschrieben, ermittelt. Bei der Temperaturfeldberechnung ist davon auszugehen, dass kein Wärmeverlust durch Windwirkung eintritt.

- a) Bei außen nicht isolierten und innen nicht ausgekleideten Rohrleitungsbauteilen ergibt sich die Berechnungstemperatur wie folgt:
 - 1) Bei Fluidtemperaturen unter 40 °C ist die Berechnungstemperatur für das Bauteil gleich der Fluidtemperatur;
 - 2) Sofern nicht durch Prüfung oder Wärmeübertragungsberechnung eine niedrigere mittlere Wandtemperatur ermittelt wird, darf die Berechnungstemperatur für nicht isolierte Bauteile bei Fluidtemperaturen von 40 °C und darüber die folgenden Werte nicht unterschreiten, aber auch nicht weniger 40 °C betragen:
 - i) 95 % der Fluidtemperatur für Ventile, Rohre, Böden, Einschweißformstücke und andere Bauteile mit einer der Rohrwanddicke vergleichbaren Wanddicke;
 - ii) 90 % der Fluidtemperatur für Flansche (ausgenommen Flansche mit Überlappstoß), einschließlich Rohrleitungsflanschen an Formstücken und Ventilen;
 - iii) 85 % der Fluidtemperatur für Flansche mit Überlappstoß;
 - iv) 80 % der Fluidtemperatur für Verschraubungen.

- b) Bei außen isolierten Rohrleitungsbauarten ist die Berechnungstemperatur für das Bauteil gleich der Fluidtemperatur, sofern nicht Berechnungen, Prüfungen oder auf Messungen beruhende Erfahrungen im Betrieb die Verwendung eines anderen Temperaturwertes rechtfertigen. Bei Beheizung oder Kühlung von Rohrleitungen durch Begleitheizungen oder Mäntel ist dieser Umstand beim Festlegen von Berechnungstemperaturen für die Bauteile zu berücksichtigen;
- c) Bei ausgekleideten Rohrleitungsbauarten ist die Berechnungstemperatur der Bauteile festzulegen oder auf Wärmeübertragungsberechnungen oder Prüfungen zu beziehen, in die die Fluidtemperatur und Eigenschaften der Auskleidung Eingang finden;

ANMERKUNG Die Auskleidung kann zu Isolierungswecken verwendet werden.

- d) Wird die berechnete Wanddicke aus den Zeitstandfestigkeitswerten ermittelt, so dürfen Betriebsdruck (p_0) und Betriebstemperatur (t_0) die in dieser Berechnung verwendeten Werte vorübergehend überschreiten, siehe 4.2.5.2.1 und 12.3.3.

4.2.4 Weitere zu berücksichtigende Belastungen

4.2.4.1 Gewicht von Rohrleitung und Inhalt

Auf das Rohrleitungssystem einwirkende schwerkraftbedingte Lasten sind bei der Konstruktion zu berücksichtigen; dazu gehören:

- das Gewicht von Rohrleitung, Formstücken, Ventilen und Isolierung;
- das Gewicht des geförderten Fluids;
- das Gewicht der Prüfflüssigkeit.

4.2.4.2 Klimatisch bedingte Belastungen

Wird das Rohrleitungssystem im Freien verlegt, sind klimatisch bedingte Belastungen zu berücksichtigen. Die Höchstlasten sind anhand der tatsächlichen örtlichen Klimabedingungen und ihrer Einwirkung auf das Rohrleitungssystem festzulegen.

4.2.4.3 Dynamische Effekte des Fluids

Das Rohrleitungssystem ist so zu auszulegen, dass Schäden hervorrufende dynamische Effekte durch das Fluid vermieden werden. Ist dies nicht möglich, so sind diese Effekte zu berücksichtigen. Sind dynamische Effekte unmittelbar auf den Verarbeitungsprozess oder die Verwendung des vom Besteller gelieferten Ausrüstungsteils zurückzuführen, so sind sie in der Bestellspezifikation quantitativ festzulegen.

Reaktionskräfte aufgrund der Funktion von Sicherheitsventilen sind zu berücksichtigen. Werden die Sicherheitsventile nicht von dem den Einbau der Rohrleitung durchführenden Betrieb geliefert, so muss der Besteller die Reaktionskräfte und ihre Wirkrichtung festlegen.

Hinweise für die Beurteilung dynamischer Effekte des Fluids sind in Anhang A enthalten.

4.2.4.4 Bewegungen von Untergrund und Gebäuden

Sind während der Lebensdauer des Rohrleitungssystems derartige Bewegungen (Bewegungen des Untergrunds, Setzungsunterschiede der Gebäude) zu erwarten, so müssen die bei der Konstruktion zu verwendenden Werte in der Bestellspezifikation angegeben werden.

4.2.4.5 Schwingungen

Rohrleitungssysteme sind so zu konstruieren und abzustützen, dass übermäßige und schädigende Wirkungen von Schwingungen, z. B. durch Stoß, Druckschwankungen, Resonanzen in Kompressoren und Windlasten, ausgeschlossen sind.

Können während des Betriebs Schwingungen auftreten, so ist die Ausführung der Rohrleitungsverlegung zu untersuchen, und es sind in Übereinstimmung mit Abschnitt 13 Stützen, Dämpfer, Halterungen, Festpunkte usw. zu verwenden, um diese Schwingungen zu beseitigen. Sind derartige Untersuchungen unzureichend, so ist durch eine spezielle Schwingungsanalyse nachzuweisen, dass das Rohrleitungssystem nicht überbeansprucht wird.

ANMERKUNG Ein schriftlicher Nachweis der Schwingungsanalyse ist nicht erforderlich.

4.2.4.6 Erdbeben

Falls erforderlich, muss in der Spezifikation festgelegt werden, dass das Rohrleitungssystem seismischen Lasten standhalten muss. Darüber hinaus sind in der Spezifikation genaue Angaben zu den Merkmalen der zu berücksichtigenden seismischen Bedingungen zu machen.

ANMERKUNG Hinweise für die Beurteilung seismischer Effekte sind in Anhang A enthalten.

4.2.5 Auslegungsbedingungen

4.2.5.1 Normale Betriebsbedingungen

Normale Betriebsbedingungen sind stationäre Zustände bei konstanter Leistung und instationäre Zustände, die bei normalen Betriebsprozessen auftreten. Volllast- und Teillastbedingungen sowie die Bedingungen beim Abfahren sind zusammen mit den damit verbundenen Anfahr-, Schalt- und Abschaltvorgängen zu untersuchen.

Für die Berechnung unter normalen Betriebsbedingungen sind alle nachstehenden Bedingungen zu untersuchen:

- Innen- und/oder Außendruck, einschließlich der statischen Druckhöhe des Füllmediums, falls zutreffend;
- Gewicht der Rohrleitung, einschließlich innen liegender Einbauteile sowie zusätzlich angebrachter Komponenten;
- Gewicht der Isolierung;
- Fluidgewicht;
- Wärmeausdehnung;
- Bedingungen für Rohrhalterungen;
- Verhalten von Feder- und Konstanthängern und -stützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Festpunkten, Rohrhalterungen und angeschlossenen Ausrüstungsteilen;
- Kaltvorspannung;
- Setzen der Gebäude.

4.2.5.2 Gelegentlich auftretende Betriebszustände

4.2.5.2.1 Allgemeine Belastungen

Gelegentlich auftretende Zustände sind Vorfälle im Normalbetrieb, z. B. Auswirkungen der Funktion von Sicherheitseinrichtungen, eines Turbinenlastabwurfs, eines Pumpenausfalls oder des Öffnens und Schließen von Absperrventilen.

Für die Berechnung unter gelegentlich auftretenden Betriebsbedingungen sind zusätzlich zu den in 4.2.5.1 angegebenen normalen Belastungen alle nachstehenden Lastfälle zu untersuchen:

- Ansprechen von Sicherheitsventilen;
- dynamische Stoßbelastungen, z. B. Dampf-, Wasserschlag;
- Ausströmreaktionskräfte;
- von den normalen Betriebsbedingungen abweichende Temperaturen;
- Kräfte durch den Einsatz von Dämpfern und Stoßbremsen;
- Abstützung durch Feder- und Konstantstützen;
- mögliche übliche Klimaeinflüsse, z. B. den normalen örtlichen Bedingungen entsprechende Schnee- und Windlasten;
- seismische Lasten (Auslegungserdbeben).

4.2.5.2.2 Belastungen durch Reinigung

Für die Berechnung unter Reinigungsbedingungen (Beizen und Spülen) sind sämtliche statischen, dynamischen und kinematischen Randbedingungen zu untersuchen.

Alle nachstehenden Lastfälle sind zu untersuchen:

- Innendruck;
- Eigengewicht der Rohrleitung, einschließlich Einbauten sowie zusätzlich angebrachter Komponenten;
- Gewicht der (Voll- oder Teil-)Isolierung;
- Gewicht der Reinigungsflüssigkeit;
- Wärmeausdehnung bei Reinigungstemperatur;
- Bedingungen für Rohrhalterungen (einschließlich provisorischer Rohrhalterungen);
- blockierte und deblockierte Feder- und Konstantstützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Festpunkten, Rohrhalterungen und angeschlossenen Teilen;
- Kaltvorspannung.

4.2.5.2.3 Belastungen beim Spülen/Ausblasen mit Dampf

Für die Berechnung unter Lastbedingungen beim Spülen/Ausblasen mit Dampf sind sämtliche statischen und dynamischen Randbedingungen zu untersuchen.

Alle nachstehenden Lastfälle sind zu untersuchen:

- veränderte Systemgeometrie;
- Eigengewicht der Rohrleitung, einschließlich Einbauten sowie zusätzlich angebrachter Komponenten;
- Gewicht der (Voll- oder Teil-)Isolierung;
- Ausblasdrücke;
- Wärmeausdehnung bei Ausblastemperatur;
- Bedingungen für Rohrhalterungen (einschließlich provisorischer Rohrhalterungen);
- blockierte und deblockierte Feder- und Konstantstützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Festpunkten, Rohrhalterungen und angeschlossenen Teilen;
- Kaltvorspannung;
- Kräfte am Austritt (Ausströmreaktionskräfte).

4.2.5.3 Außergewöhnliche Betriebsbedingungen

Als außergewöhnliche Betriebsbedingungen gelten selten auftretende Lastfälle.

Für die Berechnung unter außergewöhnlichen Betriebsbedingungen sind zusätzlich zu den in 4.2.5.1 angegebenen normalen Lasten alle nachstehenden Lastfälle zu untersuchen:

- mögliche außergewöhnliche Klimaeinflüsse, z. B. den örtlichen Bedingungen entsprechende außergewöhnlich hohe Schnee- und Windlasten;
- seismische Lasten (Sicherheitserdbeben).

4.2.5.4 Prüfbedingungen

Für die Berechnung unter Prüfbedingungen sind sämtliche statischen, dynamischen und kinematischen Randbedingungen zu untersuchen.

Alle nachstehenden Lastfälle sind zu untersuchen:

- Innendruck (Prüfdruck und hydrostatischer Druck);
- Eigengewicht der Rohrleitung, einschließlich Einbauten sowie zusätzlich angebrachter Komponenten;
- Gewicht der (Voll- oder Teil-)Isolierung;
- Gewicht der Prüfflüssigkeit;

- Wärmeausdehnung;
- Bedingungen für Rohrhalterungen (einschließlich provisorischer Rohrhalterungen);
- blockierte und deblockierte Feder- und Konstantstützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Festpunkten, Rohrhalterungen und angeschlossenen Ausrüstungsteilen;
- Kaltvorspannung.

4.3 Wanddicke

Die Mindestwanddicke ist unter Berücksichtigung des Fertigungsverfahrens für Rohre und Formstücke zu ermitteln.

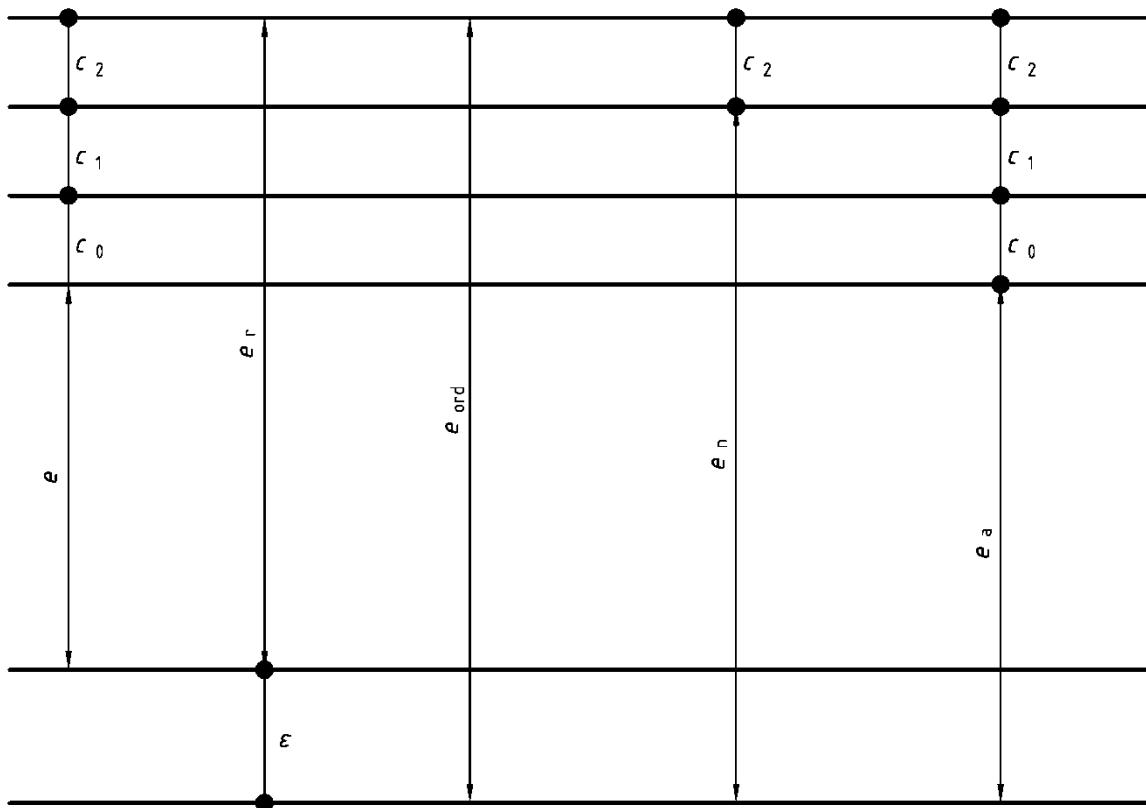
Korrosion kann im Rohrinneren oder außen oder gleichzeitig sowohl innen wie außen auftreten (der Begriff „Korrosion“ umfasst auch die Erosion).

Der Wert des Korrosionszuschlags c_0 (der, falls keine Korrosion zu erwarten ist, auch Null sein kann) muss vom Hersteller unter Berücksichtigung von Art, Temperatur, Druck, Strömungsgeschwindigkeit usw. der mit der Wand in Kontakt stehenden Produkte festgelegt werden, allerdings nur, wenn alle diese Informationen vom Käufer vorgegeben sind.

Ein Korrosionszuschlag sollte vom Käufer festgelegt werden. Falls nicht, müssen vernünftige Werte vom Hersteller vorgeschlagen und in der Dokumentation angegeben werden.

Sämtliche Wanddicken, der Korrosionszuschlag c_0 , die Toleranz c_1 und die Wanddickenabnahme c_2 sind in den Bildern 4.3-1 und 4.3-2. dargestellt.

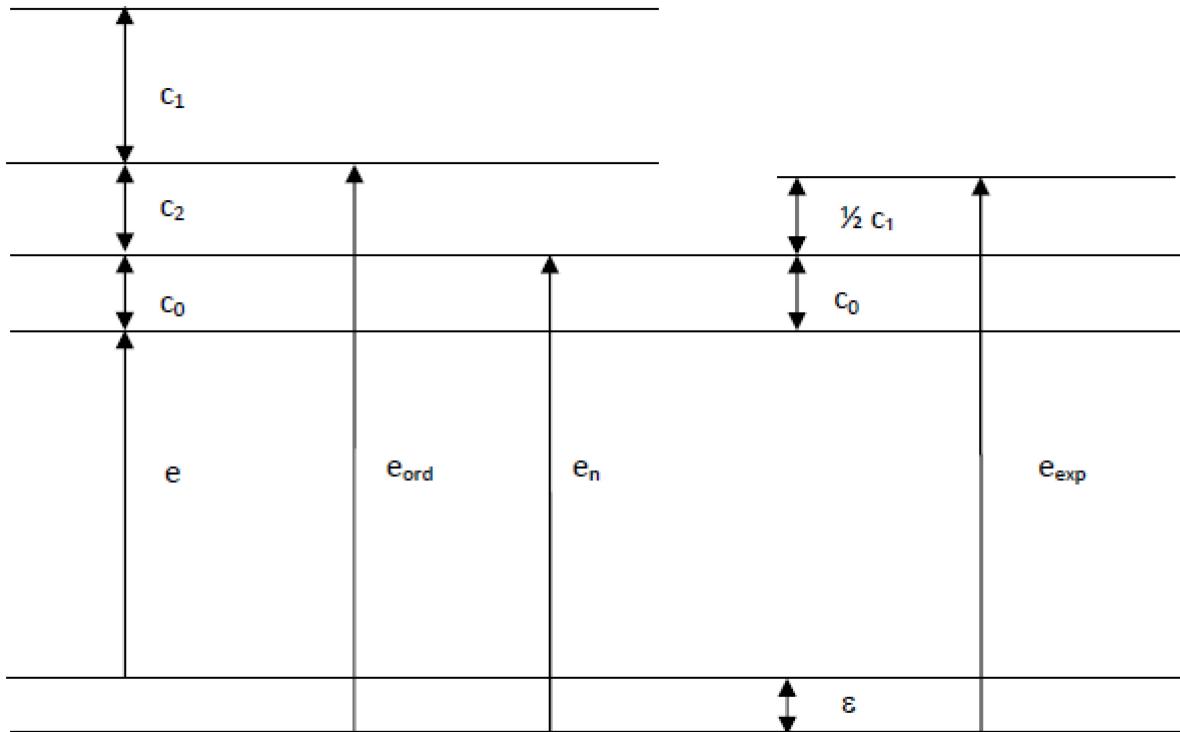
Rohrleitungen, welche externer Korrosion ausgesetzt und aus Werkstoffen gefertigt sind, welche nicht ausreichend korrosionsbeständig sind, müssen gegen Korrosion geschützt werden, falls kein angemessener Korrosionszuschlag vorgesehen wird.



Dabei ist:

- e die mittels der zutreffenden Gleichungen dieser Norm ermittelte geforderte Mindestwanddicke ohne Zuschläge und Toleranzen, die dem Druck standhält;
- c_0 Korrosions- bzw. Erosionszuschlag;
- c_1 Absolutwert der Minustoleranz, der den zugehörigen Werkstoffnormen entnommen oder vom Hersteller der Rohrleitung angegeben wurde;
- c_2 Zuschlag für mögliche Wanddickenabnahme bei der Fertigung (z. B. aufgrund von Biegen, Gesenkumformen, Gewindeschneiden, Eindrehen, usw.);
- e_r geforderte Mindestwanddicke einschließlich Zuschlägen und Toleranzen;
- ε zusätzliche Wanddicke aufgrund der bestellten Wanddicke e_{ord} ;
- e_{ord} bestellte Wanddicke (wobei c_2 oftmals gleich 0 ist, z. B. bei geraden Rohren);
- e_n Nennwanddicke (in Zeichnungen);
- e_a ermittelte Wanddicke eines Bauteils zur Verwendung für die Festigkeitsüberprüfung.

Bild 4.3-1 — Wanddicke (für gerade Rohre und Rohrbiegungen) bei Bestellung mit mittlerer Wanddicke



Dabei ist:

- e die mittels der zutreffenden Gleichungen dieser Norm ermittelte geforderte Mindestwanddicke ohne Zuschläge und Toleranzen, die dem Druck standhält;
- c_0 der Korrosions- oder Erosionszuschlag;
- c_1 positive Toleranz, vom Rohrhersteller angegeben, (siehe z. B. auch EN 10216-2:2013, Tabelle 9 oder Tabelle 10);
- c_2 Zuschlag für mögliche Wanddickenabnahme bei der Fertigung (z. B. aufgrund von Biegen, Gesenkumformen, Gewindeschneiden, Eindrehen, usw.);
- ϵ zusätzliche Wanddicke aufgrund der bestellten Wanddicke e_{ord} ;
- e_{ord} die bestellte Wanddicke (wobei c_2 oft gleich 0 ist; z. B. gerades Rohr);
- e_n die Nennwanddicke (in Zeichnungen);
- e_{exp} die erwartete (mittlere) Wanddicke

Bild 4.3-2 — Wanddicke (für gerade Rohre und Rohrbiegungen) bei Bestellung mit Mindestwanddicke und ausschließlich positiven Toleranzen

Bild 4.3-1 zeigt die Situation, wenn Rohre mit mittlerer Wanddicke und $+/-$ Toleranzen bestellt werden, siehe z. B. auch EN 10216-2:2013, Tabelle 7 oder Tabelle 8.

Bei Rohren, die mit Mindestwanddicke und Plus-Toleranzen bestellt werden, siehe EN 10216-2:2013, Tabelle 9 oder Tabelle 10, muss das Bild 4.3-2 verwendet werden. In diesem Fall sollte für die Flexibilitäts- und Spannungsberechnung der Rohrleitung die erwartete Wanddicke $e_{exp} = e_{ord} + 1/2 c_1 - c_2$ anstelle von e_n in den Gleichungen in Abschnitt 12 verwendet werden.

Die ermittelte Wanddicke e_a muss die geringste Wanddicke nach Abzug von Korrosion sein und wird wie folgt berechnet:

$$e_a = e + \varepsilon \quad (4.3-1)$$

oder

$$e_a = e_{\text{ord}} - c_0 - c_1 - c_2 \quad (4.3-2)$$

wenn Rohre mit mittlerer Wanddicke bestellt werden, siehe Bild 4.3-1.

Wenn Rohre mit Mindestwanddicke und Plus-Toleranzen bestellt werden, siehe Bild 4.3-2, ist die berechnete Dicke e_a :

$$e_a = e_{\text{ord}} - c_0 - c_2 \quad (4.3-3)$$

Der Mindestwert der bestellten Wanddicke e_{ord} eines Bauteils (Rohr oder Formstück) wird wie folgt berechnet:

- Wenn der Wert der Toleranz c_1 durch Längeneinheiten ausgedrückt wird:

$$e_{\text{ord}} \geq e + c_0 + c_1 + c_2 \quad (4.3-4)$$

- Wenn der Wert der Toleranz c_1 als Prozentsatz x der bestellten Wanddicke e_{ord} ausgedrückt wird:

$$e_{\text{ord}} \geq (e + c_0 + c_2) 100 / (100 - x) \quad (4.3-5)$$

ANMERKUNG Wenn Rohre mit Mindestwanddicke und positiven Toleranzen bestellt werden, siehe Bild 4.3-2, muss der Wert der Toleranz in der Gleichung (4.3-4) auf $c_1 = 0$ oder in der Gleichung (4.3-5) auf $x = 0$ gesetzt werden.

4.4 Toleranzen

In den Berechnungen müssen die Nennmaße verwendet und die Wanddickentoleranzen müssen berücksichtigt werden.

4.5 Schweißnahtfaktor

Der Schweißnahtfaktor z ist bei der Berechnung der Wanddicke von Bauteilen zu verwenden, die eine oder mehrere Stumpfnähte aufweisen, die nicht in Umfangsrichtung liegen; er darf folgende Werte nicht übersteigen:

- bei Bauteilen, für die durch zerstörende oder zerstörungsfreie Prüfungen nachgewiesen wird, dass die Gesamtheit der Nähte keine signifikanten Fehler aufweist: 1.
- bei Bauteilen, von denen Stichproben einer zerstörungsfreien Prüfung unterzogen werden: 0,85.
- bei Bauteilen, die lediglich einer Sichtprüfung unterzogen werden: 0,7.

Für die Festigkeitsberechnung von Bauteilen mit stumpfgeschweißten Nähten unter außergewöhnlichen Betriebsbedingungen oder unter Prüfbedingungen ist die Berücksichtigung eines Schweißnahtfaktors nicht erforderlich.

ANMERKUNG Siehe EN 13480-5:2012, Tabelle 8.3-1.

4.6 Dimensionierung von druckbeaufschlagten Rohrleitungsbauteilen

Die Abschnitte 6, 7, 8, 9, 10 und 11 beschreiben die „Konstruktion nach Regeln“ von Rohrleitungsbauteilen für ruhende und wechselnde Beanspruchungen. Dies kann durch „Auslegung mit Analyseverfahren“ nach EN 13445-3, Anhang B und Anhang C, sofern zutreffend, ergänzt oder ersetzt werden. Die Anforderungen der Abschnitte 6, 7, 8, 9 und 11 gelten für vorwiegend ruhende Beanspruchung. Es wird angenommen, dass es bei 1 000 Druckzyklen über die volle Schwankungsbreite nicht zu Ermüdungsschäden des betrachteten Rohrleitungsbauteils kommt. Werden hochfeste Werkstoffe mit $f_{\text{größer}}$ als 250 N/mm² verwendet, so ist die Wechselbeanspruchung einer genauen Analyse nach Abschnitt 10 zu unterziehen.

Bei Bauteilen unter Wechselbeanspruchung (siehe Abschnitt 10) ist die Geometrie des betrachteten Bauteils so zu wählen, dass Formen vermieden werden, bei denen hohe Spannungskonzentrationen entstehen. Ist eine größere Anzahl von Druckzyklen zu berücksichtigen, so gilt das in 10.3 beschriebene Bewertungsverfahren. Liegt eine Kombination aus erheblichen Temperaturgradienten über die gesamte Wanddicke und Druckschwankungen vor, so gilt das in 10.4 beschriebene Bewertungsverfahren.

Für Bauteile, bei denen signifikante Schnittmomente durch angeschlossene Rohrleitungen auftreten, sind die Regeln nach 12.4 anzuwenden.

Die Festigkeiten von Bauteilen nach Europäischen Normen, mit Druck/Temperatur-Zuordnung, z. B. von Flanschen, und Bauteilen, deren Wanddicke von genormten Rohren abgeleitet sind, z. B. von Formstücken, brauchen nicht erneut berechnet zu werden.

5 Zulässige Spannungen

5.1 Allgemeines

Der Wert der zulässigen Spannung ist der geringere der Werte für den in 5.2 festgelegten zeitunabhängigen Bereich und für den in 5.3 festgelegten zeitabhängigen Bereich und muss für jeden Auslegungs- und Prüfzustand ermittelt werden.

Die Werte der zulässigen Spannung werden aus den Werkstoffeigenschaften ermittelt, die in den in EN 13480-2 angegebenen Werkstoffnormen und -spezifikationen festgelegt sind. Diese für den Lieferzustand festgelegten Mindestwerte können für Konstruktionszwecke herangezogen werden, sofern nicht bekanntermaßen Fertigung und/oder Wärmebehandlung zu niedrigeren Werten führen. In derartigen Fällen sind die einzusetzenden Festigkeitswerte im Einvernehmen mit den beteiligten Parteien festzulegen.

Bei Stählen, die bei tiefen Temperaturen (d. h. unter -10°C) eingesetzt werden, muss die zulässige Spannung bei Raumtemperatur ermittelt werden; derartige Stähle müssen für die Kerbschlagarbeit bei Auslegungsreferenztemperatur einen Wert nach EN 13480-2 aufweisen.

ANMERKUNG 1 Für Zwischenwerte der Temperatur ist eine lineare Interpolation zulässig.

ANMERKUNG 2 Zur Anwendung des für Raumtemperatur geltenden Wertes bei Temperaturen von bis zu 50°C , siehe EN 13480-2:2012, 4.2.2.1.

ANMERKUNG 3 Angaben für zeitlich begrenzt betriebene Rohrleitungen sind in 4.1 wiedergegeben.

Zusätzliche Anforderungen für Schrauben sind in 6.6 wiedergegeben.

5.2 Zeitunabhängige zulässige Spannung

5.2.1 Nichtaustenitische Stähle

5.2.1.1 Auslegungsbedingungen

Der Wert der zulässigen Spannung muss die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$f = \min \left\{ \frac{R_{eH} t}{1,5} \text{ oder } \frac{R_{p0,2} t}{1,5}, \frac{R_m}{2,4} \right\} \quad (5.2.1-1)$$

5.2.1.2 Prüfbedingungen

Der Konstrukteur muss sicherstellen, dass der Wert der zulässigen Spannung f_{test} unter den Bedingungen während der Druckprüfung nach EN 13480-5, 95 % R_{eH} bei der festgelegten Prüftemperatur nicht überschreitet.

5.2.2 Austenitische Stähle

5.2.2.1 Auslegungsbedingungen

Der Wert der zulässigen Spannung muss nachstehende Gleichungen erfüllen:

- für $A \geq 35 \%$

$$f = \frac{R_{p1,0} t}{1,5} \quad (5.2.2-1)$$

oder $f = \min \left(\frac{R_m t}{3}, \frac{R_{p1,0} t}{1,2} \right)$, falls der Wert $R_m t$ vorliegt.

- für $35 \% > A \geq 30 \%$

$$f = \min \left(\frac{R_{p1,0} t}{1,5}, \frac{R_m}{2,4} \right) \quad (5.2.2-2)$$

- für $A < 30 \%$ siehe 5.2.1.1.

Wenn verschiedene Werte für die Bruchdehnung in Längs- und Querrichtung in der Werkstoffnorm angegeben werden, dann muss der niedrigste Wert verwendet werden.

5.2.2.2 Prüfbedingungen

Für $A \geq 35 \%$ muss der Konstrukteur sicherstellen, dass der Wert der Spannung unter den Bedingungen während der Druckprüfung nach EN 13480-5 den größeren der folgenden beiden Werte nicht überschreitet:

- 95 % $R_{p1,0}$ bei der festgelegten Prüftemperatur;
- 45 % R_m bei der festgelegten Prüftemperatur.

Für $30 \leq A < 35 \%$ muss der Konstrukteur sicherstellen, dass der Wert der Spannung unter den Bedingungen während der Druckprüfung nach EN 13480-5 den Wert 95 % $R_{p1,0}$ bei der festgelegten Prüftemperatur nicht überschreitet.

Für $A < 30\%$ muss der Konstrukteur sicherstellen, dass der Wert der Spannung unter den Bedingungen während der Druckprüfung nach EN 13480-5 bei der festgelegten Prüftemperatur $95\% R_{eH}$ oder $95\% R_{p0,2}$ nicht überschreitet.

5.2.3 Nickel-, Chromnickel- und Chromstähle

Die zeitunabhängige zulässige Spannung für Nickel-, Chromnickel- und Chromstähle ist abhängig von der festgelegten Mindestbruchdehnung bei Umgebungstemperatur.

5.2.4 Stahlguss

5.2.4.1 Auslegungsbedingungen

Der Wert der zulässigen Spannung muss die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$f = \min \left(\frac{R_{eH} t}{1,9} \text{ oder } \frac{R_{p0,2} t}{1,9}; \frac{R_m}{3,0} \right) \quad (5.2.4-1)$$

5.2.4.2 Prüfbedingungen

Der Konstrukteur muss sicherstellen, dass der Wert der Spannung unter den Bedingungen während der Druckprüfung nach EN 13480-5 den Quotienten aus dem bei der festgelegten Prüftemperatur für R_{eH} oder $R_{p0,2}$ geltenden Wert und dem Sicherheitsbeiwert 1,4 nicht überschreitet.

5.2.5 Zusätzliche Anforderungen an Stähle ohne besondere Qualitätsüberwachung

5.2.5.1 Allgemeines

Stähle ohne besondere Qualitätsüberwachung sind solche mit einem Prüfbericht 2.2 nach EN 10204 oder niedriger und dürfen verwendet werden, wenn dies in der technischen Spezifikation als zulässig angegeben ist.

Diese Stähle müssen vor der Verwendung einer Werkstoffverwechslungsprüfung unterzogen werden, um ihre Schweißbarkeit sicherzustellen.

5.2.5.2 Auslegungsbedingungen

Der in 5.2.1.1 angegebene Wert der zulässigen Spannung muss durch einen zusätzlichen Sicherheitsbeiwert von mindestens 1,2 dividiert werden.

Sind für unlegierte oder niedriglegierte Stähle in den Werkstoffnormen keine Werte für die Warmstreckgrenze festgelegt, so kann die nachstehende Gleichung herangezogen werden:

$$R_{p0,2} = R_m \frac{720 - t}{1400} \quad (5.2.5-1)$$

Dabei gilt für t ein Wert zwischen 20 °C und 150 °C.

5.2.5.3 Prüfbedingungen

Der Konstrukteur muss sicherstellen, dass der Wert der Spannung unter den Bedingungen während der Druckprüfung nach EN 13480-5 den bei der festgelegten Prüftemperatur für $95\% R_{eH}$ geltenden Wert nicht überschreitet.

5.3 Zeitabhängige zulässige Spannung

5.3.1 Allgemeines

Für nicht in Umfangsrichtung verlaufende Stumpfnähte in geschweißten Rohren und Formstücken sind die Zeitstandfestigkeitswerte der Schweißnähte zu berücksichtigen, wenn nachgewiesene Werte verfügbar sind. Andernfalls muss das Minimum der um 20 % reduzierten Zeitstandfestigkeitswerte entweder des Grundwerkstoffs oder des Schweißguts berücksichtigt werden.

Für in Umfangsrichtung verlaufende Stumpfnähte hängt die Notwendigkeit der Berücksichtigung der reduzierten Zeitstandfestigkeitswerte von der Spannungsverteilung im Querschnitt ab. Detaillierte Spannungsanalysen können herangezogen werden.

5.3.2 Stähle

5.3.2.1 Auslegungsbedingungen

Die Dimensionierungsspannung im Zeitstandbereich f_{cr} für die Auslegung für ruhende Belastung muss die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$f_{cr} = \frac{S_{RTt}}{Sf_{cr}} \quad (5.3.2-1)$$

Dabei ist

Sf_{cr} ein zeitabhängiger Sicherheitsbeiwert nach Tabelle 5.3.2-1, der von der Auslegungslifezeit abhängt.

Tabelle 5.3.2-1 — Sicherheitsbeiwerte als Funktion der mittleren Zeitstandfestigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

Auslegungslifezeit ^{a)}	<u>Ohne</u> Überwachung der Zeitstanderschöpfung ^{c)}		<u>Mit</u> Überwachung der Zeitstanderschöpfung ^{c)}	
t [h]	Mechanische Eigenschaft	Sf_{cr}	Mechanical property	Sf_{cr}
$10\ 000 \leq t \leq 100\ 000$	S_{RTt}	1,5	S_{RTt}	1,25
$100\ 000 < t < 200\ 000$	S_{RTt} ^{d)}	1,5 ^{d)}	S_{RTt}	1,25
$t = 200\ 000$	S_{RTt} ^{d)}	1,5 ^{d)}	$S_{RT\ 200\ 000\ h}$ $S_{RT\ 150\ 000\ h}$ ^{b)} $S_{RT\ 100\ 000\ h}$ ^{b)}	1,25 1,35 1,5

^{a)} Ist keine Auslegungslifezeit festgelegt, muss für die mittlere Zeitstandfestigkeit der für 200 000 h geltende Wert mit dem zugehörigen Sf_{cr} verwendet werden.
^{b)} Nur in Fällen, in denen in den Werkstoffnormen keine Werte für 200 000 h festgelegt sind, sind die Zeitstandfestigkeitswerte für 150 000 h bzw. 100 000 h für eine Auslegungslifezeit von 200 000 h mit dem zugehörigen Sf_{cr} zu verwenden.
^{c)} Überwachung durch zerstörungsfreie Prüfungen und/oder Berechnungen der Kriechschädigung D_c .
^{d)} Nur erlaubt, wenn $\frac{S_{RT200000h}}{S_{RT100000h}} \geq 0,781$, um sicherzustellen, dass 60 % der theoretischen Zeitstanderschöpfung bei 200 000 h nicht überschritten werden.

Die mit der festgelegten Lebensdauer verbundenen Zeitstandsfestigkeitswerte müssen auf Grundlage einer logarithmischen Zeitachse sowie einer logarithmischen Spannungsachse (doppelt-logarithmisches Interpolationsschema) interpoliert werden.

5.3.2.2 Prüfbedingungen

Der Konstrukteur muss sicherstellen, dass der Wert der Spannung unter den Bedingungen während der Druckprüfung nach EN 13480-5 den entsprechenden Wert von 95 % R_{eH} oder 95 % $R_{p1,0}$ oder 95 % $R_{p0,2}$ bei der festgelegten Prüftemperatur nicht überschreitet.

5.3.3 Nickel-, Chromnickel- und Chromstähle

Falls in der Spezifikation nichts anderes angegeben ist, gelten die Anforderungen von 5.3.2.

6 Auslegung von Rohrleitungsbauteilen unter Innendruck

6.1 Gerade Rohre

Die geforderte Mindestwanddicke e für gerade Rohre ohne Zuschläge und Toleranzen wird wie folgt berechnet:

- Wenn $D_o/D_i \leq 1,7$:

$$e = \frac{p_c D_o}{2 f_z + p_c} \quad (6.1-1)$$

oder

$$e = \frac{p_c D_i}{2 f_z - p_c} \quad (6.1-2)$$

- Wenn $D_o/D_i > 1,7$:

$$e = \frac{D_o}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{f_z - p_c}{f_z + p_c}} \right) \quad (6.1-3)$$

oder

$$e = \frac{D_i}{2} \left(\sqrt{\frac{f_z + p_c}{f_z - p_c}} - 1 \right) \quad (6.1-4)$$

ANMERKUNG Hierbei handelt es sich um die Lamé-Gleichung.

6.2 Rohrbiegungen und Rohrbögen

6.2.1 Allgemeines

Für die Berechnung der Wanddicke von Rohrbögen stehen zwei Verfahren zur Verfügung (siehe 6.2.3.1 und Anhang B); für die Berechnung der Wanddicke von Rohrbiegungen gibt es drei Verfahren (siehe 6.2.3.1, 6.2.3.2 und Anhang B). Das ausgewählte Verfahren muss in seiner Gesamtheit angewendet werden.

Die in 6.2.3 angegebenen Gleichungen gelten nur für Rohrbiegungen, deren Unrundheit innerhalb der in EN 13480-4 festgelegten Toleranzen liegt.

ANMERKUNG Die angeführten Berechnungsregeln berücksichtigen die Tatsache [1] und [2], dass bei Rohrbiegungen und Rohrbögen unter Innendruck an der Bogeninnenseite höhere (und an der Bogenaußenseite niedrigere) Spannungen auftreten als bei einem geraden Rohr gleicher Wanddicke.

6.2.2 Symbole

Für die Anwendung von 6.2 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 6.2.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 6.2.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von 6.2

Symbol	Erläuterung	Einheit
e_{int}	Geforderte Mindestwanddicke ohne Zuschläge und Toleranzen einer Rohrbiegung an der Bogeninnenseite	mm
e_{ext}	Geforderte Mindestwanddicke ohne Zuschläge und Toleranzen einer Rohrbiegung an der Bogenaußenseite	mm
R	Radius von Rohrbiegung und Rohrbogen	mm

6.2.3 Erforderliche Wanddicke

6.2.3.1 Standardverfahren

Die geforderte Mindestwanddicke ohne Zuschläge und Toleranzen wird wie folgt berechnet:

— an der Bogeninnenseite

$$e_{\text{int}} = e \frac{(R / D_o) - 0,25}{(R / D_o) - 0,5} \quad (6.2.3-1)$$

— an der Bogenaußenseite

$$e_{\text{ext}} = e \frac{(R / D_o) + 0,25}{(R / D_o) + 0,5} \quad (6.2.3-2)$$

Dabei ist

e der nach 6.1 berechnete Wert für gerade Rohre.

6.2.3.2 Genaueres Verfahren

Das genauere Verfahren zur Berechnung der Wanddicken der Rohrbiegungen und Rohrbögen ist nach Anhang B durchzuführen.

Tabelle 6.2.3-1 — Mindest-Rohrwanddicke vor dem Induktivbiegen

Radius	Standardverfahren 6.2.3.1
$10 D_0$	1,02 e
$8 D_0$	1,03 e
$6 D_0$	1,04 e
$5 D_0$	1,04 e
$4 D_0$	1,05 e
$3 D_0$	1,06 e
$2,5 D_0$	1,08 e
$2 D_0$	1,10 e
$1,5 D_0$	1,15 e

6.3 Segmentkrümmer

6.3.1 Allgemeines

Die folgenden Regeln für die Berechnung von Segmentkrümmern (siehe Bild 6.3.2-1) gelten nur, wenn die nachstehenden Bedingungen erfüllt sind:

Segmentkrümmer mit Gehrungswinkeln an einem Segmentschnitt von mehr als $22,5^\circ$ (siehe Winkel α in Bild 6.3.2-1) dürfen bei Wechselbeanspruchung ($> 7\,000$ Zyklen) nicht verwendet werden.

Zusätzlich sollte bei zeitabhängigen Auslegungsspannungen Hochtemperaturwechselbeanspruchung berücksichtigt werden.

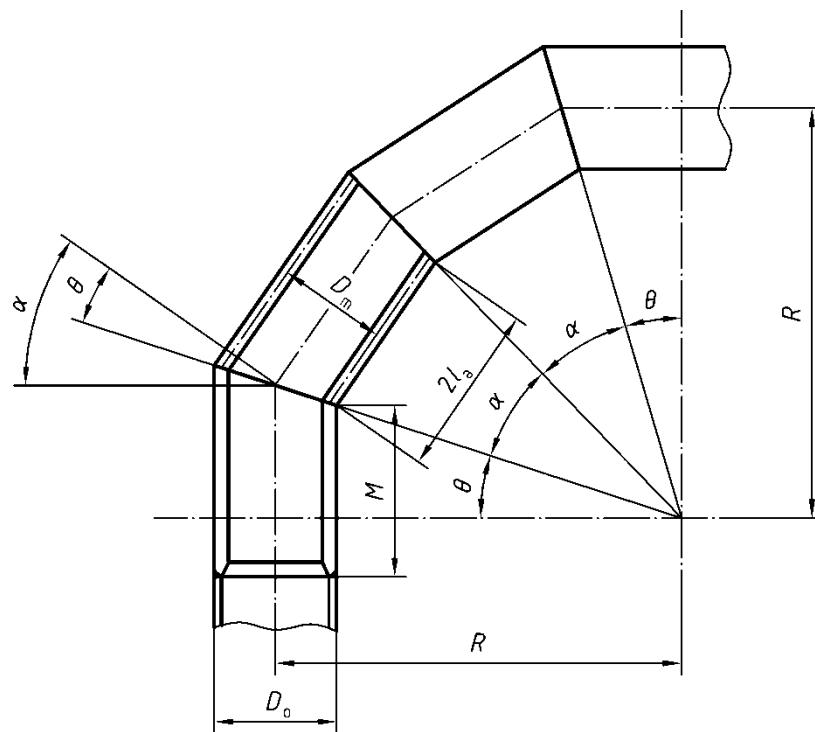
ANMERKUNG Segmentkrümmer mit Gehrungswinkeln bis zu 3° an einem Segmentschnitt können nach dem in 6.1 angegebenen Verfahren berechnet werden.

6.3.2 Symbole

Für die Anwendung von 6.3 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 6.3.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 6.3.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von 6.3

Symbol	Erläuterung	Einheit
R	Effektiver Radius des Segmentkrümmers (siehe Bild 6.3.2-1)	mm
l_a	Empirischer Wert als Funktion der Wanddicke e_a (siehe Tabelle 6.3.3-1)	mm
θ	Winkel (siehe Bild 6.3.2-1)	°
α	Gehrungswinkel an einem Segmentschnitt	°



ANMERKUNG $\alpha = 2 \theta$

Bild 6.3.2-1 — Schematische Darstellung eines Segmentkrümmers

6.3.3 Effektiver Radius des Segmentkrümmers

Der Wert von R darf nicht geringer sein als:

$$R = \frac{l_a}{\tan \theta} + \frac{D_0}{2} \quad (6.3.3-1)$$

Dabei ist

l_a in Tabelle 6.3.3-1 angegeben.

Tabelle 6.3.3-1 — Empirische Werte für l_a für Werte von e_a

e_a mm	l_a mm
$e_a \leq 13$	25
$13 < e_a < 22$	$2 e_a$
$e_a \geq 22$	$2/3 e_a + 30$

6.3.4 Segmentkrümmer mit mehr als einem Gehrungsschnitt

Der maximal zulässige Innendruck p_a bei Segmentkrümmern mit mehr als einem Gehrungsschnitt (siehe Bild 6.3.2-1) ist der kleinere der nach den Gleichungen (6.3.4-1) und (6.3.4-2) berechneten Werte, wobei der Wert nur für Krümmer mit dem Winkel $\theta \leq 22,5^\circ$ gilt.

$$p_a = \frac{2 f z e_a}{D_m} \left(\frac{e_a}{e_a + 0,643 \tan \theta \sqrt{0,5 D_m e_a}} \right) \quad (6.3.4-1)$$

$$p_a = \frac{2 f z e_a}{D_m} \left(\frac{R - 0,5 D_m}{R - 0,25 D_m} \right) \quad (6.3.4-2)$$

6.3.5 Segmentkrümmer mit einem Gehrungsschnitt

Ein Segmentkrümmer mit einem Gehrungsschnitt ist ein Segmentkrümmer mit nur einer Abwinkelung.

Der maximal zulässige Innendruck p_a bei Segmentkrümmern mit einem Gehrungsschnitt mit einem Winkel θ von bis zu $22,5^\circ$ muss nach 6.3.4 berechnet werden.

Der maximal zulässige Innendruck p_a bei Segmentkrümmern mit einem Gehrungsschnitt mit dem Winkel θ von mehr als $22,5^\circ$ muss nach Gleichung (6.3.5-1) berechnet werden.

$$p_a = \frac{2 f z e_a}{D_m} \left(\frac{e_a}{e_a + 1,25 \tan \theta \sqrt{0,5 D_m e_a}} \right) \quad (6.3.5-1)$$

6.3.6 An Segmentkrümmer anschließende gerade Rohrsegmente

Die Wanddicke muss sich über eine Länge, die mindestens dem Wert M (siehe Bild 6.3.2-1) auf der Krümmungsinnenseite vom Gehrungsschnitt an entspricht, erstrecken; dabei wird M wie folgt berechnet:

$$M = \max \left\{ 2,5 \sqrt{0,5 D_m e_a}; \left(R - \frac{D_m}{2} \right) \tan \theta \right\} \quad (6.3.6-1)$$

6.4 Reduzierstücke

6.4.1 Gültigkeitsbedingungen

Die in 6.4.4 bis 6.4.8 angegebenen Anforderungen gelten für gerade Kegel und Kegel/Zylinder-Verbindungsstellen, falls Kegel und Zylinder die gleiche Rotationsachse haben. Anforderungen an schräge Kegel sind in 6.4.9 angegeben.

Die Anforderungen gelten nicht für:

- Kegel, bei denen der halbe Öffnungswinkel größer als 60° ist;
 - Kegel, bei denen
- $$\frac{e_a \cos \alpha}{D_c} \leq 0,001 \text{ ist;} \quad (6.4.1-1)$$
- kurze Kegel, die eine Ummantelung mit einer Schale verbinden.

Die Grenzwerte für den Mindestabstand zu anderen Störstellen sind in den einzelnen Abschnitten angegeben.

6.4.2 Spezielle Begriffe

6.4.2.1 Verbindungsstück zwischen Zylinder und Kegel

Verbindung der Streckenabschnitte von Zylinder und Kegel mit mittlerer Wanddicke, die gegebenenfalls um eine Krempe verlängert wird (siehe Bild 6.4.2-1 und Bild 6.4.2-2 für Beispiele für große Durchmesserenden)

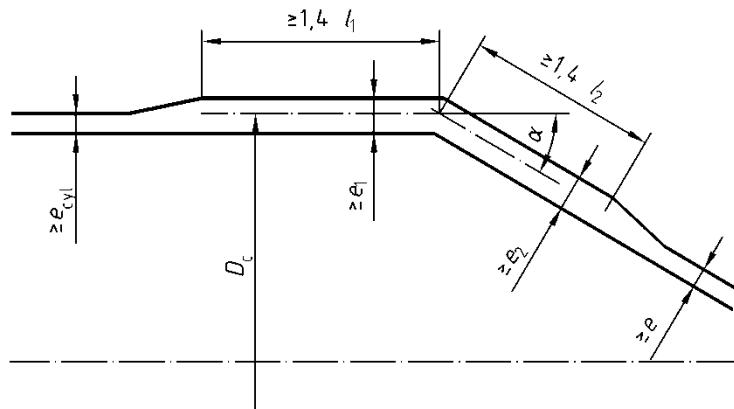


Bild 6.4.2-1 — Geometrische Gestalt einer Kegel/Zylinder-Verbbindung ohne Krempe — Großes Durchmesserende

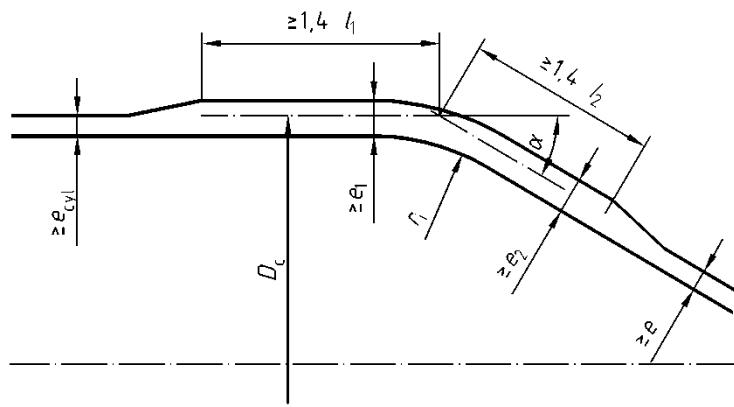


Bild 6.4.2-2 — Geometrische Gestalt einer Kegel/Zylinder-Verbbindung mit Krempe — Großes Durchmesserende

6.4.3 Spezielle Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung von 6.4 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 6.4.3-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 6.4.3-1 — Zusätzliche Symbole für 6.4

D_c	Mittlerer Durchmesser des Zylinders an der Verbindungsstelle mit dem Kegel
D_e	Außendurchmesser des Kegels
D_i	Innendurchmesser des Kegels
D_K	nach Gleichung (6.4.4-7) berechneter Durchmesser
D_m	Mittlerer Durchmesser des Kegels
e_{con}	nach 6.4.4 bestimmte geforderte Wanddicke des Kegels
e_{cyl}	nach 6.1 bestimmte geforderte Wanddicke des Zylinders
e_j	geforderte oder ermittelte Wanddicke an der Verbindung am großen Durchmesserende eines Kegels
e_1	geforderte Wanddicke des Zylinders an der Verbindung
e_{1a}	ermittelte Wanddicke der Verstärkung im Zylinder
e_2	geforderte Wanddicke des Kegels und der Krempe an der Verbindung
e_{2a}	ermittelte Wanddicke der Verstärkung im Kegel
f	Auslegungsspannung. Für die Konstruktion von Verbindungen nach 6.4.6 bis 6.4.9 ist dies der kleinste der für die einzelnen Bauteile ermittelten Werte
l_1	Länge des Zylinders
l_2	Länge des Kegels am großen oder am kleinen Durchmesserende
r_i	Innenradius der Krempe
α	Halber Öffnungswinkel des Kegels (Grad)
β	ein in 6.4.6 festgelegter Faktor
β_H	ein in 6.4.8 festgelegter Faktor
γ	ein in 6.4.7 festgelegter Faktor
ρ	ein in 6.4.7 festgelegter Faktor
τ	ein in 6.4.8 festgelegter Faktor

6.4.4 Kegelschalen

Die geforderte Wanddicke an jedem Punkt des Kegels muss nach einer der beiden nachstehenden Gleichungen berechnet werden:

$$e_{con} = \frac{p_c D_i}{2f z - p_c} \frac{1}{\cos\alpha} \quad (6.4.4-1)$$

oder

$$e_{con} = \frac{p_c D_e}{2f z + p_c} \frac{1}{\cos\alpha} \quad (6.4.4-2)$$

Dabei sind

D_i und D_e die Innen- und Außendurchmesser an dem betrachteten Punkt.

Bei gegebener geometrischer Gestalt gilt:

$$P_{max} = \frac{2 f z e_{con} \cos\alpha}{D_m} \quad (6.4.4-3)$$

Dabei ist

D_m der mittlere Durchmesser am betrachteten Punkt.

Für das große Durchmesserende eines mit einem Zylinder verbundenen Kegels können folgende Substitutionen vorgenommen werden:

$$D_i = D_k \quad (6.4.4-4)$$

$$D_e = D_k + 2e_2 \cos \alpha \quad (6.4.4-5)$$

$$D_m = (D_i + D_e)/2 \quad (6.4.4-6)$$

Dabei ist

$$D_K = D_c - e_1 - 2r_i(1 - \cos\alpha) - l_2 \sin\alpha \quad (6.4.4-7)$$

Zu r_i siehe Bild 6.4.2-2.

ANMERKUNG 1 Die in diesem Abschnitt angegebene Wanddicke ist der Mindestwert. Die Wanddicke muss gegebenenfalls zur Verstärkung an Verbindungsstellen mit anderen Bauteilen oder an Stutzen oder Auslässen oder aber zur Aufnahme von anderen als Druckbelastungen erhöht werden.

ANMERKUNG 2 Da die nach dem oben stehendem Verfahren berechnete Wanddicke die für den betrachteten Punkt des Kegels zulässige Mindestwanddicke ist, ist es zulässig, einen Kegel aus Blechen unterschiedlicher Dicke zu fertigen, sofern die Mindestdicke in jedem Punkt erreicht wird.

6.4.5 Verbindungsstellen – Allgemeines

Die Anforderungen von 6.4.6, 6.4.7 und 6.4.8 gelten, wenn der Abstand der Verbindung zu einer benachbarten Verbindung oder Störstelle, wie z. B. einer anderen Kegel/Zylinder-Verbindungsstelle oder einem Flansch, mindestens $2l_1$ am Zylinder und $2l_2$ am Kegel beträgt; dabei ist:

$$l_1 = \sqrt{D_c e_1} \quad (6.4.5-1)$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{D_c e_2}{\cos \alpha}} \quad (6.4.5-2)$$

Die Länge des Kegels kann auf weniger als $2l_2$ verringert werden, sofern die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- die nach 6.4.6 bzw. 6.4.7 berechnete Wanddicke e_2 , liegt über die gesamte Länge des Kegels vor;
- die Verbindung am kleinen Durchmesserende des Kegels ist nach 6.4.8 ausreichend bemessen.

6.4.6 Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder ohne Krempe und einem Kegel an dessen großem Durchmesserende

6.4.6.1 Gültigkeitsbedingungen

Die Anforderungen von 6.4.6.2 und 6.4.6.3 gelten, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- 1) die Verbindung muss eine Stumpfnaht sein, deren innere und äußere Oberflächen sanft in den benachbarten Kegel bzw. Zylinder übergehen, ohne dass die Wanddicke örtlich vermindert wird.
- 2) die Schweißnaht an der Verbindung muss einer zu 100 % zerstörungsfreien Prüfung unter Anwendung von radiographischen oder Ultraschallmessverfahren unterzogen werden, es sei denn, die Wanddicke an der Schweißnaht überschreitet konstruktionsgemäß $1,4e_j$; in diesem Fall sind die üblichen Regeln für die entsprechende Auslegung anzuwenden.

6.4.6.2 Auslegung

Die geforderte Dicke e_1 des Zylinders an der Verbindungsstelle ist gleich dem größeren der Werte für e_{cyl} und e_j , wobei e_j wie folgt zu berechnen ist:

$$\beta = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{D_c}{e_j}} \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + 1/\sqrt{\cos \alpha}} - 0,15 \quad (6.4.6-1)$$

$$e_j = \frac{p_c D_c \beta}{2f} \quad (6.4.6-2)$$

Das Ergebnis gilt als annehmbar, wenn der nach Gleichung (6.4.6-2) erhaltene Wert nicht kleiner als der in Gleichung (6.4.6-1) angenommene Wert ist. β kann auch aus dem Graphen in Bild 6.4.6-1 abgelesen werden.

Diese Wanddicke muss am Zylinder bis zu einem Abstand von mindestens $1,4 l_1$ von der Verbindungsstelle aufrechterhalten werden.

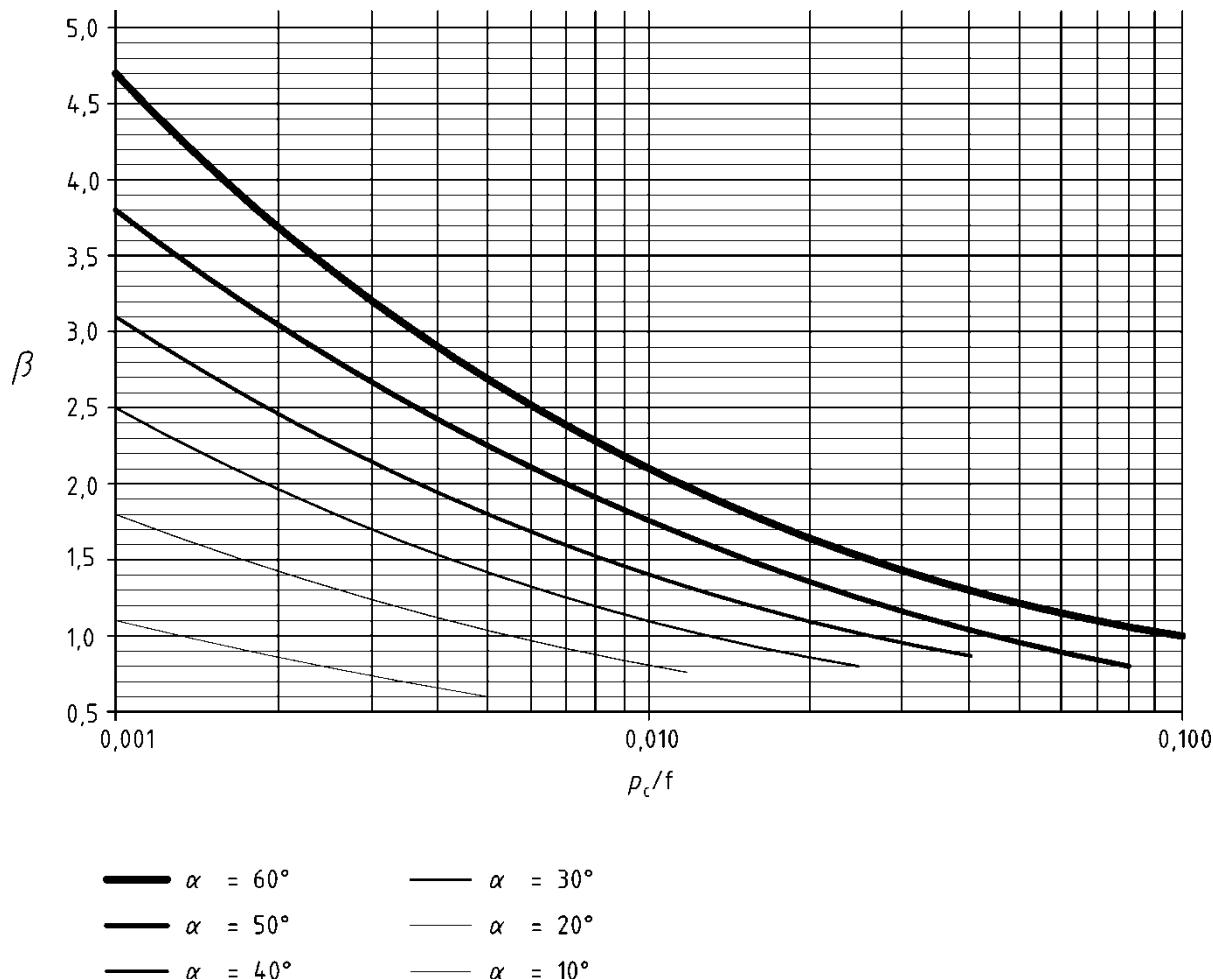


Bild 6.4.6-1 — Werte des Beiwerts β für Verbindungsstellen von Kegel und Zylinder ohne Krempe

Die geforderte Wanddicke e_2 des Kegels an der Verbindungsstelle ist gleich dem größeren der Werte für e_{con} und e_j . Diese Dicke muss bis zu einem Abstand von der Verbindung von mindestens $1,4 l_2$ am Kegel beibehalten werden, siehe Bild 6.4.6-1.

Es ist zulässig, die Verstärkung wie folgt umzuverteilen, sofern die Anforderungen an die Mindestwanddicke von 6.1 und 6.4.4 weiterhin erfüllt werden.

Die Wanddicke des Zylinders kann nahe der Verbindungsstelle erhöht und weiter davon entfernt verringert werden, sofern die Querschnittsfläche des Zylindermetalls bis zu einem Abstand von $1,4 l_1$ von der Verbindungsstelle nicht weniger als $1,4 e_1 l_1$ beträgt. Zusätzlich kann die Wanddicke des Kegels nahe der Verbindungsstelle erhöht und weiter davon entfernt verringert werden, sofern die Querschnittsfläche des Kegelmetalls bis zu einem Abstand von $1,4 l_2$ von der Verbindungsstelle nicht weniger als $1,4 e_2 l_2$ beträgt.

6.4.6.3 Bemessungsdaten

Der maximal zulässige Druck bei gegebener Geometrie wird wie folgt berechnet:

- a) Bei Zylindern ist Gleichung (6.4.6-3) anzuwenden;

$$P_{\max} = \frac{2 f_z e_a}{D_c} \quad (6.4.6-3)$$

- b) bei Kegeln ist Gleichung (6.4.4-3) anzuwenden;
- c) die Verstärkungswanddicke des Zylinders e_{1a} ist an der Verbindungsstelle zu bestimmen;
- d) die Verstärkungswanddicke des Kegels e_{2a} ist an der Verbindungsstelle zu bestimmen;
- e) Gleichung (6.4.4-3) ist mit der Dicke e_{2a} und dem Durchmesser D_m anzuwenden;
- f) e_j ist als der kleinere der beiden Werte e_{1a} und e_{2a} zu ermitteln;
- g) β ist nach Gleichung (6.4.6-1) zu berechnen, daraus ergibt sich:

$$P_{\max} = \frac{2 f_z e_j}{\beta D_c} \quad (6.4.6-4)$$

- h) der maximal zulässige Druck ist der kleinste der nach a), b), e) und g) ermittelten Drücke.

ANMERKUNG Für die Bestimmung der Verstärkungswanddicke in c) und d) kann das folgende Verfahren angewendet werden:

- 1) Unter Annahme eines Wertes für e_{1a} (als Anfangswert sollte die Dicke an der Verbindungsstelle gewählt werden)
- 2) ist zu berechnen:

$$l_1 = 1,4 \sqrt{D_c e_{1a}} \quad (6.4.6-5)$$

- 3) Falls die Dicke innerhalb des Abstandes l_1 konstant ist, gilt e_{1a} als bestätigt;
- 4) falls nicht, ist die Fläche des Metalls A_1 innerhalb des Abstandes l_1 von der Verbindungsstelle zu berechnen.
- 5) Ein besserer Schätzwert ergibt sich aus:

$$e_{1a} = A_1 / l_1 \quad (6.4.6-6)$$

Das Ergebnis gilt als annehmbar, wenn es nicht größer als e_{1a} wie unter 1) angenommen ist.

- 6) Falls das Ergebnis nicht annehmbar ist, ist zu 1) zurückzukehren.
- 7) Für die Ermittlung von e_{2a} ist das gleiche Verfahren anzuwenden.

$$l_2 = 1,4 \sqrt{\frac{D_c e_{2a}}{\cos \alpha}} \quad (6.4.6-7)$$

6.4.7 Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder mit Krempe und einem Kegel an dessen großem Durchmesserende

6.4.7.1 Gültigkeitsbedingungen

Dieser Abschnitt gilt, wenn die nachstehenden Bedingungen sämtlich erfüllt sind:

- a) die Krempe ist ringförmig und hat sanfte Übergänge zum benachbarten Kegel und Zylinder; und
- b) der innere Krümmungsradius der Krempe $r_i < 0,3 D_c$.

ANMERKUNG Dieser Abschnitt schreibt keinen Mindestwert für den Krümmungsradius der Krempe vor.

6.4.7.2 Auslegung

Der Wert von e_j ist nach folgendem Verfahren zu bestimmen:

Unter Annahme eines Wertes für e_j ist zu berechnen:

$$\beta = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{D_c}{e_j}} \cdot \frac{\tan \alpha}{1 + 1/\sqrt{\cos \alpha}} - 0,15 \quad (6.4.7-1)$$

$$\rho = \frac{0,028 r_i}{\sqrt{D_c e_j}} \frac{\alpha}{1 + 1/\sqrt{\cos \alpha}} \quad (6.4.7-2)$$

$$\gamma = 1 + \frac{\rho}{1,2 \left(1 + \frac{0,2}{\rho} \right)} \quad (6.4.7-3)$$

$$e_j = \frac{p_c D_c \beta}{2 f \gamma} \quad (6.4.7-4)$$

Das Ergebnis gilt als annehmbar, wenn der nach Gleichung (6.4.7-4) erhaltene Wert nicht kleiner ist als angenommen.

Die geforderte Wanddicke e_1 des Zylinders an der Verbindungsstelle ist gleich dem größeren der Werte für e_{cyl} und e_j .

Diese Wanddicke muss entlang des Zylinders bis zu einem Abstand von der Verbindung von mindestens $1,4 l_1$ und bis zu einem Abstand von der Krempe/der Zylindertangente von $0,5 l_1$ beibehalten werden.

Die geforderte Wanddicke e_2 von Krempe und Kegel an der Verbindungsstelle ist gleich dem größeren der Werte für e_{con} und e_j . Diese Wanddicke muss entlang des Kegels bis zu einem Abstand von der Verbindungsstelle mindestens $1,4 l_2$ und bis zu einem Abstand von der Krempe/der Zylindertangente von $0,7 l_2$ beibehalten werden.

6.4.7.3 Bemessungsdaten

Der maximal zulässige Druck bei gegebener Geometrie wird wie folgt berechnet:

- Zu bestimmen sind die Dicke des Zylinders neben der Krempe e_{1a} und die Dicke der Krempe e_{2a} und des benachbarten Teils des Kegels;
- Es ist zu prüfen, ob die Einschränkungen von 6.4.7.1 eingehalten werden;
- Bei Zylindern ist Gleichung (6.4.6-3) mit $e_a = e_{1a}$ anzuwenden;
- bei Kegeln ist Gleichung (6.4.4-3) mit $e_{con} = e_{2a}$ anzuwenden;
- e_j ist als der kleinere der beiden Werte e_{1a} und e_{2a} zu ermitteln;
- β und γ sind nach den Gleichungen (6.4.7-1) und (6.4.7-3) zu berechnen, daraus ergibt sich:

$$P_{max} = \frac{2f\gamma e_j}{\beta D_c} \quad (6.4.7-5)$$

- der maximal zulässige Druck ist der kleinste der nach c), d) und f) ermittelten Drücke.

6.4.8 Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder und einem Kegel an dessen kleinem Durchmesserende

6.4.8.1 Gültigkeitsbedingungen

Die Anforderungen von 6.4.8.2 und 6.4.8.3 gelten, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Die geforderte Dicke des Zylinders e_1 wird bis zu einem Abstand von l_1 und die des Kegels e_2 bis zu einem Abstand von l_2 von der Verbindungsstelle beibehalten (siehe Bild 6.4.8-1); und
- die Dicken erfüllen die Anforderungen von 6.1 und 6.4.4.

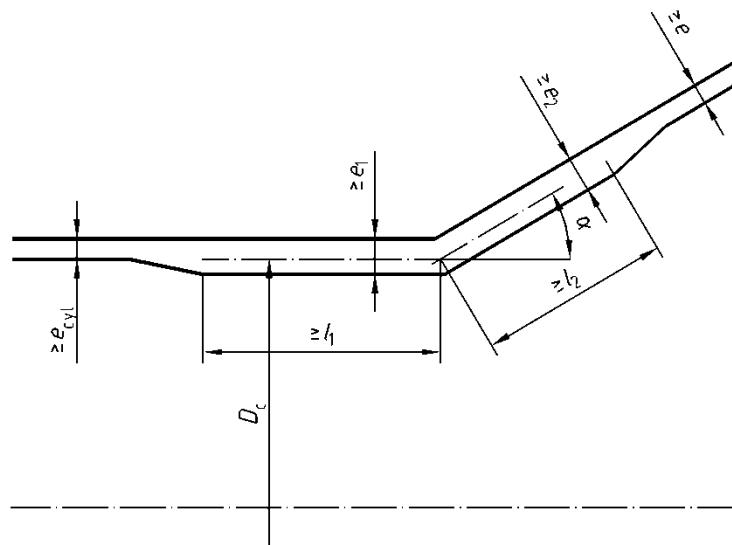


Bild 6.4.8.1-1 — Geometrische Gestalt der Kegel/Zylinder-Verbindung:
 Kleines Durchmesserende

6.4.8.2 Auslegung

Die geforderten Dicken e_1 und e_2 sind nach folgendem Verfahren zu bestimmen:

Unter Annahme jeweils eines Wertes für e_1 und e_2 ist zu berechnen:

$$s = \frac{e_2}{e_1} \quad (6.4.8-1)$$

Wenn $s < 1$ dann gilt

$$\tau = s \sqrt{\frac{s}{\cos \alpha}} + \sqrt{\frac{1+s^2}{2}} \quad (6.4.8-2)$$

Wenn $s \geq 1$ dann gilt

$$\tau = 1 + \sqrt{s \left\{ \frac{1+s^2}{2 \cos \alpha} \right\}} \quad (6.4.8-3)$$

$$\beta_H = 0,4 \sqrt{\frac{D_c}{e_1}} \frac{\tan \alpha}{\tau} + 0,5 \quad (6.4.8-4)$$

Falls

$$p_c \leq \frac{2f z e_1}{D_c \beta_H} \quad (6.4.8-5)$$

dann gelten die Ergebnisse für e_1 und e_2 als annehmbar.

ANMERKUNG Das oben angegebene Verfahren liefert Werte für e_1 und e_2 , die voneinander abhängen. die Werte können frei gewählt werden, um den Erfordernissen der Auslegung gerecht zu werden, z. B. um einen gewünschten Wert für l_1 oder l_2 zu erzielen.

Sofern die Anforderungen von 6.1 und 6.4.4 weiterhin erfüllt werden, ist es zulässig, die Auslegung nach der obigen Regel wie folgt zu ändern:

- a) Ist $e_1 = e_2$, kann eine Krempe gleicher Wanddicke eingefügt werden. l_1 und l_2 sind weiterhin von der Verbindungsstelle (d. h. dem Schnittpunkt der Wanddickenmittellinien von Kegel und Zylinder) aus zu messen;
- b) Die Wanddicke des Zylinders kann nahe der Verbindungsstelle erhöht und weiter davon entfernt verringert werden, sofern die Querschnittsfläche des Zylindermetalls bis zu einem Abstand von l_1 von der Verbindungsstelle nicht weniger als $l_1 e_1$ beträgt. Zusätzlich kann die Wanddicke des Kegels nahe der Verbindungsstelle erhöht und weiter davon entfernt verringert werden, sofern die Querschnittsfläche des Kegelmetalls bis zu einem Abstand von l_2 von der Verbindungsstelle nicht weniger als $e_2 l_2$ beträgt.

6.4.8.3 Bemessungsdaten

Der maximal zulässige Druck bei gegebener Geometrie wird wie folgt berechnet:

$$P_{\max} = \frac{2 f z e_{1a}}{D_c \beta_H} \quad (6.4.8-6)$$

β_H wird nach den Gleichungen (6.4.8-1) bis (6.4.8-4) berechnet, wobei e_1 und e_2 durch e_{1a} bzw. e_{2a} zu ersetzen sind.

ANMERKUNG 1 Für die Ermittlung von e_{1a} und e_{2a} ist das in der Anmerkung zu 6.4.6.3 angegebene Verfahren anzuwenden.

ANMERKUNG 2 Die ermittelten Wanddicken können gegebenenfalls die geforderte Wanddicke überschreiten, ohne zu einer Erhöhung von l_1 oder l_2 zu führen.

6.4.9 Reduzierstücke mit Mittellinienversatz

Dieser Abschnitt gilt für Reduzierstücke mit Mittellinienversatz (siehe Bild 6.4.9-1). Die zylindrischen Teile müssen parallele Mittellinien haben, wobei der Versatz zwischen den Mittellinien d_{off} nicht größer sein darf als die Differenz ihrer Radien. Die Wanddicken für die Verbindungsstelle am großen Durchmesserende müssen nach 6.4.6 oder 6.4.7 berechnet werden, Die Mindestwanddicken für die Verbindung am kleinen Durchmesserende müssen nach 6.4.8 berechnet werden. Der größere dieser Werte ist auf das gesamte Reduzierstück anzuwenden. Für den Winkel α wird der größte Winkel zwischen konischem und zylindrischem Teil eingesetzt.

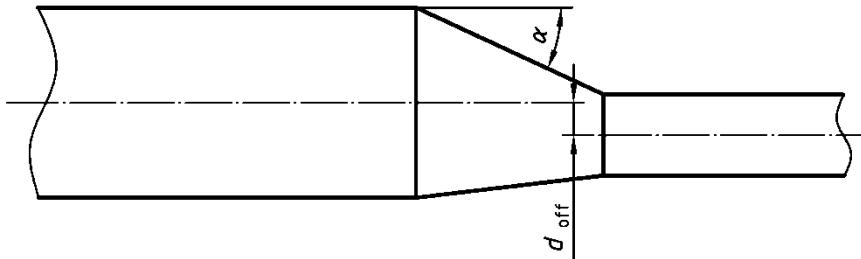


Bild 6.4.9-1 — Reduzierstück mit Mittellinienversatz

6.4.10 Geschmiedete Spezialreduzierstücke

Geschmiedete Spezialreduzierstücke, z. B. für sehr hohe Temperaturen und/oder sehr hohe Innendrücke, die nicht in Produktnormen enthalten sind, können wie in Bild 6.4.10-1 dargestellt ausgelegt werden; dabei gilt:

$$l_1 \geq \sqrt{\frac{D_1 e_1}{\cos \alpha}} \quad (6.4.10-1)$$

$$l_s \geq \sqrt{\frac{D_s e_s}{\cos \alpha}} \quad (6.4.10-2)$$

$$r \geq 10 \text{ mm} \quad (6.4.10-3)$$

$$r' \geq 100 \text{ mm} \quad (6.4.10-4)$$

$$e_r = \max \{e_{cyl}; e_j\} \quad (6.4.10-5)$$

Dabei entspricht e_{cyl} den Festlegungen in Abschnitt 6.1 und e_j Gleichung (6.4.7-4).

Werden diese Gleichungen erfüllt, ist eine zusätzliche Berechnung nicht erforderlich.

Für Reduzierstücke anderer Auslegung ist die Eignung nachzuweisen.

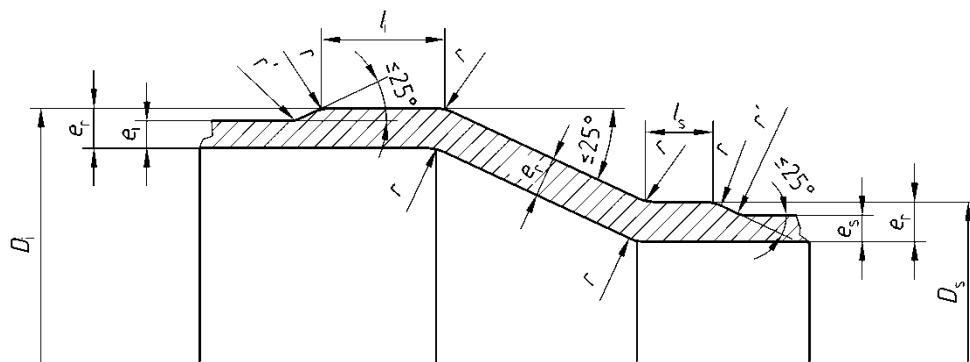


Bild 6.4.10-1 — Geschmiedete Spezialreduzierstücke

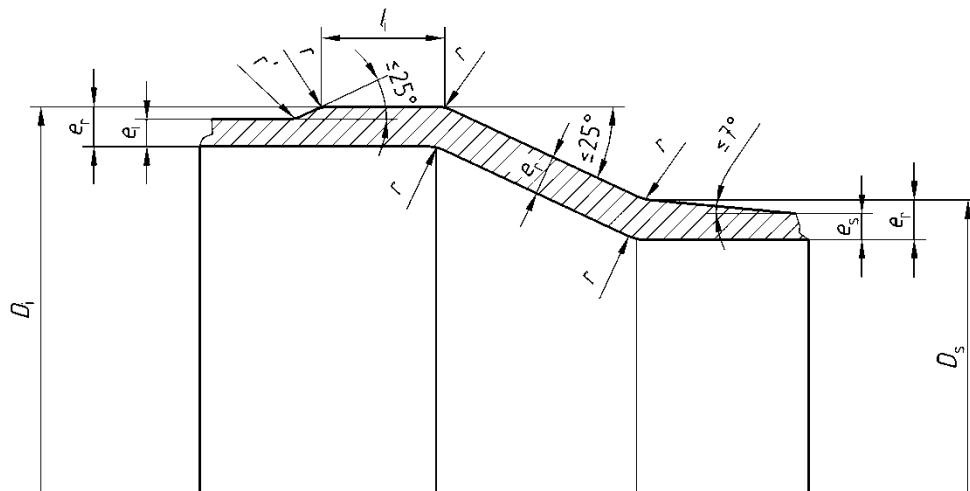


Bild 6.4.10-2 — Geschmiedete Spezialreduzierstücke (alternative Lösung)

6.5 Flexible Rohrleitungselemente

6.5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt befasst sich mit Kompensatoren und umflochtenen Wellschläuchen, die einerseits den Zweck haben, Relativbewegungen und Verschiebungen von Rohrleitungen oder Anlagenbauteilen zu absorbieren und andererseits dazu dienen, Kräfte und Momente, d. h. Spannungen, in Rohren und ihren Anschlüssen zu vermindern.

Die Hersteller derartiger Bauteile tragen die Verantwortung für deren ordnungsgemäße Auslegung und Fertigung.

6.5.2 Kompensatoren

Die Funktion von Rohrleitungssystemen mit Kompensatoren hängt in hohem Maße von der ordnungsgemäßen Kombination aller Bauteile ab. Dies macht es erforderlich, das System, seine Unterstützungen und Festpunkte sowie deren Wechselwirkung mit den Kompensatoren in allen Einzelheiten zu betrachten. Die Kompensatoren sollten nicht als Gebrauchsgüter angesehen werden.

Für die Konstruktion und den Einbau von Kompensatoren siehe Anhang C.

Für die Auslegung und Konstruktion von Kompensatoren müssen folgende Angaben vorliegen:

- Kompensatortyp (Axial-, Angular-, Lateral- oder Universalkompensator);
- Anschlussteil (Anschweißende, Flansch);
- Nenndurchmesser DN oder Abmessungen der Anschlussteile (z. B. Rohrdurchmesser, Wanddicke);
- Betriebs- oder Berechnungsdruck;
- Betriebs- oder Berechnungstemperatur;
- Bewegungen des Kompensators;
 - Gesamtaxialbewegung;
 - Gesamtangularbewegung;
 - Gesamt lateralbewegung;
- Vorspannung (Betrag, Richtung);
- Lastspielzahl (Bewegung, Druck);
- Fluid (Art, Dichte, Additive);
- Strömungsgeschwindigkeit des Fluids;
- Anforderungen an den Werkstoff;
- Zusatzlasten (siehe 4.2.4).

Die einzelnen Bewegungen können auch als Lastkollektive festgelegt werden, für die der Hersteller die Auslegungsdaten festlegt.

ANMERKUNG Die Wellen von Kompensatoren aus Metall haben üblicherweise eine wesentlich geringere Wanddicke als die Rohrleitungsbauenteile, an die sie angeschlossen werden. Es ist daher unbedingt erforderlich, sie aus einem Werkstoff zu fertigen, der in der Lage ist, dem Angriff der bei der jeweiligen Anwendung zu erwartenden korrosiven Medien zu widerstehen.

Die Hersteller von Kompensatoren müssen auf Anfrage folgende Angaben für die Systemanalyse bereitstellen:

- Größe der Verstellkräfte in allen Bewegungsrichtungen;
- Größe der Verstellmomente um alle Drehachsen;
- Kräfte und Momente aus Reibung in den Lagern der Gelenke;
- Axiale Druckkraft, die auf die Festpunkte einwirkende druckinduzierte Axialkraft unverspannter Kompensatoren.

6.5.3 Wellschlauchleitungen

Druck-Wellschläuche sind in sich axial verspannt und übertragen keine Druckkräfte auf die benachbarten Rohrleitungen.

Für axiale Bewegungen sollen keine geraden Schlauchleitungen verwendet werden. Bewegungen sollten lateral oder durch Verwendung von Schlauchbögen, als 90°-Bogen oder 180°-Bogen, aufgenommen werden (siehe Bilder 6.5.3-1, 6.5.3-2, 6.5.3-3).

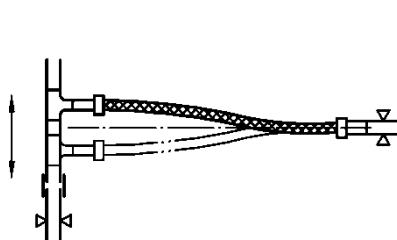


Bild 6.5.3-1

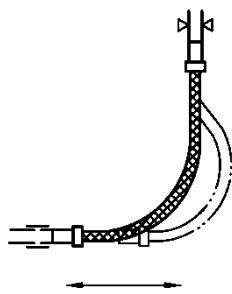


Bild 6.5.3-2

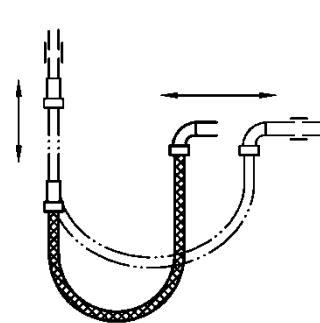


Bild 6.5.3-3

Dem Hersteller müssen für die Auslegung von Schlauchleitungen folgende Angaben zur Verfügung gestellt und berücksichtigt werden:

- Beschreibung der vorgesehenen Anwendung;
- Nennweite der Schlauchleitung;
- maximal zulässiger Betriebsdruck (Innen- und/oder Außendruck);
- Unterdruck, falls zutreffend;
- Umgebungstemperatur und maximal zulässige Betriebstemperatur;
- Werkstoffspezifikation;
- Durchflußmedium;
- Angaben zur möglichen Korrosion, Erosion und Abrasion;
- Strömungsgeschwindigkeit des Mediums;
- Bewegungen und/oder Schwingungen (einschließlich eventuell auftretender Torsion);
- vorgesehene Lebensdauer (z. B. Lastspielzahl);
- Art der Anschlussteile für die Schlauchleitung;
- äußere und innere Schutzmaßnahmen, falls erforderlich;
- besondere Anforderungen an Wärmebehandlung und/oder Reinigung;

- alle sonstigen Parameter oder Beanspruchungen, die die Konstruktion und Lebensdauer beeinflussen können (z. B. Wasserschlag).

Falls umflochtene Wellenschlauchleitungen unterschiedlichen Betriebsbedingungen ausgesetzt sein können (z. B. während des normalen Betriebs und während der Reinigung), muss der Hersteller alle relevanten Angaben zu diesen Bedingungen zur Verfügung haben und berücksichtigen.

6.6 Verschraubte Flanschverbindungen

6.6.1 Allgemeines

Die Festlegungen dieses Abschnitts sind für die Überprüfung der mechanischen Festigkeit von Flanschverbindungen unter statischer Belastung vorgesehen. Es liegt ebenfalls in der Verantwortung des Konstrukteurs, die Eignung der Flanschverbindung (Dichtungstyp und Eigenschaften usw.) für die Betriebsbedingungen, insbesondere hinsichtlich einer spezifischen erforderlichen Dichtigkeit, sicherzustellen.

Besteht eine besondere Anforderung an die Dichtigkeit der Flanschverbindung, muss die Berechnung nach EN 1591-1 und EN 1591-2 erfolgen. Empfohlene Dichtungen werden im Anhang P bestimmt.

Der Konstrukteur muss die durch das angeschlossene Rohrleitungssystem verursachten Schnittlasten berücksichtigen.

Die Klassifizierung von Werkstoffen für Flansche, Schrauben und Muttern ist EN 1515-2 (nach PN bezeichnete Flansche) und EN 1515-3 (nach Class bezeichnete Flansche) zu entnehmen. Die Auswahl der Verschraubung muss Anhang D und EN 1515-4 entsprechen.

Anhang P enthält Informationen zur Einsetzbarkeit von Dichtungen (Druck, Temperatur, chemische Beständigkeit, usw.).

6.6.2 Symbole

Für die Anwendung von 6.6 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 6.6.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 6.6.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von 6.6

Symbol	Beschreibung	Einheit
P_{eq}	Äquivalenter Auslegungsdruck	MPa (N/mm ²)
P	Berechnungsinnendruck	MPa (N/mm ²)
F	Axialzugkraft (muss in der Gleichung ein positiver Wert sein)	N
M	Äußeres Biegemoment	N mm
G	Wirksamer Dichtungsdurchmesser für Übertragung äußerer Lasten	mm
C	Lochkreisdurchmesser	mm

6.6.3 Genormter Flansch

Eine genormte Stahlflanschverbindung entsprechend festgelegten Werkstoffanforderungen mit dem hinsichtlich Flanschwerkstoffen und Auslegungstemperatur maximal zulässigen Druck dürfen innerhalb der Konstruktion von Rohrleitungen unter Innendruck ohne eine Berechnung zur Verifizierung ihrer Festigkeit verwendet werden, sofern die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Bei jedem normalen Betriebszustand darf der Auslegungsdruck den festgelegten maximal zulässigen Druck nicht überschreiten.

- b) Bei Bedingungen, bei denen die Flanschverbindung gleichzeitig Innendruck, Axiallast und Biegemoment ausgesetzt ist, darf der äquivalente Auslegungsdruck, P_{eq} , nach Gleichung (6.6.2-1) die in a) festgelegten Grenzen nicht überschreiten.

$$P_{eq} = P + \frac{4F}{\pi G^2} + \frac{16|M|}{\pi CG^2} \quad (6.6.2-1)$$

- c) Die Dichtungstypen sind für jeden PN in EN 1514-1 bis EN 1514-8 festgelegt.
d) Die Festigkeit der Verschraubung der Flanschverbindung muss für jeden PN EN 1515-1 bis -4 entsprechen.
e) Die Temperaturdifferenz zwischen den Flanschen und der Verschraubung darf in keinem Fall 50 °C überschreiten.
f) Beträgt die Auslegungstemperatur ≥ 120 °C, darf der Wärmeausdehnungskoeffizient des Flanschwerkstoffes den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Schraubenwerkstoffes um höchstens 10 % überschreiten.

6.6.4 Nicht genormter Flansch

Wird ein nicht genormter Flansch verwendet, muss die Auslegung unter Verwendung des Berechnungsverfahrens nach EN 1591-1 oder durch Anwendung des im Taylor-Forge-Verfahren dargestellten Algorithmus (Anhang D) erfolgen.

ANMERKUNG 1 Bei Anwendung des Taylor-Forge-Verfahrens ist Dichtigkeit nicht sichergestellt.

ANMERKUNG 2 Der in EN 1591-1 angegebene Algorithmus berücksichtigt Schnittlasten.

ANMERKUNG 3 Das Anziehmoment der Schrauben sollte vom Konstrukteur festgelegt werden. In derartigen Fällen sollte dem Verfahren, mit dem die Schrauben angezogen werden, besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. EN 1591-1 enthält Richtwerte für die Streuung der Schraubenkraft bei den verschiedenen Anzugsverfahren.

7 Auslegung von Böden unter Innendruck

7.1 Gewölbte Böden

7.1.1 Symbole

Für die Anwendung von 7.1 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 7.1.1-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 7.1.1-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von 7.1

Symbol	Erläuterung	Einheit
e_{kn}	Wanddicke der Krempe	mm
e_s	Mindestwanddicke des Bodens zur Begrenzung der Membranspannung im Kalottenteil	mm
$e_{kn\ y}$	Mindestwanddicke der Krempe gegen achssymmetrisches Fließen	mm
$e_{kn\ b}$	Mindestwanddicke der Krempe gegen plastisches Beulen	mm
D_o	Außendurchmesser des Bodens	mm
D_i	Innendurchmesser des Bodens	mm
h_i	Innenhöhe des elliptischen Bodens	mm
K	Formfaktor für elliptische Böden	-
R_i	Innenradius des torisphärischen Bodens	mm
r_i	Innerer Krempenradius	mm
p_s	Maximal zulässiger Druck des Bodens zur Begrenzung der Membranspannung im Kalottenteil	MPa (N/mm ²)
$p_{kn\ y}$	Maximal zulässiger Druck der Krempe gegen achssymmetrisches Fließen	MPa (N/mm ²)
$p_{kn\ b}$	Maximal zulässiger Druck der Krempe gegen plastisches Beulen	MPa (N/mm ²)

7.1.2 Halbkugelförmige Böden

Die geforderte Mindestwanddicke eines halbkugelförmigen Bodens ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$e = \frac{p_c D_i}{4 f z - p_c} \quad (7.1.2-1)$$

Die Wanddicke des zylindrischen Teils, e_{cyl} , darf bis zu dem auf den Bildern 7.1.2-1 a) und b) dargestellten Punkt A nicht kleiner als die nach 6.1 berechnete Mindestwanddicke des zugehörigen Rohres sein.

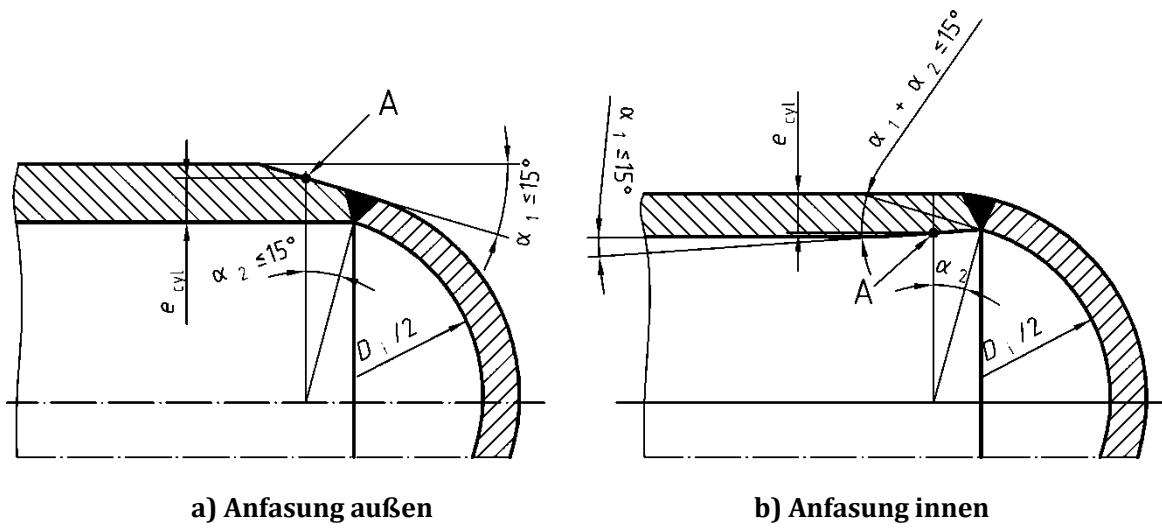


Bild 7.1.2-1 — Halbkugelförmige Böden

7.1.3 Torisphärische Böden

Dieser Abschnitt gilt unter der Voraussetzung, dass die folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

$$r_i \leq 0,2 D_i$$

$$r_i \geq 0,06 D_i$$

$$r_i \geq 2e$$

$$0,001 D_i \leq e \leq 0,08 D_i$$

$$R_i \leq D_0$$

Wenn $e < 0,003 D_i$ ist, gilt das Verfahren nur:

- für Böden aus Kohlenstoffstählen und austenitischen nichtrostenden Stählen; und
- für eine Berechnungstemperatur $t_c \leq 100^\circ\text{C}$.

Die geforderte Mindestwanddicke e ist gleich dem größten der Werte für e_s , $e_{kn,y}$ und $e_{kn,b}$, die wie folgt berechnet werden:

$$e_s = \frac{p_c R_i}{2f z - 0,5 p_c} \quad (7.1.3-1)$$

$$e_{kn,y} = \frac{\beta p_c (0,75 R_i + 0,2 D_i)}{f} \quad (7.1.3-2)$$

wobei β nach 7.1.5 zu berechnen ist

und

$$e_{kn,b} = (0,75 R_i + 0,2 D_i) \left\{ \frac{p_c}{111 f_b} \left(\frac{D_i}{r_i} \right)^{0,825} \right\}^{\frac{1}{1,5}} \quad (7.1.3-3)$$

Dabei ist

f_b die zulässige Spannung gegen Beulen,

- die für alle Werkstoffe, ausgenommen kaltgeformte austenitische nichtrostende Stähle, wie folgt berechnet wird:

$$f_b = f \quad (7.1.3-4)$$

- für kaltgeformte austenitische nichtrostende Stähle gilt:

$$f_b = 1,6 f \quad (7.1.3-5)$$

ANMERKUNG Durch den Faktor 1,6 wird die Werkstoffverfestigung berücksichtigt.

Für eine gegebene Form ist der maximale Druck gleich dem niedrigsten der Werte für p_s , $p_{kn\ y}$ und $p_{kn\ b}$, die wie folgt berechnet werden:

$$p_s = \frac{2 f e_a z}{R_i + 0,5 e_a} \quad (7.1.3-6)$$

$$p_{kn\ y} = \frac{f e_a}{\beta (0,75 R_i + 0,2 D_i)} \quad (7.1.3-7)$$

wobei β nach 7.1.5 zu berechnen ist

$$p_{kn\ b} = 111 f_b \left(\frac{e_a}{0,75 R_i + 0,2 D_i} \right)^{1,5} \left(\frac{r_i}{D_i} \right)^{0,825} \quad (7.1.3-8)$$

ANMERKUNG Bei $e_{kn\ y} > 0,005 D_i$ ist eine Berechnung von $e_{kn\ b}$ oder $p_{kn\ b}$ nicht erforderlich.

Es ist zulässig, die Wanddicke im kugelförmigen Teil des Bodens auf den Wert e_s zu verringern, wenn der Abstand der Kreisfläche von der Krempe mindestens gleich dem auf Bild 7.1.3-1 dargestellten Abstand $\sqrt{R_i e_{kn}}$ ist.

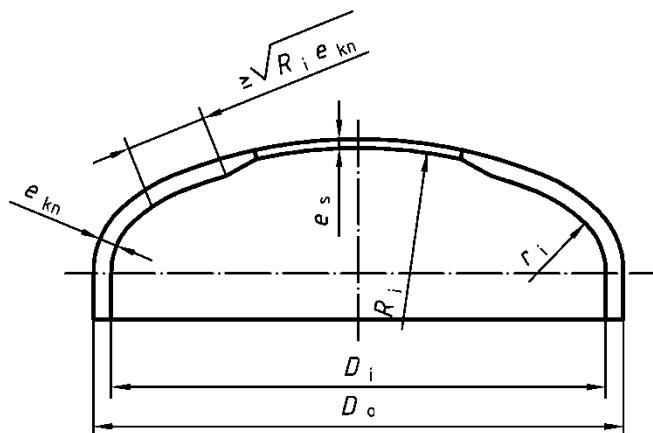


Bild 7.1.3-1 — Torisphärische Böden

Alle zylindrischen Borde müssen die in 6.1 angegebenen Anforderungen an gerade Rohre erfüllen, es sei denn, dass ihre Länge nicht größer als $0,2 \sqrt{D_i e_{kn}}$ ist; in diesem Falle darf ihre Wanddicke gleich der der Krempe sein.

7.1.4 Elliptische Böden

Dieser Abschnitt gilt für Böden mit $1,7 < K < 2,2$ und $z = 1$,

Dabei ist

$$K = \frac{D_i}{2 h_i} \text{ (siehe Bild 7.1.4-1).}$$

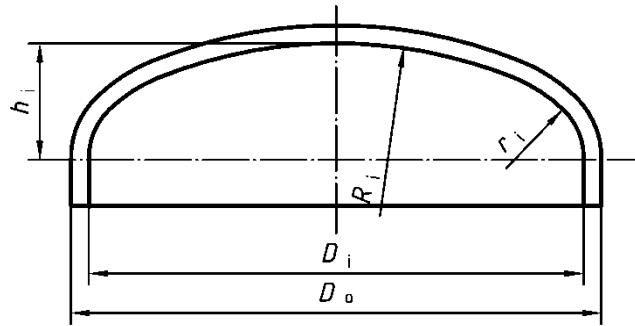


Bild 7.1.4-1 — Elliptische Böden

Elliptische Böden sind wie äquivalente torisphärische Böden zu konstruieren; dabei gilt:

$$r_i = D_i (0,5/K - 0,08) \quad (7.1.4-1)$$

und

$$R_i = D_i (0,44 K + 0,02) \quad (7.1.4-2)$$

7.1.5 Berechnung des Beiwerts β

Der Wert von β wird nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$Y = \min (e/R_i; 0,04) \quad (7.1.5-1)$$

$$Z = \log (1/Y) \quad (7.1.5-2)$$

$$X = r_i/D_i \quad (7.1.5-3)$$

$$N = \left(1,006 - \frac{1}{6,2 + (90 Y)^4} \right) \quad (7.1.5-4)$$

Für $X = 0,06$

$$\beta = \beta_{0,06} = N (-0,3635 Z^3 + 2,2124 Z^2 - 3,2937 Z + 1,8873) \quad (7.1.5-5)$$

Für $0,06 < X < 0,1$,

$$\beta = 25 [(0,1 - X) \beta_{0,06} + (X - 0,06) \beta_{0,1}] \quad (7.1.5-6)$$

Für $X = 0,1$

$$\beta = \beta_{0,1} = N (-0,1833 Z^3 + 1,0383 Z^2 - 1,2943 Z + 0,8370) \quad (7.1.5-7)$$

Für $0,1 < X < 0,2$,

$$\beta = 10 [(0,2 - X) \beta_{0,1} + (X - 0,1) \beta_{0,2}] \quad (7.1.5-8)$$

Für $X = 0,2$,

$$\beta = \beta_{0,2} = \max \left[\left(0,532 - 1,843 Y - 78,375 Y^2 \right), (0,5) \right] \quad (7.1.5-9)$$

ANMERKUNG Werte für β können den Bildern 7.1.5-1 und 7.1.5-2 entnommen werden.

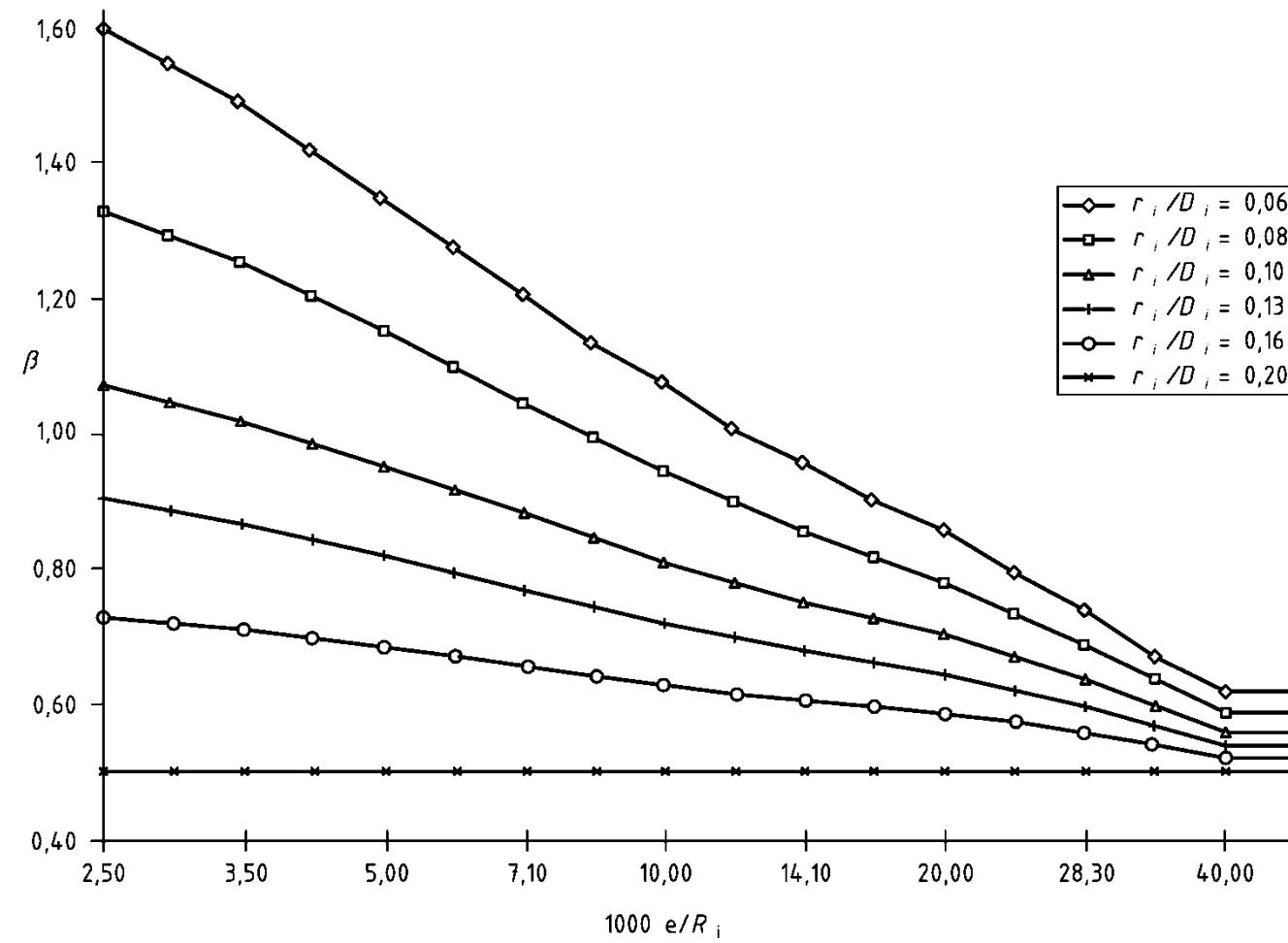


Bild 7.1.5-1 — Auslegung torisphärischer Böden

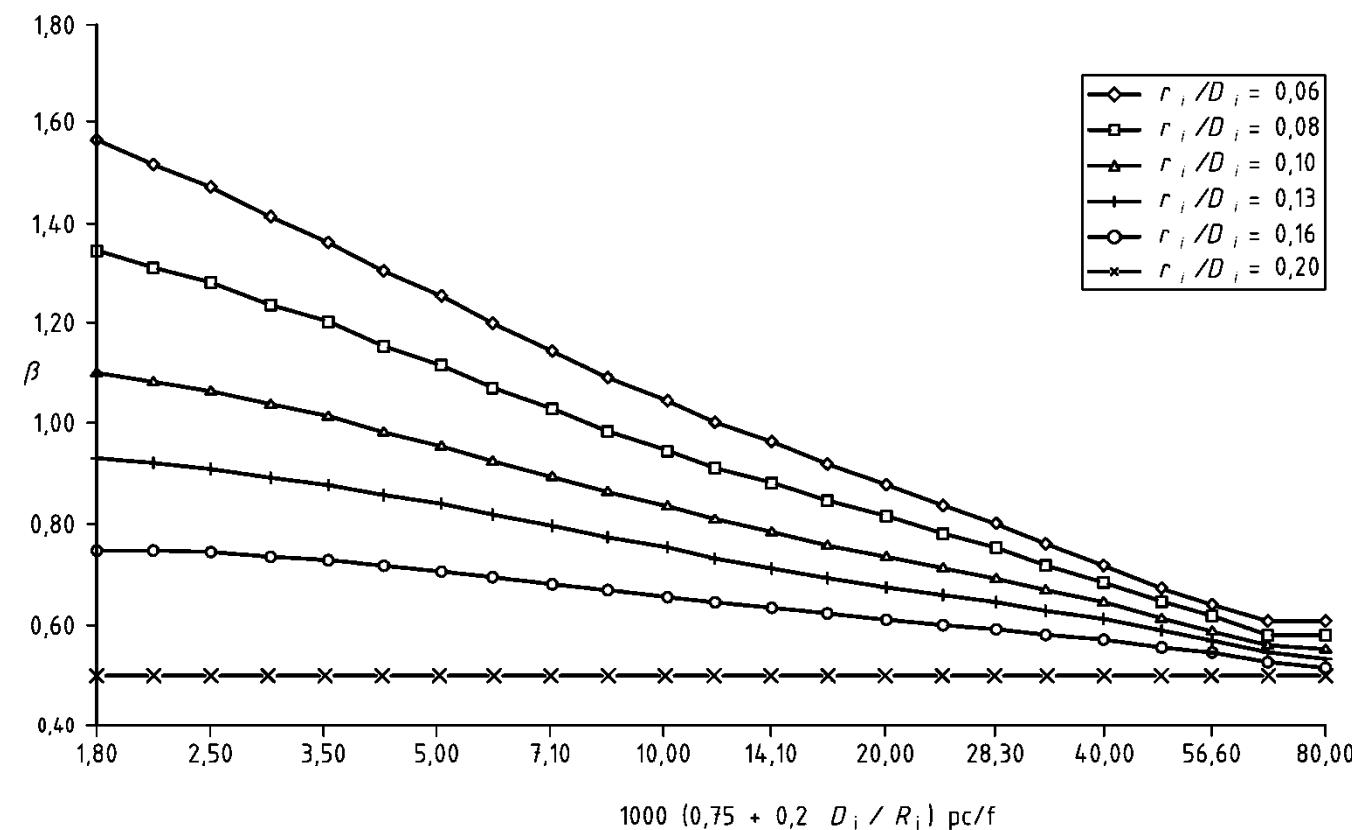


Bild 7.1.5-2 — Druckstufen für torisphärische Böden

7.2 Runde ebene Böden

7.2.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt für die Auslegung runder ebener Böden, die mit dem Rohr verschweißt oder verschraubt sind; dabei sind Verstärkungen von Ausschnitten berücksichtigt.

7.2.2 Symbole

Für die Anwendung von 7.2 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 7.2.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 7.2.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von 7.2

Symbol	Erläuterung	Einheit
b	Wirksame Dichtungsbreite	mm
d	Ausschnittsdurchmesser oder äquivalenter Durchmesser von Ausschnitten mit Stutzen	mm
d_i	Stutzeninnendurchmesser	mm
d_o	Stutzenaußendurchmesser	mm
e	Geforderte Mindestwanddicke des Bodens ohne Ausschnitt	mm
e_{ab}	Ermittelte Wanddicke des Stutzens	mm
e_{rb}	Geforderte Mindestwanddicke eines Stutzens unter Innendruck	mm
e_{op}	Geforderte Mindestwanddicke eines Bodens mit Ausschnittverstärkung	mm
e_{af}	Ermittelte Wanddicke eines Bodens mit Ansatz	mm
e_{eq}	Äquivalente Wanddicke des Zylinderrohrs nahe am Boden	mm
e_{rg}	Geforderte Mindestwanddicke eines ebenen Bodens mit Entlastungsnut	mm
e_1	Geforderte Mindestwanddicke im Randbereich des Bodens	mm
e_A	Geforderte Mindestwanddicke des Bodens für Dichtungsvorverformung	mm
e_p	Geforderte Mindestwanddicke des Bodens für jeden Druckzustand	mm
f_1	Auslegungsspannung des Bodenwerkstoffs	MPa (N/mm ²)
f_2	Auslegungsspannung des für den zylindrischen Teils des Bodens verwendeten Werkstoffs	MPa (N/mm ²)
f_A	Auslegungsspannung des Bodenwerkstoffs für Dichtungsvorverformung	MPa (N/mm ²)
h	Abstand des Mittelpunkts eines Ausschnitts vom Rohrinnendurchmesser	mm
l	Mittragende Stutzenlänge	mm
l_{cyl}	Länge des zylindrischen Teils des Bodens, gemessen wie in Bild 7.2.3-1	mm
m	Dichtungsbeiwert	-
r_i	Innenradius des ebenen Bodens	mm
y	Dichtungsdruck (siehe Tabelle 7.2.4-1)	MPa (N/mm ²)
A_r	Verstärkungsfläche des Stutzens	mm
D_i	Innendurchmesser von Zylinderschale oder -rohr. Ist die Wanddicke des Zylinders nahe am Endstück nicht konstant, ist D_i der Innendurchmesser über die zylindrische Länge mit der äquivalenten Wanddicke e_{eq} .	mm
D_{eq}	Äquivalenter Durchmesser eines ebenen Bodens mit Ansatz wie in Bild 7.2.3-1	mm
D_p	Mittlerer Dichtungsdurchmesser	mm
D_t	Lochkreisdurchmesser	mm
F_A	Zugkraft der Schrauben für die Dichtungsvorverformung	N
K	Abstand der Mittellinien zweier benachbarter Ausschnitte	mm
Y_1	Berechnungsbeiwert der Ausschnittverstärkung	-
Y_2	Ein weiterer Berechnungsbeiwert der Ausschnittverstärkung	-

7.2.3 Mit Zylinderschalen oder Rohren verschweißte ebene runde Böden, nicht verankert

7.2.3.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt für die Bestimmung der Wanddicke von nicht verankerten ebenen Böden ohne Ausschnitte, die mit einem Rohrende verschweißt sind.

Die folgenden Böden sind in 7.2.3 eingeschlossen:

- a) ebene Böden mit Ansatz, die mit einer zylindrischen Schale stumpfverschweißt sind, wie in Bild 7.2.3-1 dargestellt;
- b) ebene Böden, die durch eine Kehlnaht oder eine teilweise oder ganz durchgeschweißte Naht mit einer zylindrischen Schale verschweißt sind, wie in Bild 7.2.3-3 dargestellt;
- c) ebene Böden mit Entlastungsnut am Rand, wie in Bild 7.2.3-5 dargestellt.

ANMERKUNG Die in 7.2.3 behandelten Versagensarten sind übermäßige plastische Verformung in der Mitte der Böden und fortschreitendes plastisches Versagen des Rohrs an der Verbindung mit dem Boden.

7.2.3.2 Gekrempte ebene Böden

Die geforderte Mindestwanddicke eines gekrempten ebenen Bodens ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$e = C_1 D_{\text{eq}} \sqrt{\frac{p_c}{f_1}} \quad (7.2.3-1)$$

Dabei ist

C_1 ein Beiwert, der aus Bild 7.2.3-2 oder nach der folgenden Gleichung ermittelt wird:

$$C_1 = \max \left(0,40825 A_1 \frac{D_i + e_{\text{eq}}}{D_i}; 0,299 \left(1 + 1,7 \frac{e_{\text{eq}}}{D_i} \right) \right) \quad (7.2.3-2)$$

$$\text{Dabei ist } A_1 = B_1 \left(1 - B_1 \frac{e_{\text{eq}}}{2(D_i + e_{\text{eq}})} \right) \quad (7.2.3-3)$$

$$B_1 = 1 - \frac{3f_1}{p_c} \left(\frac{e_{\text{eq}}}{(D_i + e_{\text{eq}})} \right)^2 + \frac{3}{16} \left(\frac{D_i}{(D_i + e_{\text{eq}})} \right)^4 \frac{p_c}{f_1} - \frac{3}{4} \frac{(2D_i + e_{\text{eq}})e_{\text{eq}}^2}{(D_i + e_{\text{eq}})^3} \quad (7.2.3-4)$$

Der gekrempte Rand der ebenen Böden ist mit dem zylindrischen Teil mit einer Rundstumpfnahrt zu verschweißen.

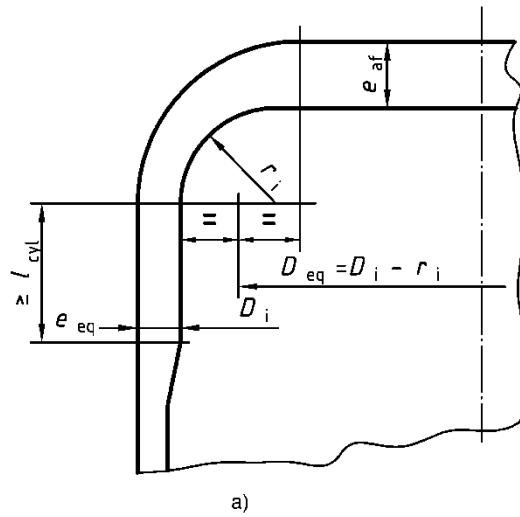
Diese Gleichung gilt, wenn der Radius $r_i > e_{af}$ ist. In allen anderen Fällen müssen gekrempte Böden als ungekrempte Böden berechnet werden (siehe 7.2.3.3).

Die Wanddickenmittellinien können versetzt sein, der Versatz darf jedoch nicht über die Flucht von Innen- oder Außenflächen hinausgehen. Die Oberfläche muss in einem Winkel von höchstens 30° abgeschrägt sein.

Die ermittelte Wanddicke des zylindrischen Teils muss über eine Länge, die durch die nachstehende Gleichung berechnet wird, mindestens gleich e_{eq} sein:

$$l_{cyl} = 0,5 \sqrt{(D_i + e_{eq}) e_{eq}} \quad (7.2.3-5)$$

Ist die Wanddicke des zylindrischen Teils nahe des Bodens nicht konstant, so muss die äquivalente Wanddicke über die Länge mindestens gleich e_{eq} sein, wie auf den Bildern 7.2.3-1 b) und 7.2.3-1 c) dargestellt; dabei gilt: $A_i = A_o$.



a)

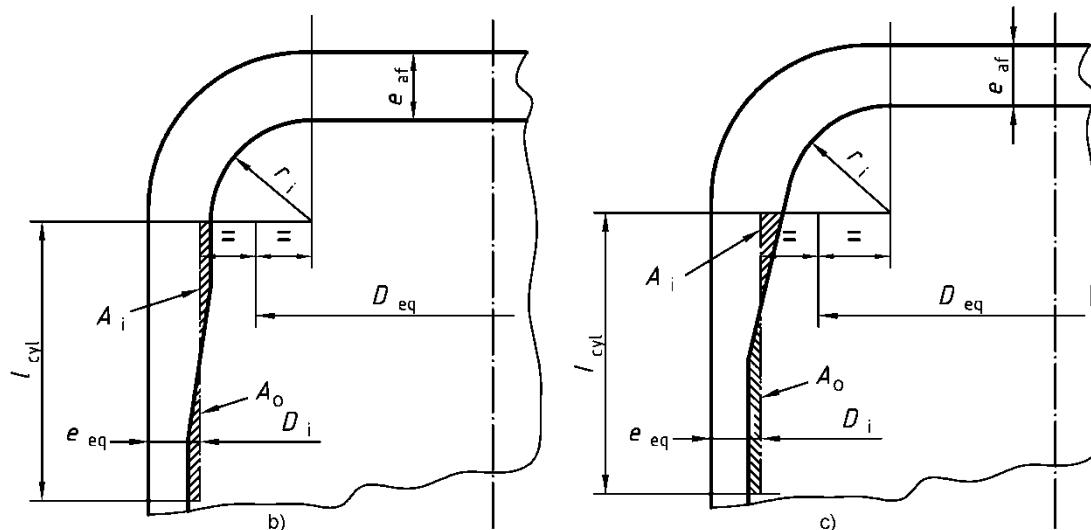
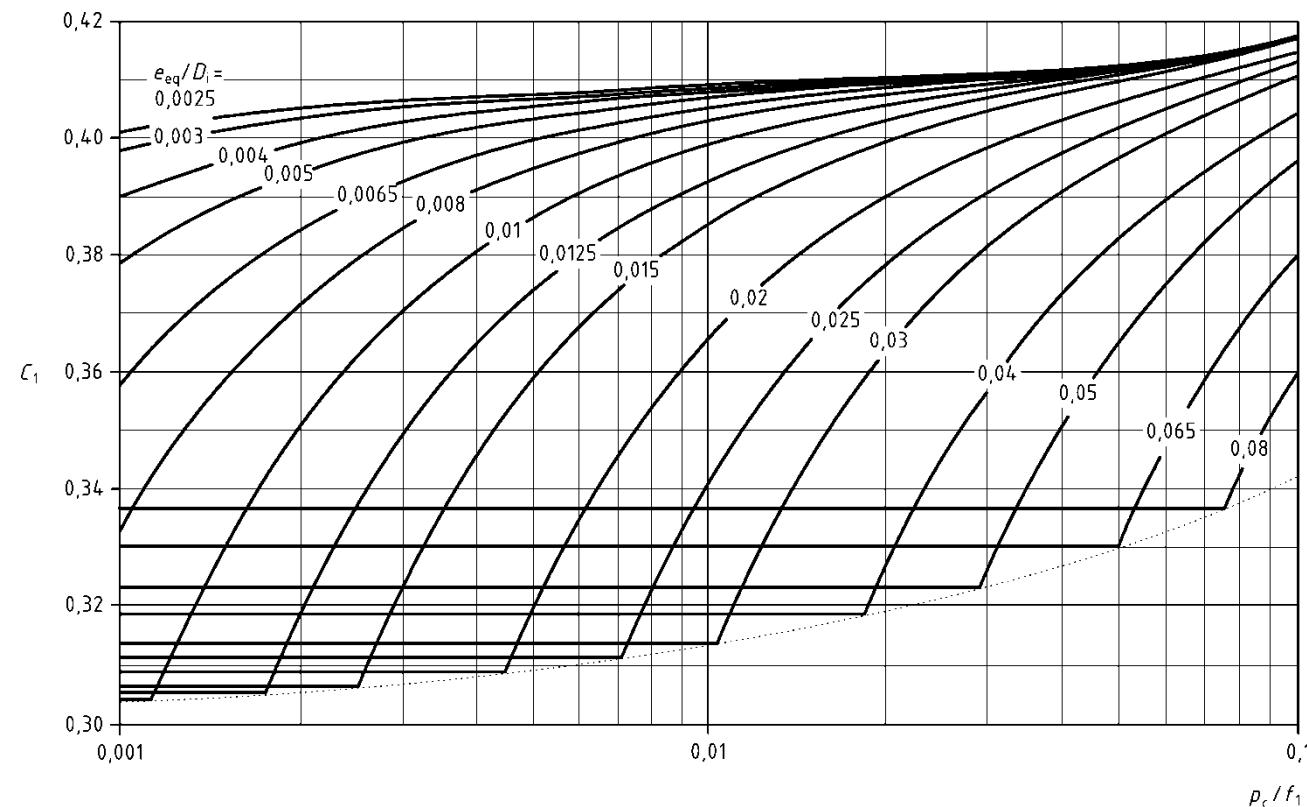


Bild 7.2.3-1 — Gekrempte ebene Böden

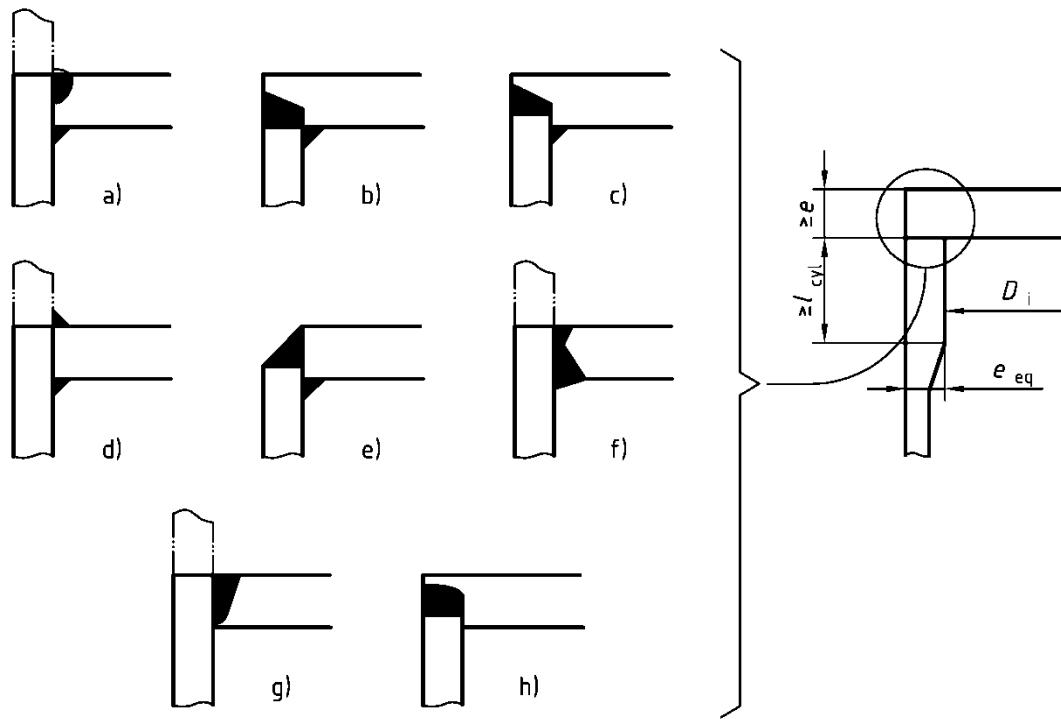


ANMERKUNG Wenn die Linie für einen konstanten, gegebenen Wert p_c/f_1 nicht die entsprechende Kurve für konstantes e_{eq}/D_i schneidet, wird C_1 durch die untere Kurve für das gegebene p_c/f_1 angegeben

Bild 7.2.3-2 — Beiwert C_1

7.2.3.3 Ungekrempte ebene Böden

Dieser Abschnitt gilt für ungekrempte ebene Böden (siehe Bild 7.2.3-3).



ANMERKUNG 1 Einzelheiten der Schweißnähte sind in EN 13480-4 angegeben.

ANMERKUNG 2 Bei den Konstruktionstypen b), c) und h) ist auf ausreichende Festigkeit senkrecht zur Oberfläche zu achten. Das Nichtvorhandensein von Dopplungen ist durch Prüfungen nachzuweisen.

Bild 7.2.3-3 — Eckanschlüsse bei ungekremptem ebenem Boden

Die geforderte Mindestwanddicke von ungekrempten ebenen Böden wird nach folgenden Gleichungen ermittelt:

— bei normalen Betriebsbedingungen

$$e = \max \left(C_1 D_i \sqrt{\frac{p_c}{f_1}}; C_2 D_i \sqrt{\frac{p_c}{f_{\min}}} \right) \quad (7.2.3-6)$$

— bei außergewöhnlichen Betriebs- oder Prüfbedingungen

$$e = C_1 D_i \sqrt{\frac{p_c}{f_1}} \quad (7.2.3-7)$$

Dabei ist

f_{\min} der Mindestwert für f_1 und f_2 ;

C_1 der aus Bild 7.2.3-2 abgelesene Beiwert, mit f_{\min} für f_1 ;

C_2 der aus Bild 7.2.3-4 abgelesene oder nach den folgenden Gleichungen berechnete Beiwert:

$$g = \frac{D_i}{D_i + e_{eq}} \quad (7.2.3-8)$$

$$H = \sqrt[4]{12(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{e_{eq}}{D_i + e_{eq}}} \quad (7.2.3-9)$$

$$J = \frac{3f_{min}}{p_c} - \frac{D_i^2}{4(D_i + e_{eq})e_{eq}} - 1 \quad (7.2.3-10)$$

$$U = \frac{2(2-\nu g)}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \quad (7.2.3-11)$$

Nicht verwendet. (7.2.3-12)

$$A = \left(\frac{3}{4} \frac{U D_i}{e_{eq}} - 2J \right) (1+\nu) \left[1 + (1-\nu) \frac{e_{eq}}{D_i + e_{eq}} \right] \quad (7.2.3-13)$$

$$B = \left[\left(\frac{3}{8} \frac{U D_i}{e_{eq}} - J \right) H^2 - \frac{3}{2} (2-\nu g) g \right] H \quad (7.2.3-14)$$

$$F = \left(\frac{3}{8} U g + \frac{3}{16} (2g^2 - g^4) \frac{D_i + e_{eq}}{e_{eq}} - 2J \frac{e_{eq}}{D_i + e_{eq}} \right) H^2 - 3(2-\nu g) g \frac{e_{eq}}{D_i + e_{eq}} \quad (7.2.3-15)$$

$$G = \left[\frac{3}{8} (2g^2 - g^4) - 2J \left(\frac{e_{eq}}{D_i + e_{eq}} \right)^2 \right] H \quad (7.2.3-16)$$

$$a = \frac{B}{A} \quad (7.2.3-17)$$

$$b = \frac{F}{A} \quad (7.2.3-18)$$

$$c = \frac{G}{A} \quad (7.2.3-19)$$

$$N = \frac{b}{3} - \frac{a^2}{9} \quad (7.2.3-20)$$

$$Q = \frac{c}{2} - \frac{a \cdot b}{6} + \frac{a^3}{27} \quad (7.2.3-21)$$

$$K = \frac{N^3}{Q^2} \quad (7.2.3-22)$$

$$\text{Für } Q \geq 0 \text{ gilt: } S = \sqrt[3]{Q \left[1 + (1+K)^{\frac{1}{2}} \right]} \quad (7.2.3-23)$$

$$\text{Für } Q < 0 \text{ gilt: } S = -\sqrt[3]{|Q| \left[1 + (1+K)^{\frac{1}{2}} \right]} \quad (7.2.3-24)$$

Die in 7.2.3-6 mit der nachstehenden Gleichung für normale Betriebsbedingungen angegebene geforderte Mindestwanddicke

$$e = C_2 D_i \sqrt{\frac{p_c}{f_{min}}} \quad (7.2.3-25)$$

wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$e = (D_i + e_{eq}) \left(\frac{N}{S} - S - \frac{a}{3} \right) \quad (7.2.3-26)$$

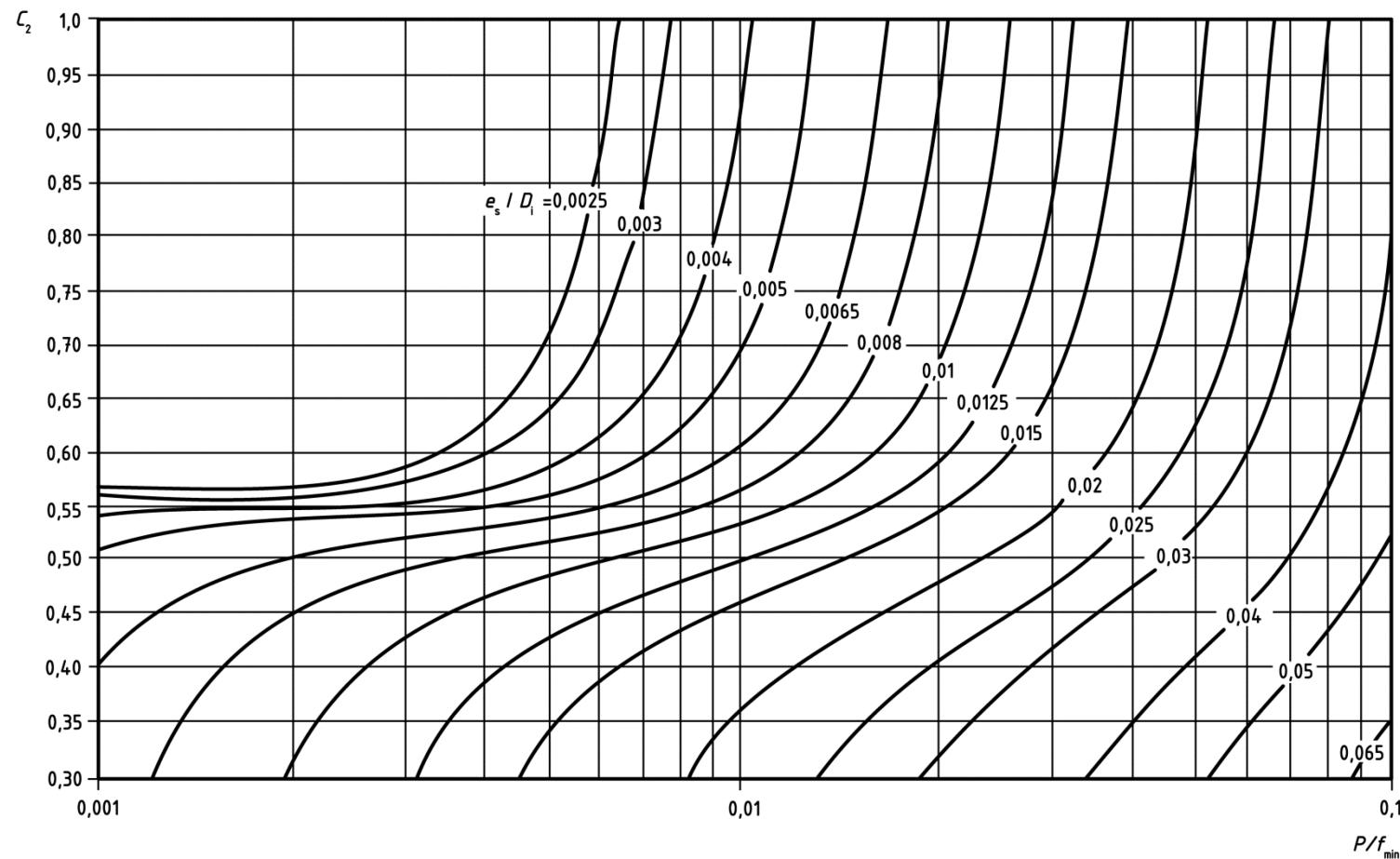


Bild 7.2.3-4 — Koeffizient C_2

ANMERKUNG Führen die Werte von e_{eq}/D_i und p_c/f_1 zu einem Beiwert C_2 kleiner als 0,30, so gilt nur der erste Term der Gleichung (7.2.3-6).

Für $r_i \leq e_{af}$ ist die Länge l_{cyl} durch folgende Gleichung gegeben:

$$l_{cyl} = \sqrt{(D_i + e_{eq}) e_{eq}} \quad (7.2.3-27)$$

7.2.3.4 Ebene Böden mit Entlastungsnut

Ebene Böden mit Entlastungsnut sind im Zeitstandbereich nicht zulässig.

Die geforderte Mindestwanddicke, e , eines ebenen Boden mit Entlastungsnut ist durch die Gleichungen (7.2.3-6) und (7.2.3-7) gegeben.

Die geforderte Mindestwanddicke, e_{rg} , am Nutgrund wird wie folgt berechnet:

$$e_{rg} = \max \left(e_{eq}; e_{eq} \frac{f_2}{f_1} \right) \quad (7.2.3-28)$$

Die Mindestwanddicke des zylindrischen Teils, e_{eq} , muss 6.1 entsprechen und für die Nenn-Auslegungsspannung gilt: $f = \min(f_1; f_2)$. Der Mindestradius der Entlastungsnut r_i muss $0,25 e_{eq}$ sein, aber nicht kleiner als 5 mm (siehe Bild 7.2.3-5).

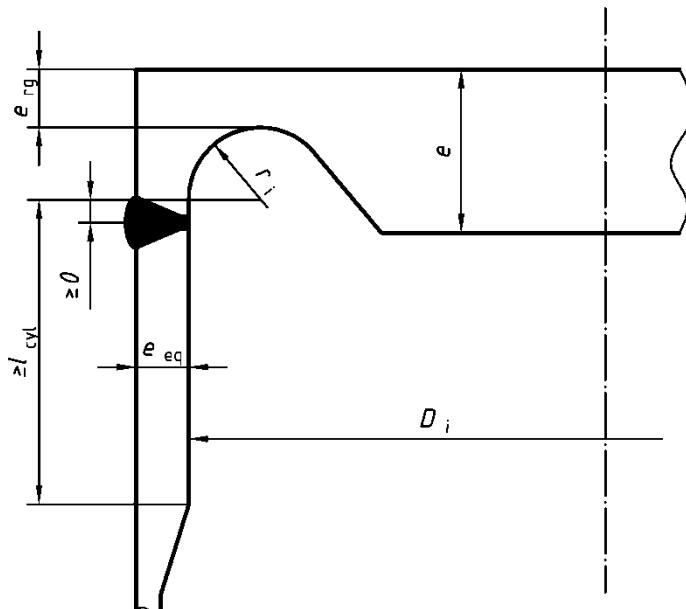


Bild 7.2.3-5 — Ebener Boden mit umlaufender Entlastungsnut

7.2.4 Unverankerte, verschraubte ebene runde Böden

7.2.4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt für die Bestimmung der Wanddicke von verschraubten ebenen runden Böden ohne Ausschnitte.

Die folgenden Böden sind in 7.2.4 eingeschlossen:

- Böden mit innen liegender Dichtung (siehe Bild 7.2.4-1);
- Böden mit durchgehender Dichtung (siehe Bild 7.2.4-2).

Diese Böden können eine konstante Wanddicke aufweisen, müssen es aber nicht. Die geforderte Mindestwanddicke muss über die gesamte Oberfläche innerhalb der Dichtung eingehalten werden.

Böden mit Dichtungen im Kraftnebenschluss (flache Dichtfläche), siehe EN 1591-1, sind nicht Gegenstand dieses Abschnitts.

7.2.4.2 Runde Böden mit innen liegender Dichtung

Die geforderte Wanddicke, e , des Bodens wird wie folgt berechnet:

$$e = \max (e_A; e_p) \quad (7.2.4-1)$$

Dabei gilt

- für die Dichtungsvorverformung (Einbauzustand):

$$e_A = \sqrt{\frac{3}{\pi} \frac{(D_t - D_p) F_A}{D_p f_A}} \quad (7.2.4-2)$$

wobei sich F_A aus nachstehender Gleichung ergibt:

$$F_A = \pi b D_p y \quad (7.2.4-3)$$

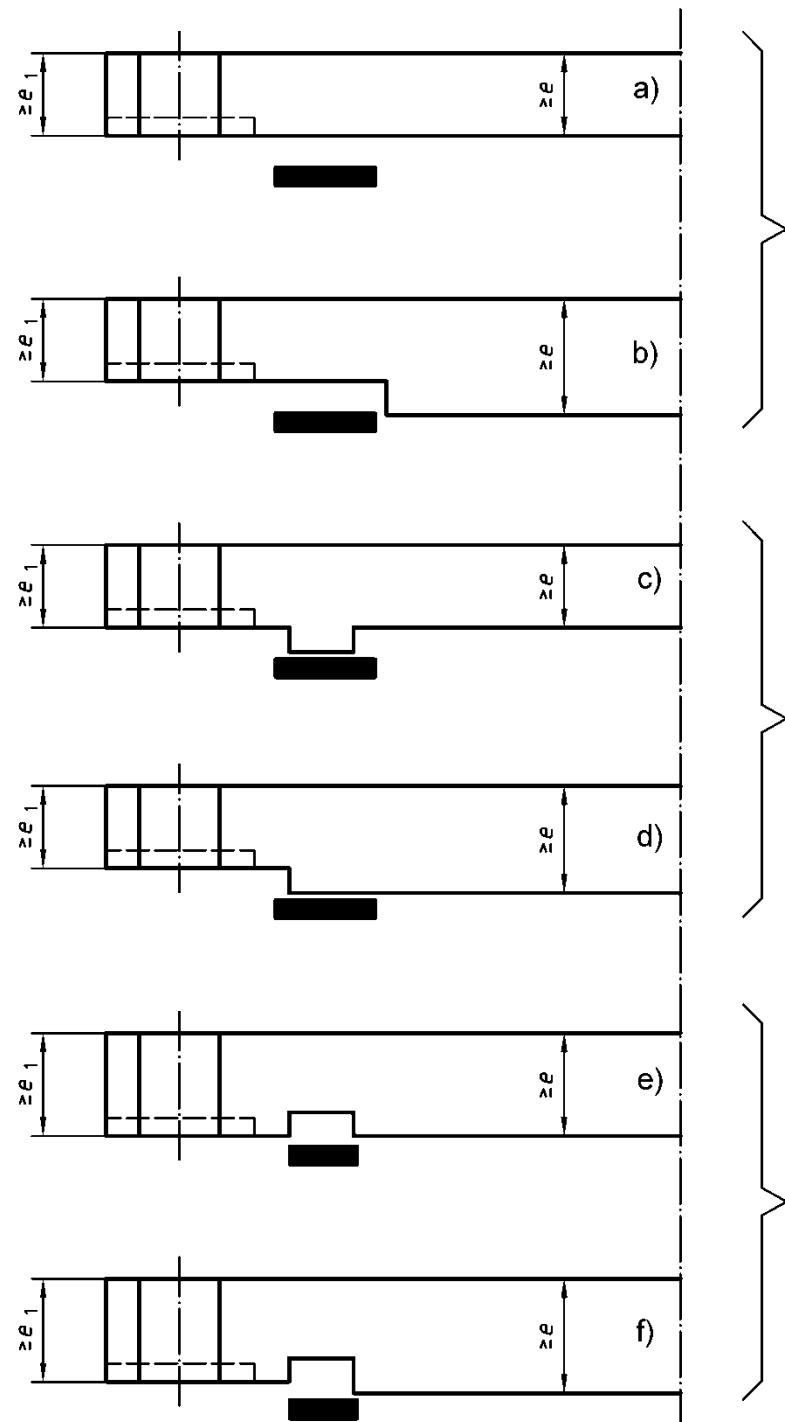
- für Auslegungsbedingungen:

$$e_p = \sqrt{\left\{ 0,31 D_p^2 + 3 \left(\frac{D_p}{4} + 2b m \right) (D_t - D_p) \right\} \frac{p_c}{f_1}} \quad (7.2.4-4)$$

Die verschiedenen Werte für m und y sind Tabelle 7.2.4-1 zu entnehmen.

Die geforderte Mindestwanddicke im Randbereich des Bodens ist der größere der nach Gleichung (7.2.4-2) oder Gleichung (7.2.4-5) für jeden Auslegungszustand berechneten Werte.

$$e_1 = \sqrt{3 \left(\frac{D_p}{4} + 2b m \right) (D_t - D_p) \frac{p_c}{f_1}} \quad (7.2.4-5)$$



- a) und b): Böden mit flacher Dichtfläche
c) und d): Böden mit vorspringender Dichtfläche
e) und f): Böden mit rückspringender Dichtfläche

Bild 7.2.4-1 — Verschraubte runde ebene Böden mit innen liegender Dichtung

7.2.4.3 Ebene Böden mit durchgehender Dichtung

Die geforderte Mindestwanddicke für verschraubte ebene Böden mit durchgehender Dichtung (siehe Bild 7.2.4-2) wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$e = 0,41 D_t \sqrt{\frac{p_c}{f_1}} \quad (7.2.4-6)$$

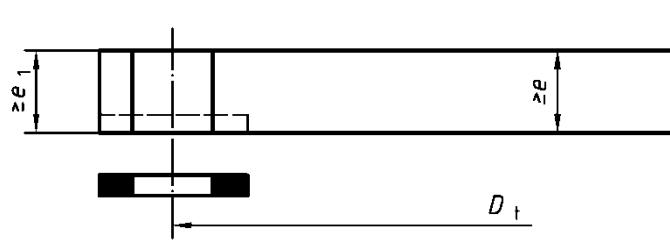


Bild 7.2.4-2 — Verschraubte ebene Böden mit durchgehender Dichtung

Die geforderte Mindestwanddicke im Randbereich ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$e_1 = 0,8 e \quad (7.2.4-7)$$

Tabelle 7.2.4-1 — Empfohlene Dichtungsbeiwerte (m) und Werte für Mindestflächenpressung (y)

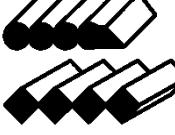
Dichtungswerkstoff	Dichtungsbeiwert m	Mindestflächenpressung y N/mm ²	Darstellung	
Gummi ohne Gewebe oder hohen Asbestfaseranteil ^a : Unter ^b 75°BS und IRH 75° BS und IRH oder darüber	0,5 1,00	0 1,4		
Gummi mit Baumwollgewebeeinlage	1,25	2,8		
asbestfreie, faserbasierte Flachdichtung — Dicke: 2mm — Dicke: 3mm	2,3 2,4	40 20		
Flachdichtung auf PTFE-Basis ^d — Dicke: 2mm — Dicke: 3mm	1,6 1,4	15 10		
Flachdichtung auf Graphitbasis	1,5	20		
Spiraldichtung (Innen- und Außenring) ^d	Standard mit Graphitfüllung Standard mit PTFE-Füllung Niedrige Spannung mit Graphitfüllstoff	2,5 2,4 1,2	60 60 20	
Metall-Kammprofildichtung ^d	Graphit-Auflage	2,5	60	
metallummantelte Dichtung mit Auflage ^d	Graphit-Auflage	2,9	20	
Wellringdichtung mit Auflage	Weichaluminium Weichkupfer oder -messing Eisen oder Weichstahl Monelstahl oder Stahl mit 4 % bis 6 % Chromgehalt Nichtrostender Stahl	2,50 2,75 3,00 3,25 3,50	20,0 25,5 31,0 37,9 44,8	
Metall-Flachdichtung mit Auflage	Weichaluminium Weichkupfer oder -messing Eisen oder Weichstahl Monelstahl oder Stahl mit 4 % bis 6 % Chromgehalt Nichtrostender Stahl	3,25 3,5 3,75 3,5 3,75 3,75	37,9 44,8 52,4 55,1 62,0 62,0	

Tabelle 7.2.4-1 (fortgesetzt)

Dichtungswerkstoff		Dichtungsbeiwert <i>m</i>	Mindestflächenpressung <i>y</i> N/mm ²	Darstellung	
Wellringdichtung	Weichaluminium	2,75	25,5		
	Weichkupfer oder -messing	3,00	31,0		
	Eisen oder Weichstahl	3,25	37,9		
	Monelstahl oder Stahl mit 4 % bis 6 % Chromgehalt	3,5	44,8		
	Nichtrostender Stahl	3,75	52,4		
Metall-Kammprofildichtung	Weichaluminium	3,25	37,9		
	Weichkupfer oder -messing	3,5	44,8		
	Eisen oder Weichstahl	3,75	52,4		
	Monelstahl oder Stahl mit 4 % bis 6 % Chromgehalt	3,75	62,0		
	Nichtrostender Stahl	4,25	69,5		
Massives Flachmetall	Weichaluminium	4,00	60,6		
	Weichkupfer oder -messing	4,75	89,5		
	Eisen oder Weichstahl	5,5	124		
	Monelstahl oder Stahl mit 4 % bis 6 % Chromgehalt	6,0	150		
	Nichtrostender Stahl	6,5	179		
Ring-Joint-Dichtung	Eisen oder Weichstahl	5,50	124		
	Monelstahl oder Stahl mit 4 % bis 6 % Chromgehalt	6,00	150		
	Nichtrostender Stahl	6,50	179		
Gummi-O-Ringe: unter 75° BS		0 bis 0,25	0,7		
75° BS und 85° BS und darüber			1,4		
Gummidichtringe mit rechteckigem Querschnitt: unter 75° BS und IRH		0 bis 0,25	1,0		
75° BS und 85° BS und IRH			2,8 ^c		
Gummidichtring mit T-Profil-Querschnitt: unter 75° BS und IRH		0 bis 0,25	1,0		
75° und 85° BS und IRH			2,8		
ANMERKUNG 1 Bei der Auswahl von Dichtungswerkstoffen für Flansche aus Aluminiumlegierungen sollten die relativen Härtewerte von Dichtungs- und Flanschwerkstoff berücksichtigt werden.					
^a Neue nicht asbesthaltige Verbundfaserdichtungen sind nicht notwendigerweise unmittelbare Ersatzmaterialien für asbesthaltige Dichtungswerkstoffe. Insbesondere Beschränkungen hinsichtlich Druck, Temperatur und Schraubenkraft sind zu beachten. Diese Werkstoffe sind unter Beachtung der aktuellen Herstellerempfehlungen einzusetzen.					
^b Siehe BS 903-A26.					
^c Dieser Wert ist berechnet.					
^d Diese Werte werden als Indikation angeführt. Diese Werte werden für repräsentative Verbindungsprüfungen unter Standardfestigkeitsbedingungen angegeben und gelten für Betriebsbedingungen bei Raumtemperatur. Bei hohen Temperaturen sollte sichergestellt werden, dass die maximal erlaubte Belastung der Dichtung nicht überschritten wird.					

7.2.5 Verstärkung von Ausschnitten in unverankerten ebenen Böden

7.2.5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt für die Verstärkung von einem oder mehreren Ausschnitten in unverankerten ebenen Böden (die mit dem anschließenden Rohr entweder verschraubt oder verschweißt sind), sofern der Durchmesser der Ausschnitte 50 % des Rohrinnendurchmessers D_i bei verschweißten und 50 % des mittleren Dichtungsdurchmessers D_p bei verschraubten Böden nicht überschreitet.

Sacklöcher für Gewindegelenkbolzen zum Anschluss genormter Rohrleitungsflansche müssen stabil genug sein, dass Verstärkungen nicht erforderlich sind, sofern sie um einen Ausschnitt angeordnet sind, dessen Durchmesser den maximalen Bohrungsdurchmesser des an diesem Ausschnitt zu verschraubenden genormten Flansches nicht überschreitet und sofern die Wanddicke am Grund der Bohrung, e_{bb} , mindestens 50 % des Gewindegelenkdurchmessers d_{bt} beträgt (siehe Bild 7.2.5-1).

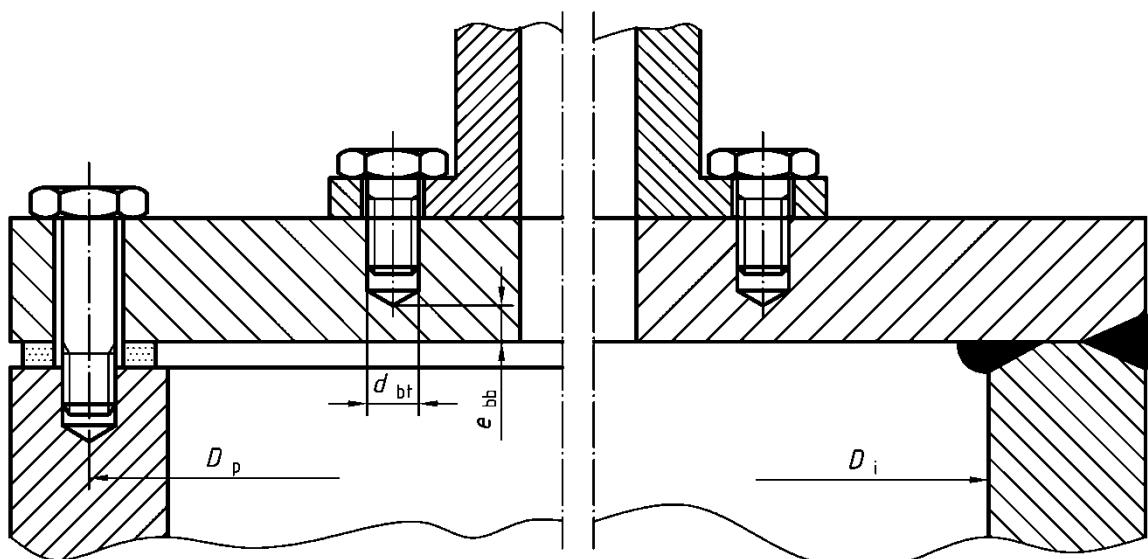


Bild 7.2.5-1 — Ebener Boden mit Ausschnitt und verschraubtem Flansch

7.2.5.2 Ebene Böden mit Ausschnitten

Die Wanddicke, e_{op} , von ebenen Böden, die, wie in den Bildern 7.2.3-1, 7.2.3-3 und 7.2.3-5 dargestellt, mit einem Rohr verschweißt sind, wird wie folgt berechnet:

$$e_{op} = \max \left(Y_1 e; C_1 Y_2 D_i \sqrt{\frac{p_c}{f_1}} \right) \quad (7.2.5-1)$$

Für verschraubte Böden nach Bild 7.2.4-1 und 7.2.4-2 wird die Wanddicke, e_{op} , wie folgt berechnet:

$$e_{op} = Y_2 e \quad (7.2.5-2)$$

Die Beiwerte Y_1 und Y_2 in diesen Gleichungen werden wie folgt berechnet:

$$Y_1 = \min \left(2; 3\sqrt{\frac{K}{K-d}} \right) \quad (7.2.5-3)$$

$$Y_2 = \sqrt{\frac{K}{K-d}} \quad (7.2.5-4)$$

Dabei ist

K der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter Ausschnitte (siehe Bild 7.2.5-2).

Bei Böden mit einem Ausschnitt gilt:

- für Gleichung (7.2.5-3) ist K gleich dem Doppelten des Abstands h vom Mittelpunkt des Ausschnitts zum Umfang des Kreises mit dem Durchmesser D_i ;
- für Gleichung (7.2.5-4) ist K gleich dem Durchmesser D_i des Bodens.

d ist der äquivalente Durchmesser, gegeben durch:

- für Aufschweißstutzen

$$d = d_i - \frac{2A_r}{e_{op}} \quad (7.2.5-5)$$

- für Einschweißstutzen

$$d = d_o - \frac{2A_r}{e_{op}} \quad (7.2.5-6)$$

Wenn aus Gleichung (7.2.5-5) oder (7.2.5-6) $d < 0$ resultiert, muss in den Gleichungen (7.2.5-3) und (7.2.5-4) $d = 0$ verwendet werden.

Dabei ist

A_r die Fläche der Verstärkung in Bild 7.2.5-3 bzw. 7.2.5-4.

Ist der Wert der Auslegungsspannung für den Stutzen niedriger als für den ebenen Boden, so ist die Fläche A_r mit dem Verhältnis der Auslegungsspannung des Stutzens zu der des ebenen Bodens zu multiplizieren.

Bei ebenen Böden mit zwei Ausschnitten mit unterschiedlichen (tatsächlichen oder äquivalenten) Durchmessern ist bei der Betrachtung der einander entsprechenden Bohrungspaire für die Berechnung der Beiwerte Y_1 und Y_2 der Mittelwert der beiden Durchmesser für d zu verwenden.

Sind die Ausschnitte unregelmäßig verteilt im Boden angeordnet, so ist das Ausschnittpaar zu wählen, für das die Beiwerte Y_1 und Y_2 am größten sind.

In jedem Falle muss jeder Ausschnitt auch als Einzelausschnitt überprüft werden.

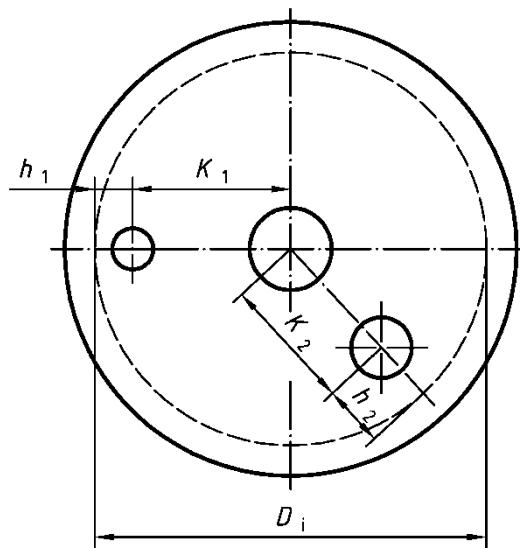


Bild 7.2.5-2 — Ebener Boden mit mehreren Ausschnitten

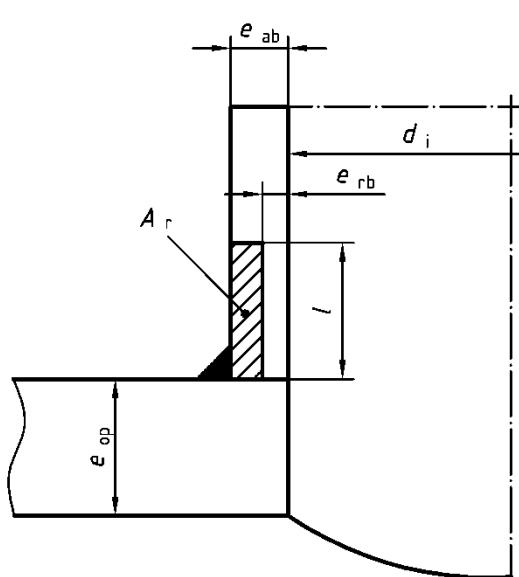


Bild 7.2.5-3 — Fläche A_r der Verstärkung für Aufschweißstutzen

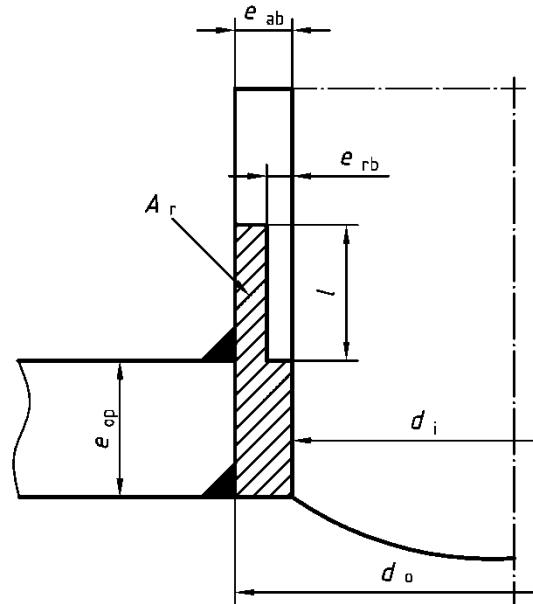


Bild 7.2.5-4 — Fläche A_r der Verstärkung für Einschweißstutzen

Die Verstärkungslänge l muss wie folgt definiert werden:

$$l = \sqrt{0,5 (d_o + d_i) e_{rb}} \quad (7.2.5-7)$$

8 Ausschnitte und Abzweige

8.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt für Zylinder-, Kegel- und Kugelschalen sowie für gewölbte Böden mit runden, elliptischen oder ovalen Ausschnitten unter der Voraussetzung, dass die in Abschnitt 8 angegebenen Annahmen und Bedingungen erfüllt werden.

Für die Anwendung von Abschnitt 8 umfasst der Begriff „Schale“ auch Hauptröhre und gewölbte Böden.

ANMERKUNG Andere als durch Innendruck verursachte Kräfte und/oder Momente bleiben bei diesem Auslegungsverfahren unberücksichtigt.

Ein Alternativverfahren für die Berechnung von Ausschnitten wird in Anhang O (normativ) beschrieben.

Mit diesem neuen Verfahren auf der Grundlage von Traglastverfahren und Lasteinspielung kann sowohl die Verbindung als auch, soweit erforderlich, die Verstärkung berechnet werden und es ist insbesondere geeignet für große Ausschnitte.

Wie auch für die Abschnitte 6, 7, 8, 9 und 11 gelten die Anforderungen des Anhangs O im Wesentlichen für Belastungen, welche nicht auf Wechselbeanspruchungen basieren.

Dieses Verfahren gilt für Verbindungen, die sowohl im Bereich der Verstärkung eine erhöhte Wanddicke haben als auch für solche, die durch Verstärkungsscheiben verstärkt sind.

Schräge Abzweige bzw. schräg angesetzte Stutzen sind ebenfalls abgedeckt.

Zusätzlich können bei diesem neuen Verfahren auch andere als durch Innendruck verursachte Momente, wie Biege- oder Torsionsmomente, berücksichtigt werden.

8.2 Symbole

Für die Anwendung von Abschnitt 8 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 8.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 8.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von Abschnitt 8

Symbol	Erläuterung	Einheit
A_f	Effektive Querschnittsfläche der betrachteten Wand ohne Zuschläge und Toleranzen	mm ²
A_p	Drucktragende Fläche	mm ²
D	Schalendurchmesser	mm
D_m	Mittlerer Durchmesser des mit dem jeweiligen Index ^a bezeichneten Teils	mm
L_b	Abstand zwischen den Mittelpunkten benachbarter Abzweige	mm
R	Radius von kugelförmigen oder elliptischen Böden	mm
d	Durchmesser von Abzweig oder angeschlossenem Rohr	mm
d_m	Mittlerer Durchmesser des mit dem jeweiligen Index ^a bezeichneten Teils	mm
e	Geforderte Mindestwanddicke des mit dem jeweiligen Index ^a bezeichneten Teils	mm
e_a	Ermittelte Wanddicke des mit dem jeweiligen Index ^a bezeichneten Teils	mm
e_{ord}	Bestellte Wanddicke des mit dem jeweiligen Index ^a bezeichneten Teils	mm
l	Länge der Verstärkung des mit dem jeweiligen Index ^a bezeichneten Teils	mm
x	Mindestabstand zur nächsten Störstelle	mm
α	Halber Öffnungswinkel des Reduzierstücks	°
φ	Neigungswinkel der Abzweigachse zur Senkrechten der Schale bzw. des Bodens	°
ψ	Winkel zwischen der Rohrachse und der Geraden durch die Mittelpunkte zweier benachbarter Abzweige (siehe Bild 8.4.1-1)	°

^a Es gelten folgende Indizes:

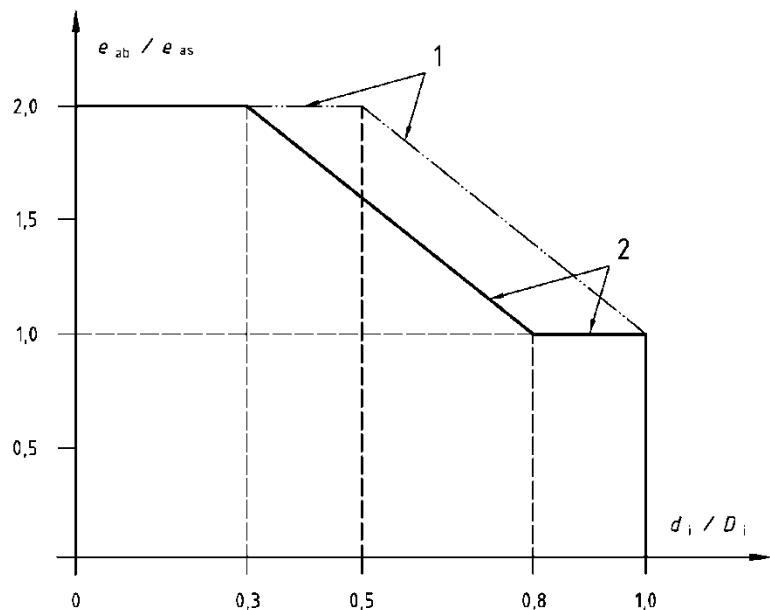
- b Abzweig
- s Schale oder Boden
- pl Verstärkungsscheibe
- φ Winkel

8.3 Einschränkungen

8.3.1 Wanddickenverhältnis

Diese Einschränkungen gelten nicht für eine Auslegung nach 8.6.

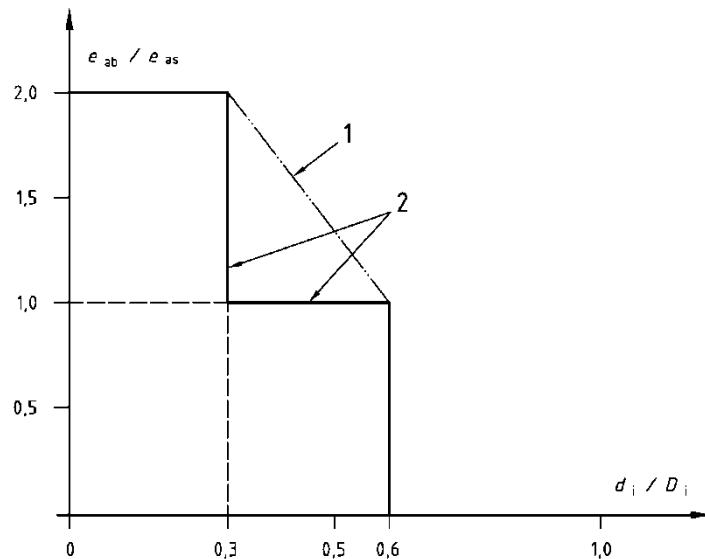
Das in den Berechnungen verwendete Wanddickenverhältnis e_{ab}/e_{as} darf den in Bild 8.3.1-1 für Zylinder- oder Kegelschalen und den in Bild 8.3.1-2 für Kugelschalen oder gewölbte Böden angegebenen Wert als Funktion von d_i/D_i nicht überschreiten.



Legende

- 1 gilt nur für $f \leq 250 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$
2 gilt nur für $f > 250 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

Bild 8.3.1-1 — Diagramm des Wanddickenverhältnisses als Funktion des Durchmesserverhältnisses für Zylinder- und Kegelschalen



Legende

- 1 gilt nur für $f \leq 250 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$
2 gilt nur für $f > 250 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$

Bild 8.3.1-2 — Diagramm des Wanddickenverhältnisses als Funktion des Durchmesserverhältnisses für Kugelschalen und gewölbte Böden

Bei gewölbten (halbkugelförmigen, torisphärischen und elliptischen Böden sind Ausschnitte mit einem Verhältnis $0,6 > d_i/D_i > 0,3$ zulässig, sofern die nachstehenden Bedingungen erfüllt sind.

- der Ausschnitt muss nach 8.4.3 oder 8.4.4 verstärkt sein;
- das Wanddickenverhältnis e_{ab}/e_{as} ist nicht größer als der in Bild 8.3.1-2 als Funktion von d_i/D_i angegebene Wert.

8.3.2 Ausschnitte im Bereich von Störstellen

Dieser Abschnitt gilt für Zylinder- und Kegelschalen sowie für elliptische und torisphärische Böden mit Ausschnitten, deren Abstand x von einer Störstelle jeweils mindestens dem nachstehenden für die verschiedenen Schalen- und Bodenformen berechneten Wert entspricht.

a) Ausschnitte in Zylinderschalen:

- Bei Zylindern, die mit gewölbten Böden, der großen Grundfläche eines Kegels, ebenen Böden, Kompensatoren und Flanschen verbunden sind, muss der Abstand x folgende Bedingung erfüllen:

$$x \geq \max(0,2 l_s; 3,0 e_{as}) \quad (8.3.2-1)$$

- Bei Zylindern, die mit der kleinen Grundfläche eines Kegels, Halbkugelschalen und anderen mit dem Grundkörper nicht koaxialen Schalen verbunden sind, muss der Abstand x folgende Bedingung erfüllen:

$$x \geq l_s \quad (8.3.2-2)$$

Dabei ist

- x in Bild 8.3.2-1 dargestellt;
- l_s durch Gleichungen (8.4.1-2) gegeben.

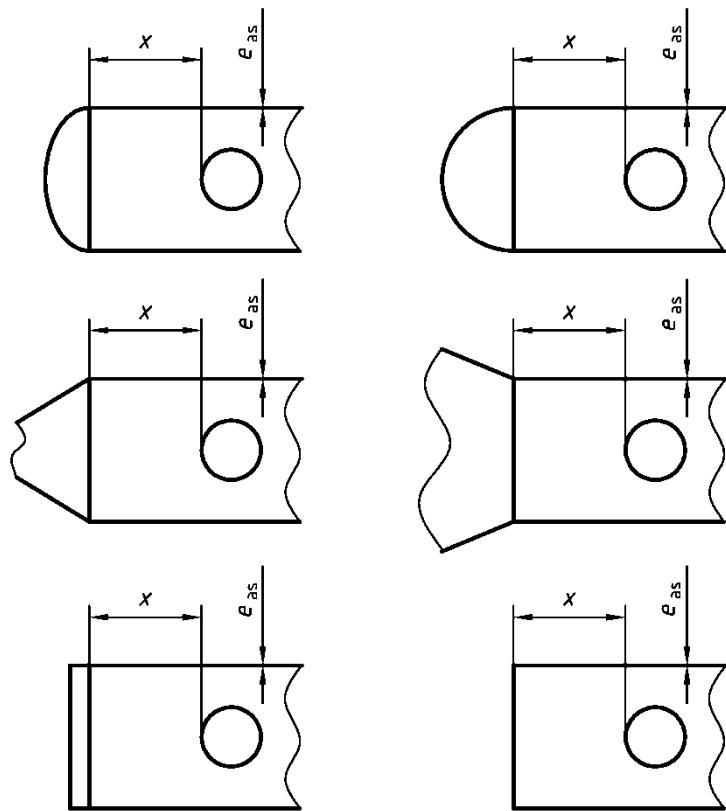


Bild 8.3.2-1 — Ausschnitte in Zylinderschalen

- b) Ausschnitte in Kegelschalen, die mit Zylinderschalen verbunden sind, müssen die Abstände x_L und x_s , wie in Bild 8.3.2-2 dargestellt, folgende Bedingungen erfüllen:

- für die große Grundfläche:

$$x_L \geq \max \left(0,2 \sqrt{\frac{D_{mL} e_{as}}{\cos \alpha}} ; 3,0 e_{as} \right) \quad (8.3.2-3)$$

- für die kleine Grundfläche

$$x_s \geq \max \left(\sqrt{\frac{D_{ms} e_{as}}{\cos \alpha}} ; 3,0 e_{as} \right) \quad (8.3.2-4)$$

Dabei ist

D_{mL} der mittlere Durchmesser der Zylinderschale an der großen Grundfläche;

D_{ms} der mittlere Durchmesser der Zylinderschale an der kleinen Grundfläche.

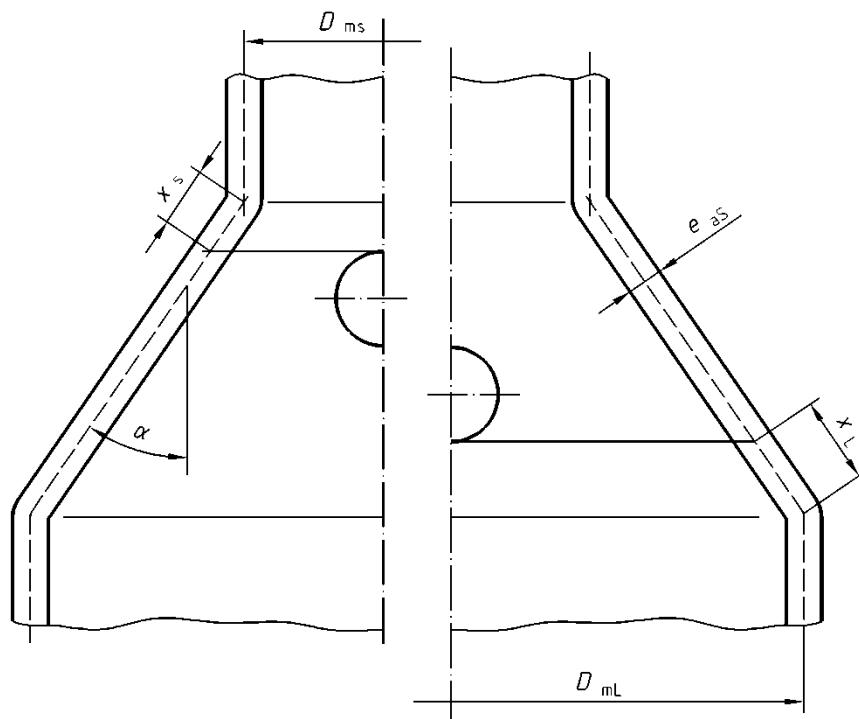


Bild 8.3.2-2 — Ausschnitte in Kegelschalen

8.3.3 Verfahren zur Verstärkung

Falls dies nach Abschnitt 8 gefordert ist, müssen Zylinder-, Kegel- und Kugelschalen sowie gewölbte Böden mit Ausschnitten verstärkt werden. Die Verstärkung des Ausschnittes muss nach einem der nachstehenden Verfahren erfolgen:

- Erhöhen der Wanddicke der Schale gegenüber der einer Schale ohne Ausschnitte (siehe Bild 8.3.3-1);
- Aufschweißen scheibenförmiger Verstärkungen (siehe Bild 8.3.3-2);
- Erhöhen der Wanddicke des Abzweigs (siehe Bild 8.3.3-3);
- Kombination der genannten Verfahren.

Die Verstärkung muss in sämtlichen Ebenen durch die Achse des Ausschnitts oder Abzweigs gleich sein.

Aufgeschweißte oder eingeschweißte Abzweige, die nur dichtgeschweißt sind, dürfen nicht als Verstärkung betrachtet werden und müssen entsprechend nach 8.4.2 berechnet werden.

8.3.4 Berechnungsverfahren

Die Größe der zu verstärkenden Fläche einer Schale mit Ausschnitten kann nicht direkt berechnet werden, sondern muss in einem ersten Schritt angenommen werden. Diese Annahme muss durch das in den folgenden Abschnitten angegebene Verfahren verifiziert werden. Das Verfahren ist von den Anforderungen an Zylinder- und Kugelschalen bzw. Kugelkalotten gewölbter Böden abgeleitet und führt zu einer Beziehung zwischen der druckbelasteten Fläche A_p und der spannungsbelasteten Querschnittsfläche A_f

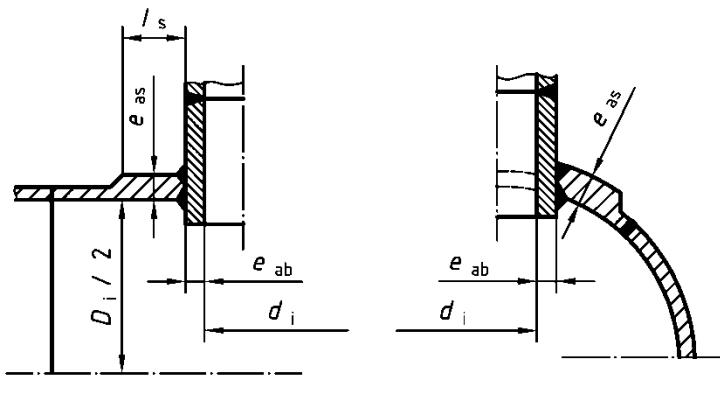
Unter bestimmten Bedingungen muss die Berechnung auf Grundlage einer korrigierten Annahme für die zu verstärkende Fläche wiederholt werden.

8.3.5 Elliptische Ausschnitte und schräge Abzweige

Bei elliptischen oder länglich abgerundeten Ausschnitten ohne Abzweig darf das Verhältnis von großem zu kleinem Durchmesser den Wert 2,0 nicht überschreiten.

Für die Konstruktion müssen die Durchmesser von elliptischen oder länglich abgerundeten Ausschnitten in Zylinder- oder Kegelschalen als die Längenausdehnung in Richtung der Schalenachse verwendet werden, während bei Kugelschalen und gewölbten Böden der größere Durchmesser verwendet werden muss.

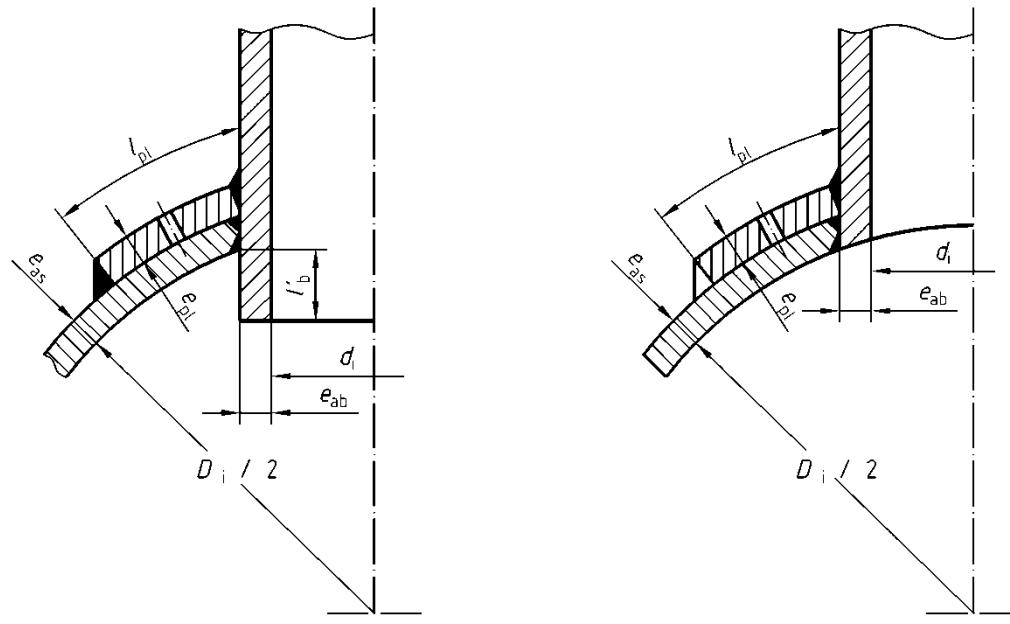
Bei schrägen Abzweigen in Zylinder- oder Kugelschalen muss der Winkel φ , zwischen der Senkrechten zur Schalenwand und der Achse des Abzweigs zwischen 0° und 45° betragen (siehe Bilder 8.4.3-3, 8.4.3-4 und 8.4.3-5).



a) Zylinderschale

b) Kugelschale

Bild 8.3.3-1 — Verstärkung durch Erhöhen der Schalenwanddicke

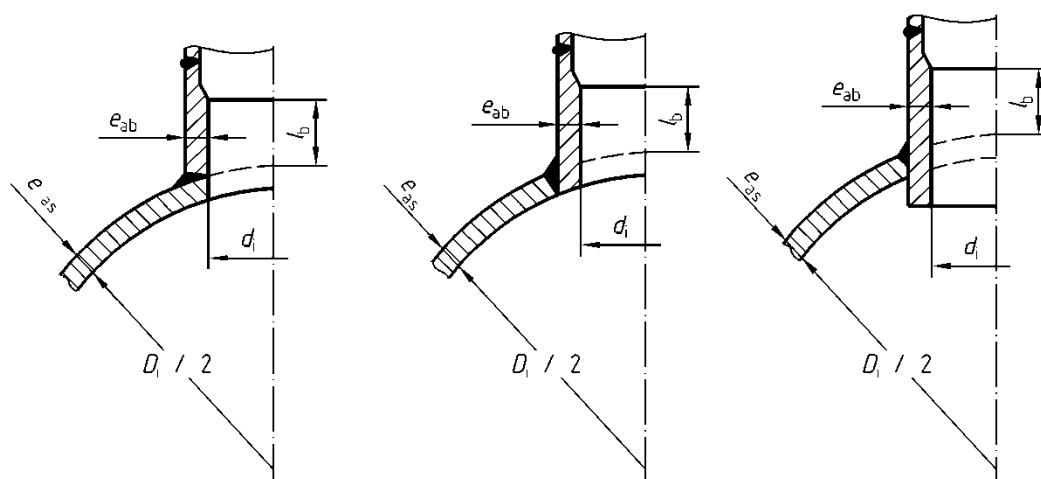


a) Durchgesteckter Stutzen

b) Einschweißstutzen

ANMERKUNG Bei der Auslegung von durchgesteckten Stutzen sollte deren Wirkung auf den Durchfluss berücksichtigt werden.

Bild 8.3.3-2 — Verstärkung durch Verstärkungsscheiben



a) Aufschweißstutzen

b) Einschweißstutzen

c) durchgesteckter Stutzen

ANMERKUNG 1 Die Wanddickenerhöhung kann auf der Innen- oder der Außenseite des Abzweigs erfolgen.

ANMERKUNG 2 Bei der Auslegung von durchgesteckten Stutzen sollte deren Wirkung auf den Durchfluss berücksichtigt werden.

Bild 8.3.3-3 — Verstärkung durch Erhöhen der Wanddicke des Abzweigs

8.3.6 Verstärkungsscheiben

Die Verstärkung von Ausschnitten durch Verstärkungsscheiben ist auf die in Bild 8.3.6-1 gegebenen Bedingungen und auf Durchmesserverhältnisse $d_i/D_i \leq 0,8$ begrenzt.

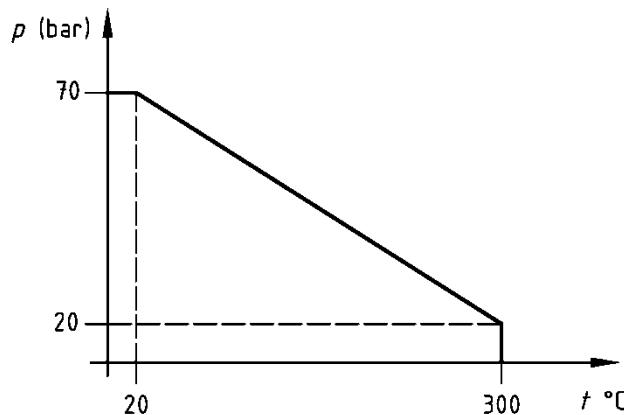


Bild 8.3.6-1 — Druck- und Temperaturgrenzen für Verstärkungsscheiben

8.3.7 Unterschiedliche Werkstoffe von Schale und Verstärkung

Bestehen Schale und Verstärkung aus Werkstoffen mit unterschiedlichen Werten für die zulässige Auslegungsspannung und ist der Wert der Auslegungsspannung der Schale der niedrigere, so ist zur Berechnung der Verstärkung dieser niedrigere Wert zu verwenden.

Der Werkstoff für die Verstärkung ist so zu wählen, dass Wärmespannungen aufgrund erheblich voneinander abweichender Wärmeausdehnungsbeiwerte vermieden werden.

8.3.8 Ausgehalste Abzweige

Die Anwendung ausgehalster Abzweige ist auf die folgenden Durchmesserverhältnisse beschränkt:

- für alle Werkstoffe außer austenitischen Stählen: $d_i/D_i \leq 0,8$;
- für austenitische Stähle: $d_i/D_i \leq 1,0$.

Die Flächen A_{fs} und A_{fb} sind mit einem Faktor von 0,9 zu multiplizieren, wenn die tatsächliche Wanddicke der Aushalsung unbekannt ist.

Die Anwendung im Zeitstandbereich ist auf Ausschnitte mit einem Durchmesserverhältnis $d_i/D_i \leq 0,7$ beschränkt; und die Auslegungsspannung ist auf 90 % des in Abschnitt 5 angegebenen Wertes zu reduzieren.

8.3.9 Geschmiedetes T-Stück

Die Einschränkungen von 8.3.8 gelten nicht für geschmiedete T-Stücke, vorausgesetzt, dass die angenommene Wanddicke an der Verschneidung garantiert werden kann, siehe Bilder 8.3.9-1 und 8.3.9-2.

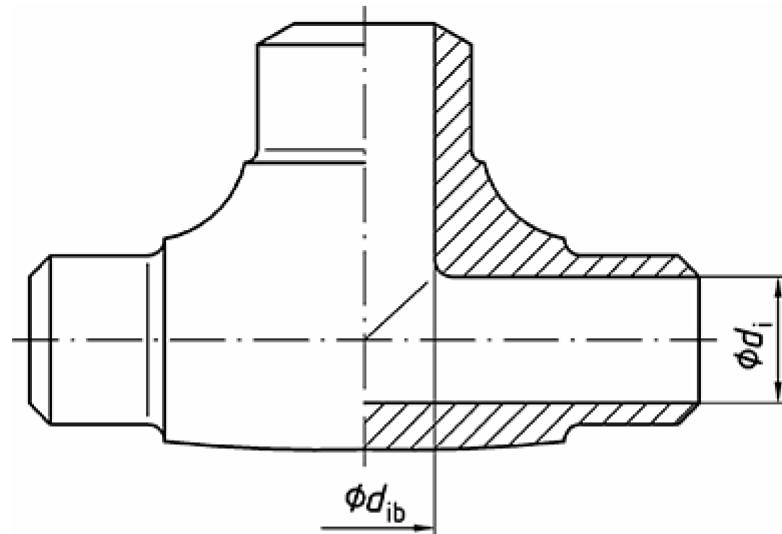


Bild 8.3.9-1 — Geschmiedetes T-Stück mit bearbeiteter Bohrung

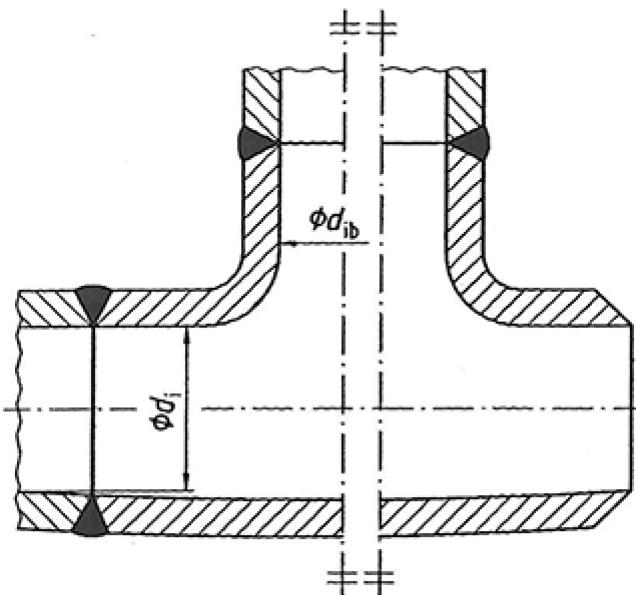


Bild 8.3.9-2 — Gesenkgeschmiedetes T-Stück

8.3.10 Abzweige in Rohrbiegungen oder -bögen

Die Konstruktion und Auslegung der Verbindungen von Abzweigen und Rohrhalterungen mit Rohrleitungszubehör ist nach Anhang E auszuführen.

Abzweige in Rohrbiegungen und -bögen sind für die Anwendung im Zeitstandbereich nicht zulässig.

8.3.11 Eingeschraubte Stutzen

Die Verwendung eingeschraubter Stutzen ist beschränkt auf:

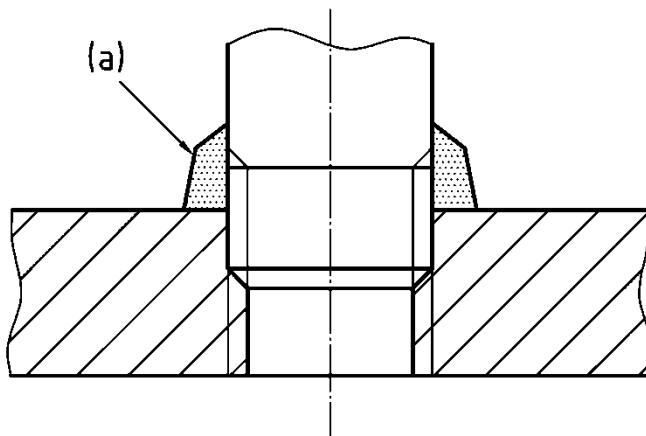
- Temperaturen bis 400 °C;
- Manometerdrücke bis 40 bar;

- Stutzendurchmesser bis einschließlich DN 50.

Darüber hinaus gilt:

- Ein Abstreifen der Gewinde ist nicht zulässig.
- Für Auslegungstemperaturen über 200 °C oder Auslegungsdrücke über 16 bar muss der Stutzen dichtgeschweißt sein.
- Für Rohre und geschraubte Stutzen müssen Werkstoffe mit annähernd gleichen Wärmeausdehnungsbeiwerten verwendet werden.
- Um die Schweißbarkeit der eingeschraubten Stutzen sicherzustellen, müssen Werkstoffe mit einem Kohlenstoffanteil unter 0,25 % nach EN 13480-2 eingesetzt werden.
- Die Mindesteinschraubtiefe muss betragen:
 - bei Durchmessern bis einschließlich DN 20, das 6fache der Steigung;
 - bei Durchmessern von DN 20 bis einschließlich DN 40, das 7fache der Steigung;
 - bei Durchmessern von DN 40 bis einschließlich DN 50, das 8fache der Steigung.

ANMERKUNG Bei Rohrleitungen für Fluide der Gruppe 1 und bei schwingungsbeanspruchten Rohrleitungen sollte die Auslegung und Verwendung von eingeschraubten Stutzen besonders sorgfältig abgewogen werden. Selbst Dichtschweißungen eingeschraubter Stutzen gelten nicht als absolut dichte Verbindung.



(a) Dichtschweißung wahlweise

Bild 8.3.11-1 — Eingeschraubter Stutzen

8.4 Einzelausschnitte

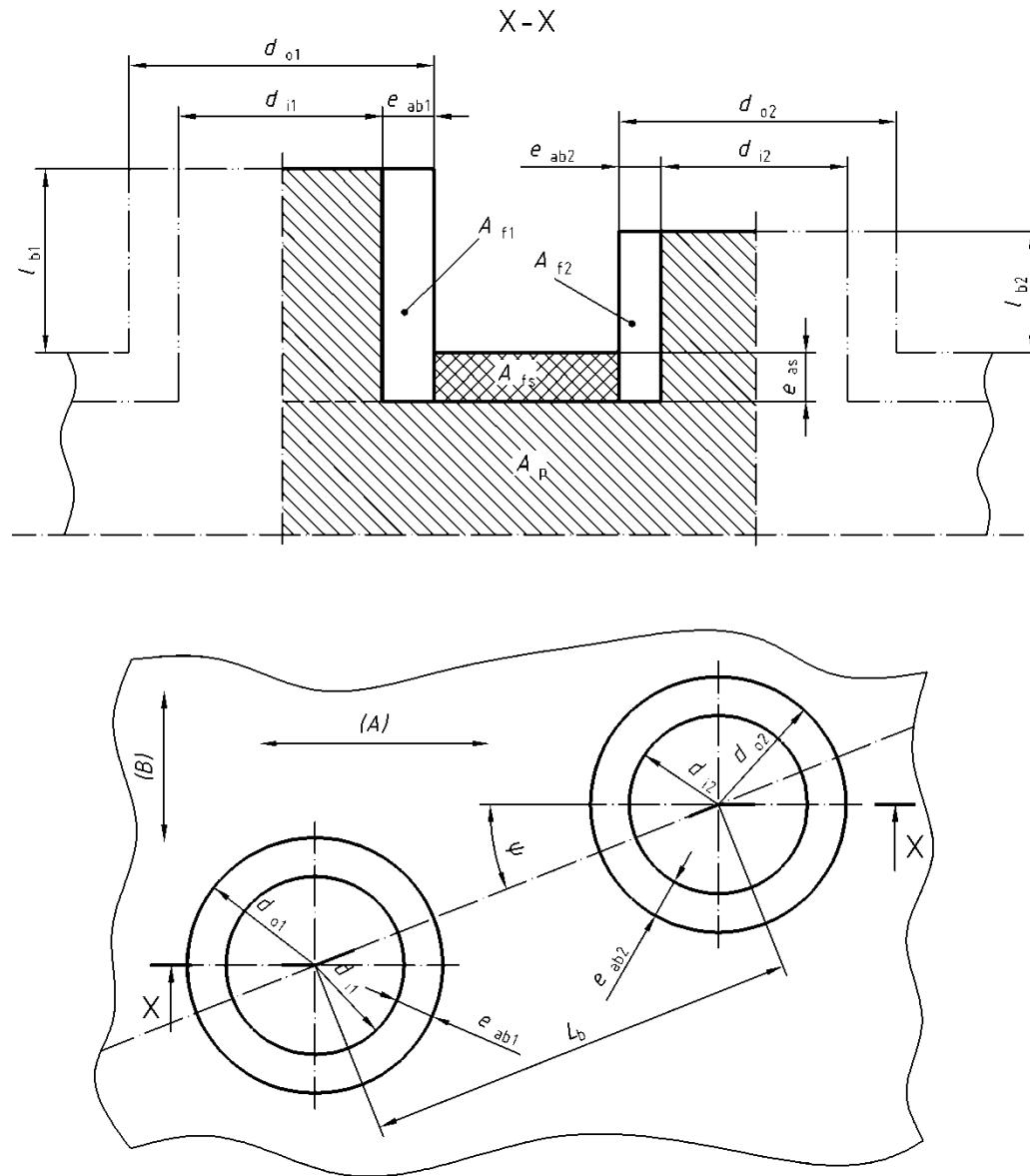
8.4.1 Allgemeines

Benachbarte Ausschnitte oder Abzweigungen sind als Einzelausschnitt zu betrachten, wenn der Abstand L_b zwischen den Mittelpunkten der Ausschnitte oder Abzweigungen, gemessen auf dem mittleren Durchmesser der Schale, die folgende Anforderung erfüllt:

$$L_b \geq \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} + 2l_s \quad (8.4.1-1)$$

Dabei sind d_1 und d_2 :

- bei Zylinder- oder Kegelschalen die entlang der Linie L_b gemessenen Durchmesser der beiden Ausschnitte oder die Schnittpunkte der Außendurchmesser von Abzweigung und Verstärkungsring mit der Schalenwand (siehe Bild 8.4.1-1);
- bei Kugelschalen und gewölbten Böden die in Wanddickenmitte entlang der Linie L_b , über den Sehnen d_{o1} und d_{o2} gemessenen Bogenlängen (siehe Bild 8.4.1-2).



Legende

- (A): Längsrichtung
 (B): Umfangsrichtung

Bild 8.4.1-1 — Zylinderschale mit benachbarten Abzweigungen mit dem Winkel ψ zur Schalenachse

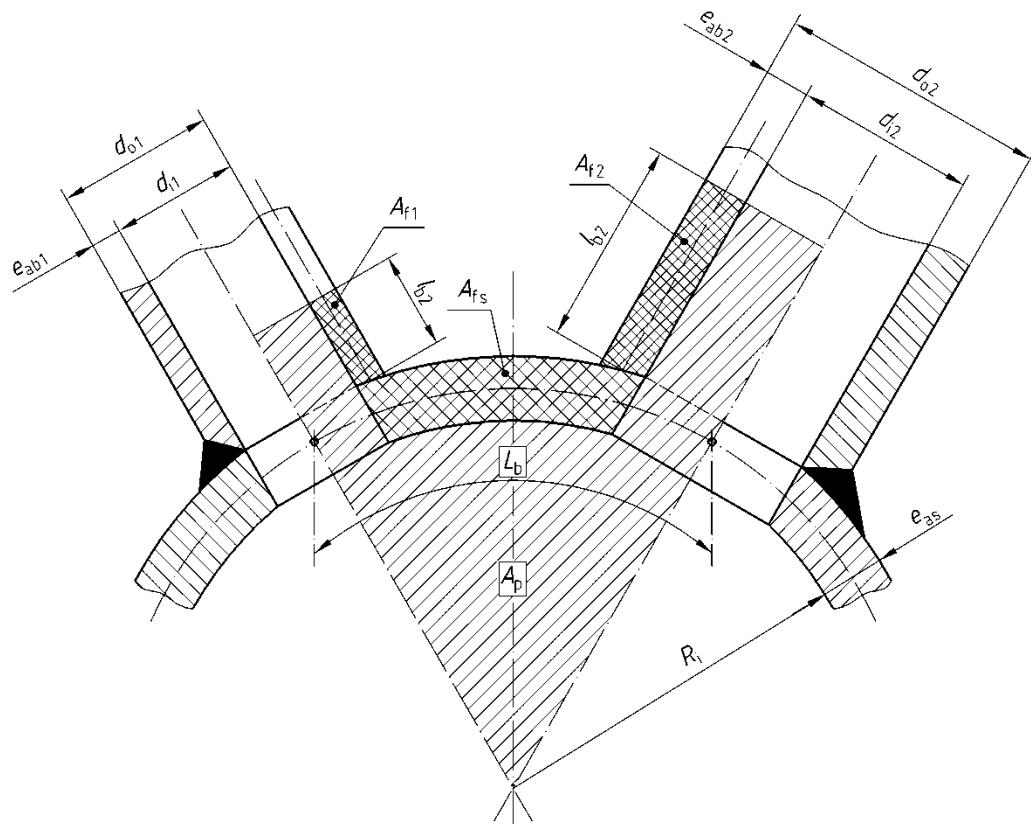


Bild 8.4.1-2 — Schnittansicht einer Kugelschale mit benachbarten Abzweigungen

Der Wert von l_s ist für jeden Ausschnitt durch die folgende Gleichung gegeben:

$$l_s = \sqrt{D_{\text{eq}} e_{\text{as}}} \quad (8.4.1-2)$$

Dabei ist

D_{eq} der senkrecht zur Schalenachse gemessene äquivalente Durchmesser der Schale im Mittelpunkt jedes Ausschnitts, also:

- bei Zylinderschalen

$$D_{\text{eq}} = D_i + e_{\text{as}} \quad (8.4.1-3)$$

oder

$$D_{\text{eq}} = D_o - e_{\text{as}} \quad (8.4.1-4)$$

- bei halbkugelförmigen, torisphärischen oder elliptischen Böden

$$D_{\text{eq}} = 2 R_i + e_{\text{as}} \quad (8.4.1-5)$$

ANMERKUNG Zu elliptischen Böden siehe 7.1.4.

— bei Kegelschalen

$$D_{\text{eq}} = \frac{D_m}{\cos \alpha} - e_{\text{as}} \quad (8.4.1-6)$$

Siehe Bild 8.3.2-2.

Der Faktor e_{as} ist die ermittelte Wanddicke von Schale oder Boden ohne Berücksichtigung der Wanddicke einer Verstärkungsscheibe.

8.4.2 Unverstärkte Ausschnitte

Verstärkungen sind nicht erforderlich, wenn die nachstehende Bedingung erfüllt ist:

$$d_i \leq 0,14 \sqrt{(D_{\text{eq}} e_{\text{as}})} \quad (8.4.2-1)$$

8.4.3 Verstärkte Ausschnitte mit Durchmesserverhältnissen $d_i/D_i < 0,8$

a) Verstärkung durch Erhöhen der Wanddicke

Die Verstärkung kann durch Erhöhen der Wanddicke von Schale und/oder Abzweigung erfolgen. Die erhöhte Wanddicke muss sich über eine Mindestlänge von l_s an der Schale und l_b an der Abzweigung erstrecken und wird, wie auf den Bildern 8.3.3-1, 8.3.3-3 und 8.4.3-1 dargestellt, gemessen.

Die Länge l_s ist nach Gleichung (8.4.1-2) zu berechnen.

Die Längen l_b und l'_b werden wie folgt berechnet:

$$l_b = \sqrt{d_{\text{eq}} b e_{\text{ab}}} \quad (8.4.3-1)$$

$$l'_b = 0,5 \sqrt{d_{\text{eq}} b e_{\text{ab}}} , \text{jedoch nicht größer als die tatsächliche Länge} \quad (8.4.3-2)$$

Darüber hinaus muss die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\left(f_b - \frac{p_c}{2} \right) A_{f_b} + \left(f_s - \frac{p_c}{2} \right) A_{f_s} \geq p_c A_p \quad (8.4.3-3)$$

Dabei ist

A_f die zur Verstärkung beitragende Querschnittsfläche ($A_{f_b} + A_{f_s}$);

A_p die druckbelastete Fläche.

l_b und l_s aus den Gleichungen 8.4.3-1 und 8.4.1-2 sind die maximalen Längen für die Verstärkungsberechnung. Wird hiernach berechnet, muss die festgestellte Dimensionierung auf dem hergestellten Teil nachgemessen werden. Sollte die Konstruktion eine kürzere Länge aufweisen als in den Gleichungen 8.4.1-2 und 8.4.3-1 gegeben, muss dies bei der Verstärkungsberechnung berücksichtigt werden.

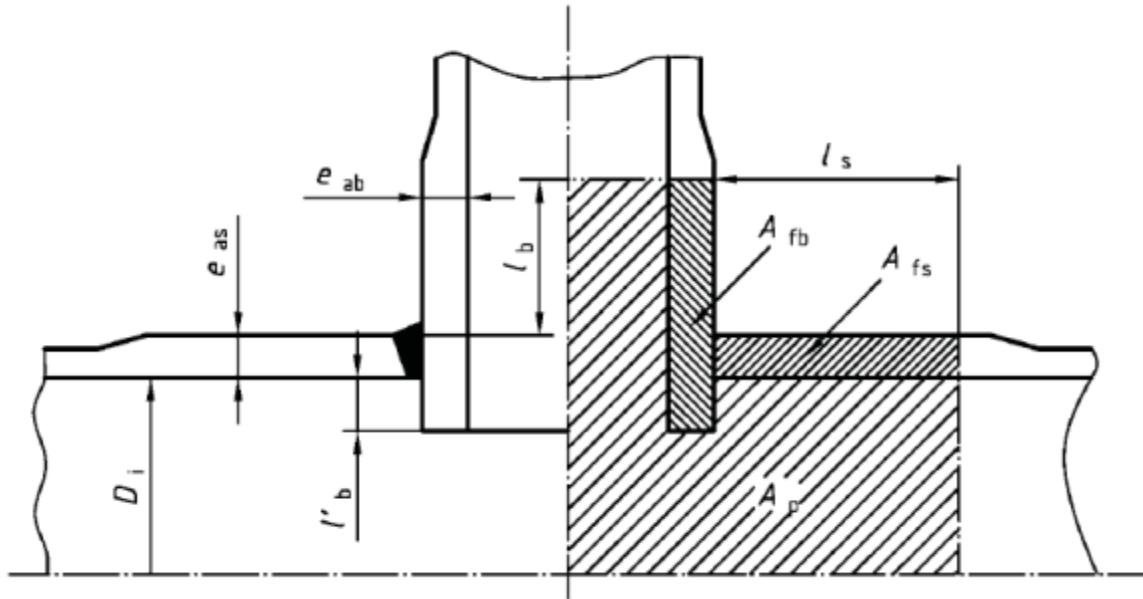


Bild 8.4.3-1 — Verstärkung durch Erhöhen der Wanddicke von Schale und/oder Abzweigung

b) Verstärkung durch Verstärkungsscheiben

Verstärkungsscheiben müssen bündig an der Schale anliegen. Die als zur Verstärkung beitragend angenommene Breite der Verstärkungsscheibe l_{pl} darf l_s nicht überschreiten (siehe Gleichung (8.4.1-2) und die Bilder 8.3.3-2 und 8.4.3-2).

$$l_{pl} \leq l_s \quad (8.4.3-4)$$

Der in den Gleichungen (8.4.3-6) und (8.4.3-7) für die Berechnung von A_{fpl} verwendete Wert von e_{apl} darf die Schalenwanddicke e_{as} nicht überschreiten:

$$e_{apl} \leq e_{as} \quad (8.4.3-5)$$

Darüber hinaus muss die nachstehende Bedingung erfüllt sein:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2} \right) (A_{fs} + A_{fb} + A_{pl}) \geq p_c A_p \quad (8.4.3-6)$$

Dabei ist

A_{pl} die zur Verstärkung beitragende Querschnittsfläche der Verstärkungsscheibe;

A_{fs} die Querschnittsfläche der Schale.

Ist die Auslegungsspannung des Abzweigs, f_b , und/oder der Verstärkungsscheibe, f_{pl} , geringer als die der Schale, f_s , muss statt der Bedingung in Gleichung (8.4.3-6) die nachstehende Bedingung erfüllt sein:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2} \right) A_{fs} + \left(f_b - \frac{p_c}{2} \right) A_{fb} + \left(f_{pl} - \frac{p_c}{2} \right) A_{pl} \geq p_c A_p \quad (8.4.3-7)$$

ANMERKUNG Eine Auslegungsspannung des Abzweigs, f_b , oder der Verstärkungsscheibe, f_{pl} , die höher ist als f_s , darf keinesfalls berücksichtigt werden.

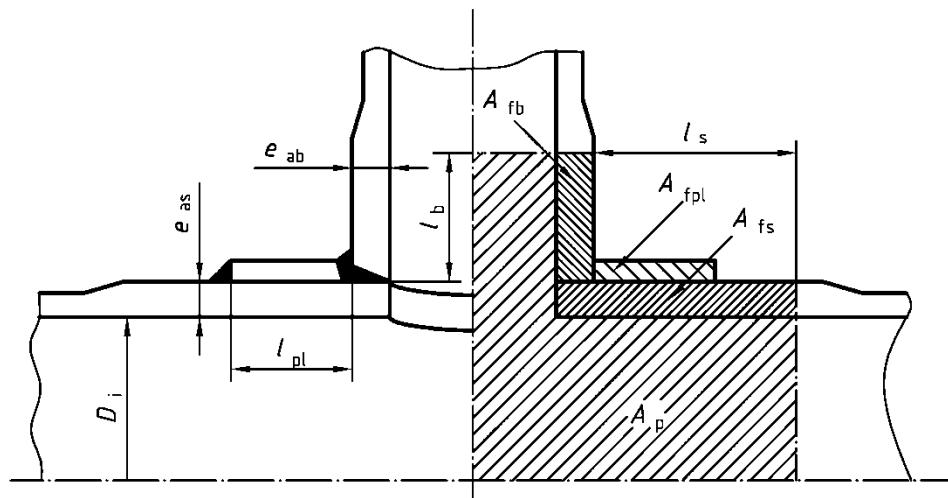


Bild 8.4.3-2 — Verstärkung einer Zylinderschale durch eine Verstärkungsscheibe

c) Schräge Abzweige bzw. schräg angesetzte Stutzen in Zylinder- oder Kegelschalen

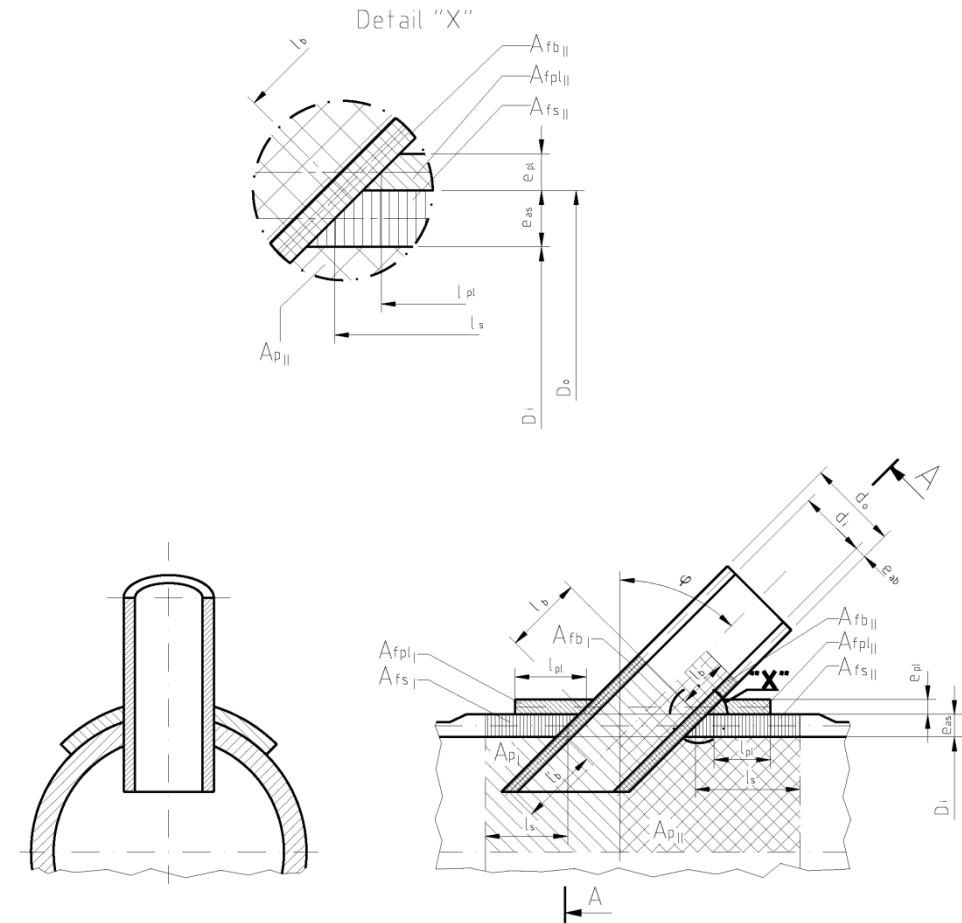
Dieser Abschnitt gilt für Stutzen oder Abzweigungen, deren Achse nicht senkrecht zur Wand der Zylinder- oder Kegelschale verläuft, sondern in einer Ebene senkrecht zur Schalenlinie durch den Mittelpunkt des Ausschnitts liegt und mit der Senkrechten einen Winkel φ bildet oder in einer Ebene mit der Schalenachse liegt und mit der Senkrechten einen Winkel φ bildet. Für nicht radial angeordnete Stutzen bzw. Abzweigungen muss die Verstärkung in Längsrichtung und für den Querschnitt berechnet werden (siehe Bild 8.4.3-4).

Für die Berechnung gelten die Gleichungen (8.4.3-3) oder (8.4.3-6) und (8.4.3-7), bei denen die Fläche A_p berechnet wird mit:

$$d = \frac{d_i}{\cos \varphi} \quad (8.4.3-8)$$

Die maximale Länge, die als zur Verstärkung beitragend angesehen wird, muss nach Gleichung (8.4.1-2) berechnet werden.

Der Winkel φ ist wie in Bild 8.4.3-3 bzw. 8.4.3-4 dargestellt zu ermitteln: $0^\circ < \varphi \leq 45^\circ$.



ANMERKUNG Bei der Auslegung von durchgesteckten Stutzen sollte deren Wirkung auf den Durchfluss berücksichtigt werden.

Bild 8.4.3-3 — Verstärkung von schräg angesetzten Stutzen in Zylinder- oder Kegelschalen

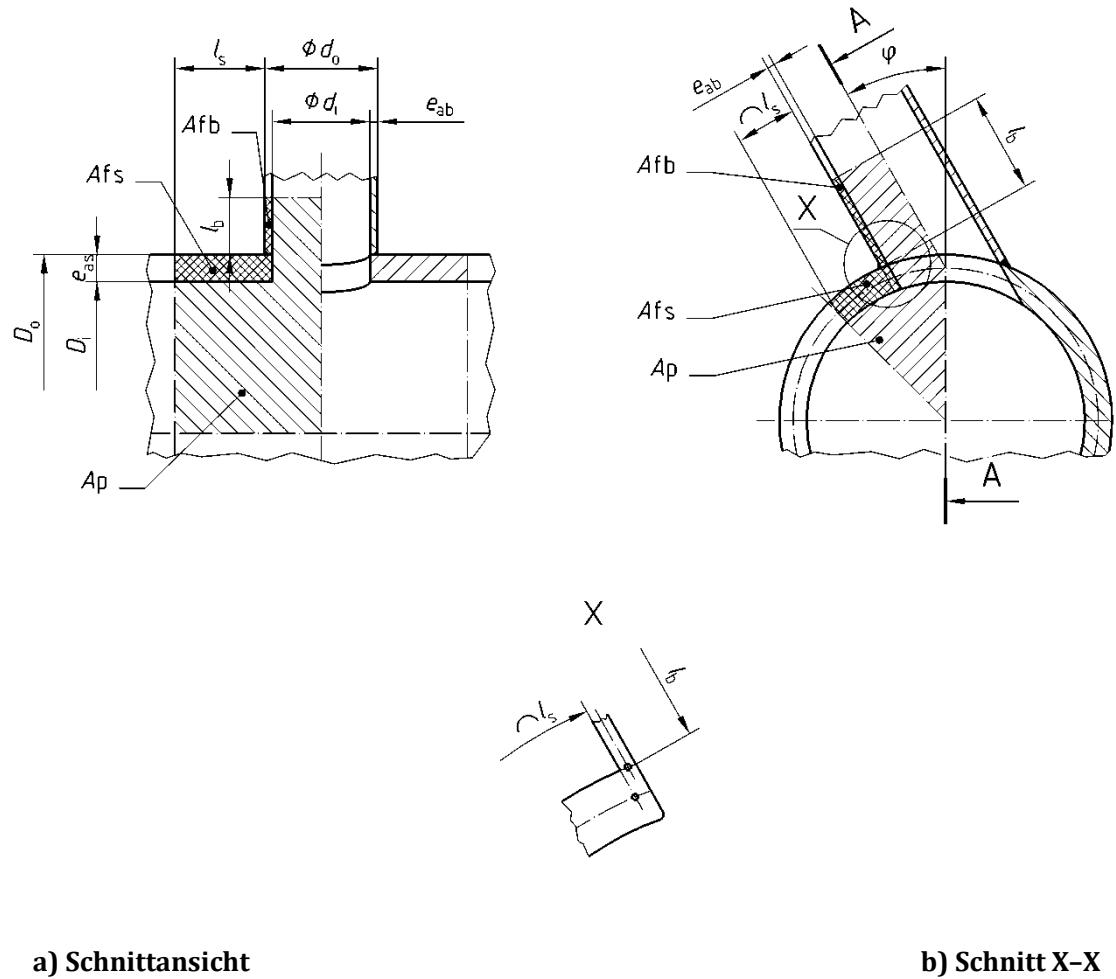


Bild 8.4.3-4 — Verstärkung von nicht radial angeordneten Abzweigungen oder Stutzen in Zylinder- oder Kegelschalen

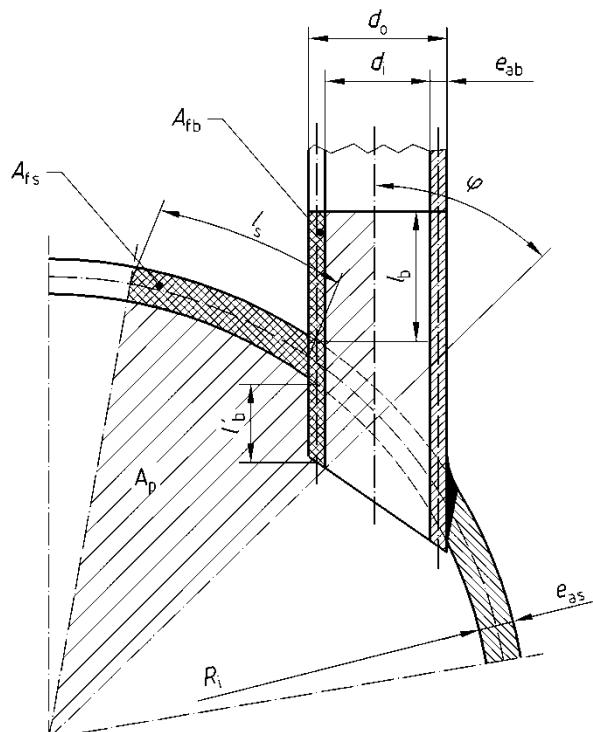
d) Schräge Stutzen oder Abzweigungen in Kugelschalen und gewölbten Böden

Dieser Abschnitt gilt für Stutzen oder Abzweigungen in Kugelschalen und Kugelkalotten gewölbter Böden, deren Achse nicht senkrecht zur Schalenwand verläuft und mit der Senkrechten den Winkel φ bildet. Die Verstärkung ist in dem Querschnitt zu berechnen, in dem die Achse des Stutzens bzw. der Abzweigung und die Senkrechten zur Schalenwand durch den Mittelpunkt des Ausschnitts liegen (siehe Bild 8.4.3-5).

Die Verstärkung ist nach den Gleichungen (8.4.3-3), (8.4.3-6) und (8.4.3-7) zu berechnen, wobei A_p nach Gleichung (8.4.3-8) berechnet wird.

Die maximale als zur Verstärkung beitragend betrachtete Länge der Schale ist nach Gleichung (8.4.1-2), die des Stutzens bzw. der Abzweigung nach Gleichung (8.4.3-1) zu ermitteln.

Der Winkel φ wird, wie in Bild 8.4.3-5 dargestellt, ermittelt.



ANMERKUNG Bei der Auslegung von durchgesteckten Stutzen sollte deren Wirkung auf den Durchfluss berücksichtigt werden.

Bild 8.4.3-5 — Verstärkung von schräg angesetzten Stutzen in Kugelschalen und gewölbten Böden

8.4.4 Verstärkung von Einzelausschnitten mit $0,8 < d/D \leq 1,0$

Es gelten die in 8.4.3 angegebenen Gleichungen mit der Einschränkung, dass große Ausschnitte mit $d/D > 0,8$ für eine Auslegung im Zeitstandbereich des verwendeten Werkstoffs nicht zulässig sind.

Diese Einschränkung gilt nicht für geschmiedete T-Stücke mit bearbeiteter Bohrung (Bild 8.3.9-1) und gesenkgeschmiedete T-Stücke (Bild 8.3.9-2).

8.5 Benachbarte Ausschnitte

8.5.1 Unverstärkte Ausschnitte

Unverstärkte benachbarte Ausschnitte sind zulässig, sofern die nachstehenden Einschränkungen eingehalten werden.

- Der Abstand der Mittellinien zweier benachbarter Ausschnitte darf nicht kleiner sein als die Summe ihrer auf der Schaleninnenseite gemessenen Innendurchmesser.
- Liegen mehr als zwei Ausschnitte innerhalb einer Kreisfläche mit dem durch die folgende Gleichung gegebenen Durchmesser D_{ca}

$$D_{ca} = 2,0 \sqrt{D_m e_{as}} \quad (8.5.1-1)$$

so muss die Summe ihrer Bohrungsdurchmesser die folgende Beziehung erfüllen:

$$\sum_1^n d_i \leq 0,175 \sqrt{D_m e_{as}} \quad (8.5.1-2)$$

Dabei ist n die Anzahl der Ausschnitte.

8.5.2 Verstärkte Ausschnitte mit $d/D \leq 0,8$

a) Verstärkung von benachbarten Ausschnitten in Zylinderschalen

Der Schnitt durch die benachbarten Ausschnitte, der mit der Längsachse der Zylinderschale den Winkel ψ nach Bild 8.4.1-1 bildet, muss die folgende Bedingung erfüllen, wenn die Werte der Auslegungsspannungen von Stutzen und Verstärkungsscheiben gleich denen der Zylinder- oder Kegelschale oder höher als diese sind:

$$\left(f - \frac{p_c}{2} \right) (A_{fs} + A_{fb} + A_{fpl}) \geq p_c \left[\frac{A_{ps}}{2} (1 + \cos^2 \psi) + A_{pb} \right] \quad (8.5.2-1)$$

Ist die Auslegungsspannung von Stutzen oder Verstärkungsscheiben niedriger als die der Zylinder- oder Kegelschale, so muss die nachstehende Bedingung erfüllt sein:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2} \right) A_{fs} + \left(f_b - \frac{p_c}{2} \right) A_{fb} + \left(f_{pl} - \frac{p_c}{2} \right) A_{fpl} \geq p_c \left[\frac{A_{ps}}{2} (1 + \cos^2 \psi) + A_{pb} \right] \quad (8.5.2-2)$$

Für in Gruppen angeordnete Ausschnitte ist die Festigkeitsbetrachtung für die Stege in alle Richtungen und für jedes Paar benachbarter Ausschnitte durchzuführen.

Die Anforderungen dieses Abschnitts können auch auf benachbarte schräge Stutzen angewendet werden, deren Mittelpunkte auf derselben Schalenlinie liegen; in diesem Fall werden die Neigungswinkel verwendet, die sich aus der Projektion der Stutzenachse in die Ebene ergeben, in der der Mittenabstand der Stutzen und die Senkrechten zur Schalenwand im Mittelpunkt jedes Ausschnitts liegen. Die Werte für die Flächen $A_{pb\psi}$ sind nach 8.4.3 c) zu berechnen.

b) Verstärkung benachbarter Ausschnitte in Kugelschalen und gewölbten Böden

Der Schnitt durch die benachbarten Ausschnitte in einer Kugelschale oder dem Kalottenteil von gewölbten Böden nach Bild 8.4.1-2 muss die folgende Bedingung erfüllen, wenn die Werte der Auslegungsspannung von Stutzen und Verstärkungsscheiben gleich denen der Kugelschale oder des Kalottenteils des gewölbten Bodens oder höher als diese sind:

$$\left(f - \frac{p_c}{2}\right)(A_{fs} + A_{fb} + A_{fpl}) \geq p_c A_p \quad (8.5.2-3)$$

Ist die Auslegungsspannung von Stutzen oder Verstärkungsscheibe niedriger ist als die der Kugelschale oder des Kalottenteils des gewölbten Bodens, so muss die nachstehende Bedingung erfüllt sein:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2}\right) A_{fs} + \left(f_b - \frac{p_c}{2}\right) A_{fb} + \left(f_{pl} - \frac{p_c}{2}\right) A_{fpl} \geq p_c A_p \quad (8.5.2-4)$$

Für in Gruppen angeordnete Ausschnitte ist die Festigkeitsbetrachtung für die Stege in alle Richtungen und für jedes Paar benachbarter Ausschnitte durchzuführen.

Die Anforderungen dieses Abschnitts können auch auf zwei benachbarte schräge Stutzen angewendet werden; in diesem Fall werden die Neigungswinkel verwendet, die sich aus der Projektion der Stutzenachse in die Ebene ergeben, in der der Mittenabstand der Stutzen und der Mittelpunkt der Kugelschale bzw. des Kalottenteils des gewölbten Bodens liegen. Die Werte für die Flächen $A_{pb\psi}$ sind nach 8.4.3 d) zu berechnen.

8.6 Auslegung besonderer Rohrleitungsbaupteile

8.6.1 Zylindrische Y-Abzweige

Es gelten die in 8.4.3 angegebenen Gleichungen. Die Parameter l_s sowie l_{b1} und l_{b2} sind in Bild 8.6.1-1 dargestellt.

Für Rohre mit $d/D > 0,8$ ist die Auslegungsspannung auf 90 % des in Abschnitt 5 festgelegten Werts zu reduzieren. Bei Verwendung bei erhöhten Temperaturen ist das Kriechverhalten zu berücksichtigen.

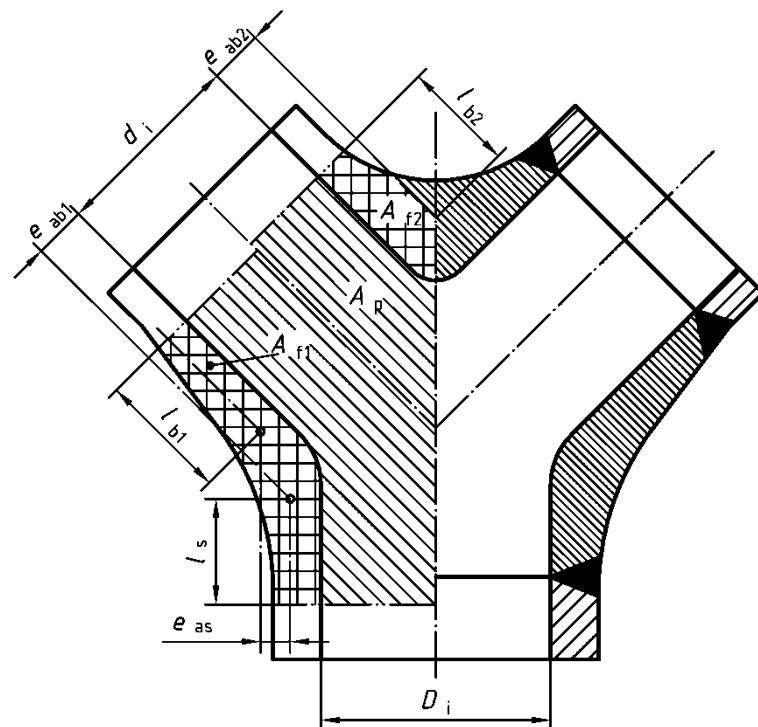


Bild 8.6.1-1 — Geschmiedeter Y-Abzweig

8.6.2 Kugelförmige Y-Abzweige

Es gelten die in 8.4.3 angegebenen Gleichungen.

Die Parameter l_s und l_b sind in Bild 8.6.2-1 dargestellt.

ANMERKUNG Empfehlungsgemäß sollte die Mittellinie des Abzweigs im Schnittpunkt senkrecht zur Kugelwand liegen.

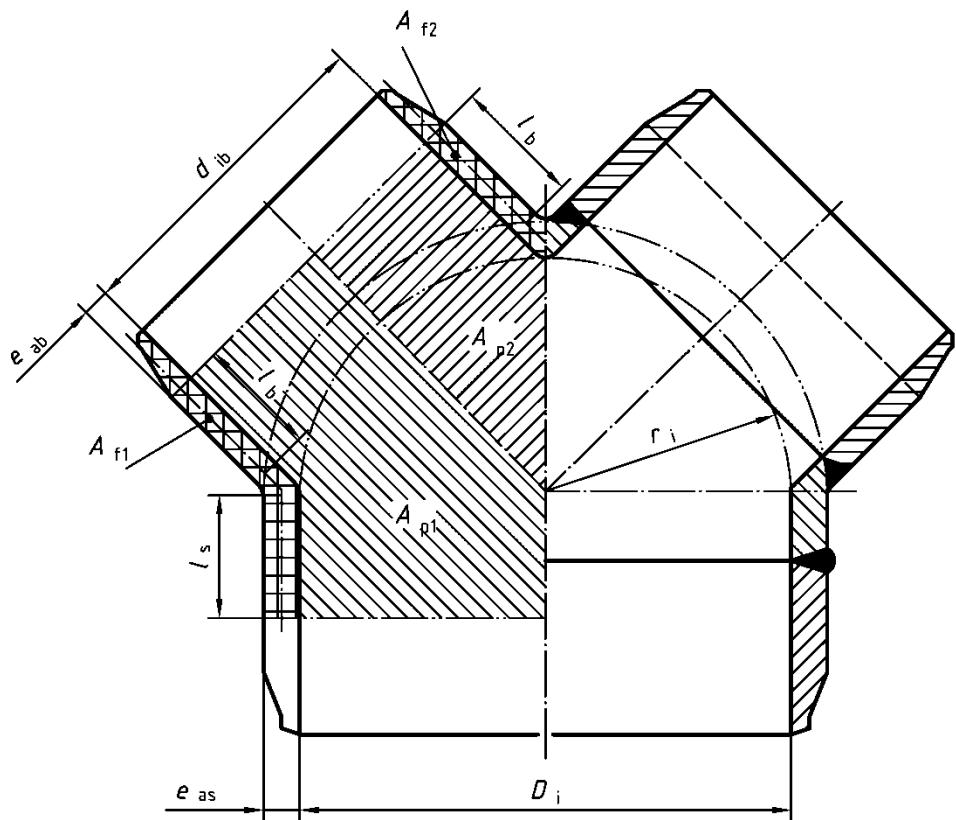


Bild 8.6.2-1 — Gefertigter kugelförmiger Y-Abzweig

8.6.3 Abzweige mit rippenförmiger Verstärkung

Die Verwendung von Abzweigen mit rippenförmiger Verstärkung ist nur bis zu einer Höchsttemperatur von 200 °C zulässig.

Diese Art der Verstärkung ist nur für Rohrleitungen zu verwenden, bei denen im Betrieb keine signifikanten Wärmespannungen auftreten.

Die Abmessungen sind in Bild 8.6.3-1 dargestellt.

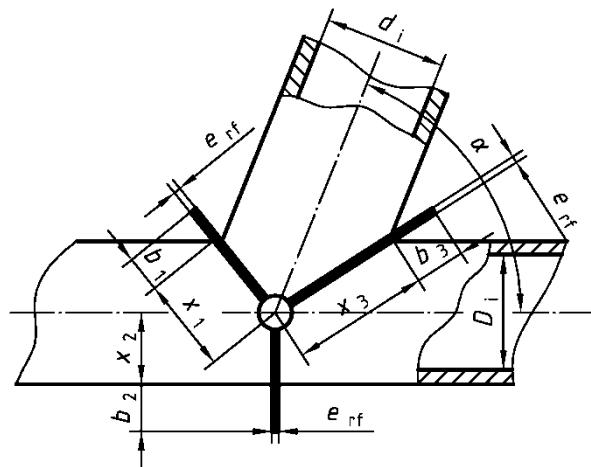


Bild 8.6.3-1 — Abzweig mit rippenförmiger Verstärkung

Die Berechnung beruht auf dem Nachweis, dass die Festigkeit der außenliegenden Verstärkung dem Innendruck im Abzweig standhält:

$$W \leq \sum_1^n W_j \quad (8.6.3-1)$$

$$W = 2 R_{p0,2t}^{branch} e_{as} \frac{d_i^2}{D_i} (1 - 0,7 \sin \alpha) \quad (8.6.3-2)$$

$$W_j = \frac{e_{rf}(3,7 R_{p0,2t}^{reinf}) b_j^2}{4 b_j + 3 x_j} \quad (8.6.3-3)$$

Dabei ist

$R_{p0,2t}^{reinf}$ die Streckgrenze der externen Verstärkung bei Berechnungstemperatur;

$R_{p0,2t}^{branch}$ die Streckgrenze des Abzweigs bei Berechnungstemperatur;

b_j die Höhe der Verstärkung ($j = 1, 2, 3$);

D_i der Innendurchmesser der Schale;

d_i der Durchmesser des Abzweigs;

e_{as} die ermittelte Wanddicke der Schale, die gleich der in 3.2 definierten bestellten Wanddicke, $e_{ord,s}$ gesetzt werden kann;

e_{rf} die Wanddicke der Verstärkung;

n die Anzahl der Verstärkungen;

W die von den Verstärkungen aufgenommene Last;

W_j die Festigkeit einer Verstärkung als Funktion der Werte für b_j und x_j ($j = 1, 2, 3$);

x_j die Länge des Überstands der Verstärkung gegen Biegung ($j = 1, 2, 3$);

α der Winkel zwischen den Achsen von Schale und Abzweig.

9 Auslegung von Rohrleitungsbauarten unter Außendruck

9.1 Allgemeines

Die Regeln von Abschnitt 9 berücksichtigen die Belastungen durch Außendruck. Diese Regeln gelten nicht für den Zeitstandbereich.

Der in der Berechnung zu berücksichtigende Außendruck ist der maximale Außendruck unter Betriebs- oder Prüfbedingungen, je nachdem, welcher Wert höher ist.

Für Rohrleitungen, bei denen aufgrund der Fluidabkühlung der Innendruck unter den atmosphärischen Druck sinken kann, ist der in der Berechnung verwendete Außendruck gleich:

- 1 bar für einwandige Rohre unter Außendruck; oder
- dem effektiven Druck zwischen den Lagen eines Doppelmantels plus 1 bar bei ummantelten Rohrleitungen.

Bei Rohrleitungen, die mit Druckbegrenzungseinrichtungen ausgerüstet sind und bei denen der Innendruck aufgrund der Fluidabkühlung unter den atmosphärischen Druck sinken kann, ist für den in der Berechnung zu verwendenden Außendruck als Mindestwert der Einstelldruck der Druckbegrenzungseinrichtung zu verwenden.

Bei Rohrleitungen, bei denen der Außendruck im Betrieb 1 bar nicht überschreitet, ist eine Prüfung auf Angemessenheit der Auslegung nicht erforderlich, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Bei Temperaturen bis einschließlich 150 °C werden Rohrleitungen aus Kohlenstoffstahl oder niedriglegierten Stählen verwendet, bei Temperaturen bis einschließlich 50 °C Rohrleitungen aus austenitischen Stählen; und
- $e/D_0 \geq 0,01$; und
- die Unrundheit, u , (siehe EN 13480-4, 7.4.1) beträgt maximal 1 %, und örtliche Abflachungen haben maximal den Wert e .

Die Wanddicke von Bauteilen unter Außendruck muss mindestens gleich der nach dieser Norm für ähnliche Bauteile unter gleich hohem Innendruck geforderten Wanddicke, mit einem Schweißnahtfaktor von 1, bzw. der nach Abschnitt 9 ermittelten Wanddicke sein, je nachdem, welcher Wert größer ist.

Die zulässige Abweichung von der Konstruktionsgeometrie muss in der Zeichnung oder den zugehörigen Dokumenten angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Die Regeln von Abschnitt 9 gelten für Zylinderschalen, die mit einer Toleranz von 0,5 % des Radius, gemessen vom wahren Kreismittelpunkt, kreisrund sind.

Der Schweißnahtfaktor wird nicht berücksichtigt.

Ringe und andere als Versteifung eingesetzte Teile müssen sich über den gesamten Umfang erstrecken und am gesamten Umfang mit der Schale verbunden sein. Sämtliche Verbindungen müssen so ausgelegt sein, dass die volle Versteifungswirkung des Rings zum Tragen kommt. Bei inneren Versteifungsringen, die so angeordnet sind, dass örtlich begrenzte Zwischenräume zwischen Schale und Ring vorhanden sind (siehe Bild 9.1-1), darf die Länge der unversteiften Schale in keinem Fall den Wert des Rohrleitungsumfangs geteilt durch den Beiwert ($4 n_{cyl}$) überschreiten.

Unterbrochene Schweißnähte sind nicht zulässig, wenn mit dem Auftreten von Spaltkorrosion zu rechnen ist.

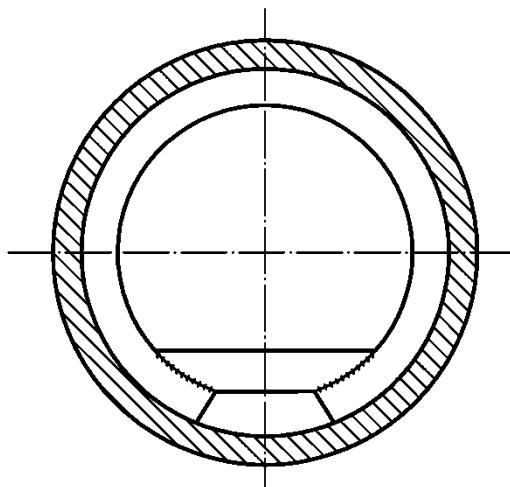


Bild 9.1-1 — Innere Versteifungsringe mit verstärktem Ausschnitt

9.2 Symbole und Elastizitätsgrenzen

9.2.1 Symbole

Für die Anwendung von Abschnitt 9 gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle 9.2.1-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 9.2.1-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von Abschnitt 9

Symbol	Erläuterung	Einheit
A_e	Querschnittsfläche der Versteigung plus mittragende Rohrlänge	mm ²
A_f	Querschnittsfläche des Flansches	mm ²
A_s	Querschnittsfläche der Versteifung	mm ²
A_w	Fläche des Stegs	mm ²
E_t	Elastizitätsmodul des Werkstoffs des betrachteten Teils bei Auslegungstemperatur t	MPa (N/mm ²)
L	Unversteifte Rohrlänge	mm
L_c	Siehe Bild 9.3.1-1	mm
R_f	Radius zu dem Teil der Versteifung mit dem größten Abstand zum Rohr (siehe Bild 9.3.4-1)	mm
R_m	Mittlerer Radius von zylindrischen Rohren oder Rohrabschnitten	mm
R_s	Radius des Flächenschwerpunkts der Versteifungsquerschnittsfläche (siehe Bild 9.3.4-1)	mm
$R_{p0,2\ t}$	Mindestwert der 0,2-%-Dehgrenze des Rohrs bei einer bestimmten Temperatur	MPa (N/mm ²)
$R_{p0,2\ St}$	Mindestwert der 0,2-%-Dehgrenze der Versteifung bei einer bestimmten Temperatur	MPa (N/mm ²)
S, S_S	Elastizitätsgrenzen für Rohr bzw. Versteifung	MPa (N/mm ²)
e_a	Analysewanddicke des Rohrs	mm
e_f	Dicke des Flansches der Versteifung	mm
e_w	Dicke des Stegs der Versteifung	mm
h	Äußere Wölbungshöhe bei gewölbten Böden	mm
h_s	Radiale Höhe der Versteifung zwischen zwei Flanschen	mm
I_c	Trägheitsmoment der kombinierten Querschnittsfläche von Versteifung und die Versteifung unterstützender Rohrlänge um eine zur Zylinderachse parallele Achse durch den Flächenschwerpunkt der kombinierten Querschnittsfläche	mm ⁴
k	Sicherheitsbeiwert	-
k_s	Fertigungsbeiwert der Versteifung	-
n	Anzahl der Beulwellen in Umfangsrichtung des versteiften Zylinders	-
n_{cyl}	Anzahl der Beulwellen in Umfangsrichtung des unversteiften Teils des Zylinders	-
p	Geforderter Auslegungsaußendruck	MPa (N/mm ²)
p_n	Theoretischer elastischer Beuldruck des versteiften Zylinders	MPa (N/mm ²)
p_m	Theoretischer elastischer Beuldruck bei Versagen eines exakt zylindrischen Rohrs	MPa (N/mm ²)

(fortgesetzt)

Tabelle 9.2.1-1 (fortgesetzt)

Symbol	Erläuterung	Einheit
p_r	Berechneter unterer Versagensdruck	MPa (N/mm ²)
p_y	Druck, bei dem die mittlere Umfangsspannung eines zylindrischen Rohrs am Mittelpunkt zwischen den Versteifungen die Fließgrenze des Werkstoffs erreicht	MPa (N/mm ²)
p_{ys}	Druck, der Fließen in Umfangsrichtung verursacht	MPa (N/mm ²)
r_i	Radius des dem Rohr nächstliegenden Punkts des Versteifungsstegs, der bei der Berechnung der Auslenkung der Versteifung als Drehpunkt angenommen wird (siehe Bild 9.3.4-1)	mm
R_i	Radius: siehe Bild 9.3.4-1	mm
b	Am Rohr anliegende Breite der Versteifung	mm
w_f	Überstandbreite des Versteifungsflansches	mm
ε	Mittlere elastische Dehnung in Umfangsrichtung bei Versagen	-
λ	Parameter für Versteifungen	-
σ_s	Maximale Spannung in schweren Versteifungen	MPa (N/mm ²)
σ_i	Beulspannung, bei der seitliche Auslenkung von Versteifungen auftritt	MPa (N/mm ²)
α	Neigungswinkel der Kegelschale zur Achse	°

9.2.2 Elastizitätsgrenzen

Die Elastizitätsgrenzen sind durch folgende Gleichungen gegeben:

- bei nichtaustenitischen Stählen:

$$S = R_{p0,2} t \quad (9.2.2-1)$$

$$S_S = R_{p0,2 S} t \quad (9.2.2-2)$$

- bei austenitischen Stählen:

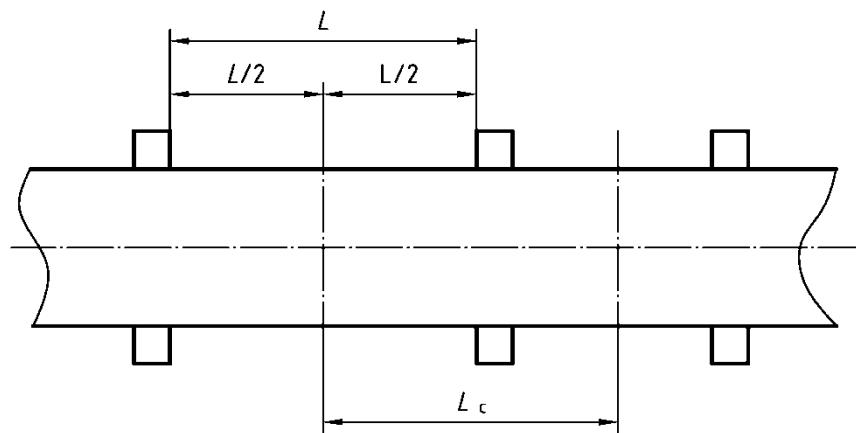
$$S = \frac{R_{p0,2} t}{1,25} \quad (9.2.2-3)$$

$$S_S = \frac{R_{p0,2 S} t}{1,25} \quad (9.2.2-4)$$

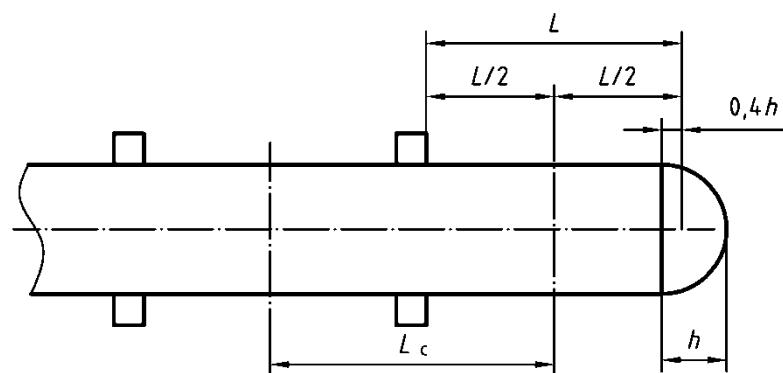
9.3 Zylindrische Rohre, Rohrbiegungen und Rohrbögen

9.3.1 Ermittlung der Längen

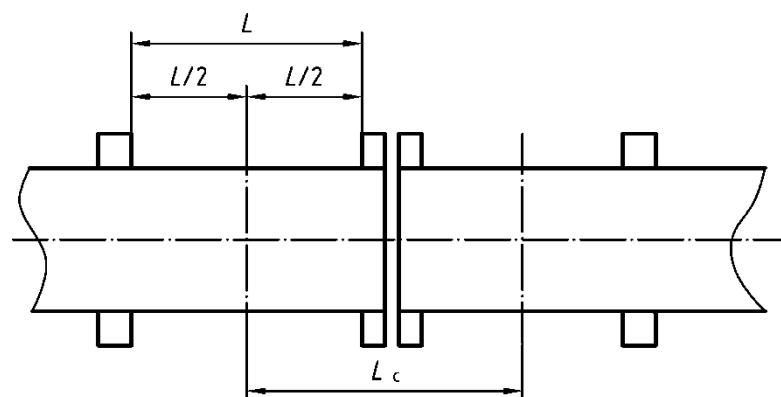
Die Längen L und L_c sind aus Bild 9.3.1-1 zu ermitteln.



a)



b)

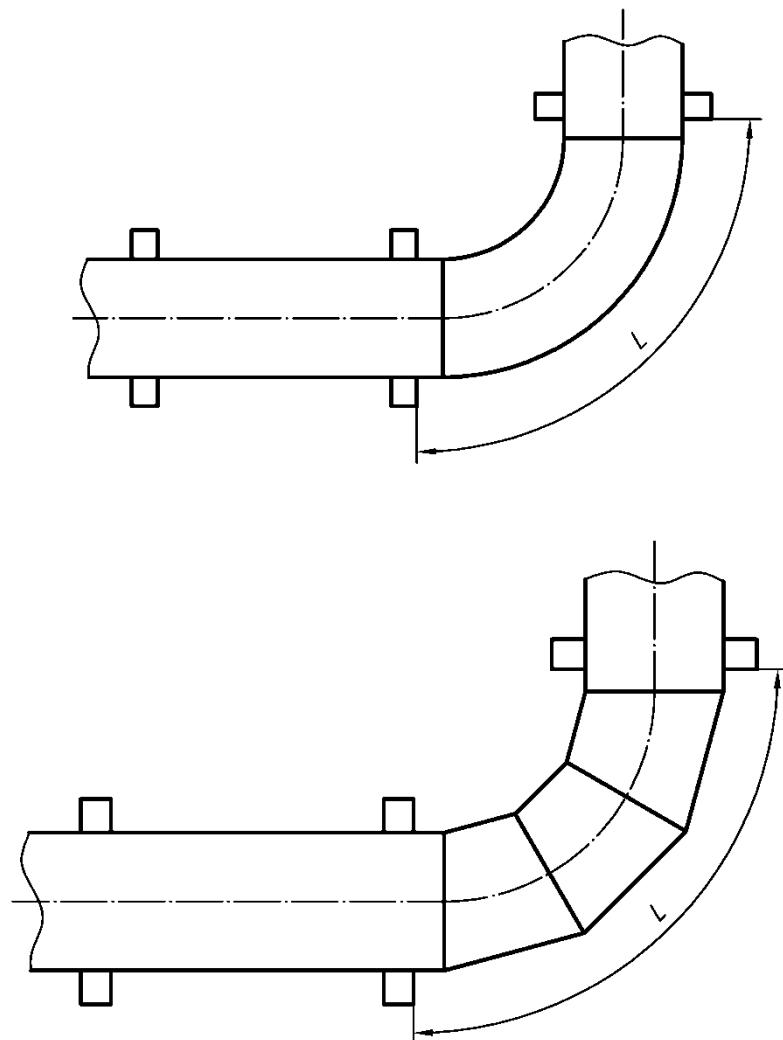


c)

Legende

- a) Einzelrohr
- b) Rohr mit Boden
- c) Rohre mit Flanschverbindung

Bild 9.3.1-1 — Ermittlung der Längen bei Zylinderrohren (fortgesetzt)



Legende

- d) Rohr mit Rohrbiegung oder Rohrbogen
 - e) Rohre mit Segmentbiegungen
- ANMERKUNG L gemessen an der Bogenaußenseite

Bild 9.3.1-1 — Ermittlung der Längen bei Zylinderrohren

9.3.2 Versagen zwischen Versteifungen

Die Wanddicke des Rohrs über die unversteifte Länge L muss mindestens dem nach dem folgenden Verfahren ermittelten Wert entsprechen.

- a) Für e_a ist ein Wert zu schätzen, und p_y ist wie folgt zu berechnen:

$$p_y = \frac{S e_a}{R_m} \quad (9.3.2-1)$$

- b) Der Wert für p_m ist unter Einsetzen des bei der Berechnung von p_y verwendeten Wertes für e_a zu berechnen:

$$p_m = \frac{E_t e_a \varepsilon}{R_m} \quad (9.3.2-2)$$

Dabei wird ε nach folgender Gleichung berechnet:

$$\varepsilon = \frac{1}{n_{cyl}^2 - 1 + \frac{Z^2}{2}} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{n_{cyl}^2}{Z^2} + 1 \right)^2} + \frac{e_a^2}{12R_m^2(1-\nu^2)} (n_{cyl}^2 - 1 + Z^2)^2 \right\} \quad (9.3.2-3)$$

Dabei ist

n_{cyl} ganzzahlig ≥ 2 , um einen möglichst kleinen Wert von p_m zu erhalten;

$$Z = \frac{\pi R_m}{L} \quad (9.3.2-4)$$

L nach 9.3.1 zu ermitteln.

- c) Das Verhältnis p_m/p_y ist zu berechnen, und das Verhältnis p_r/p_y ist Tabelle 9.3.2-1 zu entnehmen.

Tabelle 9.3.2-1 — Gerade Zylinderrohre und Reduzierstücke (Umfangsspannung ist bestimmender Parameter)

p_m/p_y	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75
p_r/p_y	0	0,1245	0,2505	0,375	0,4995	0,6045	0,6795	0,72
p_m/p_y	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	
p_r/p_y	0,7545	0,78	0,8025	0,822	0,8355	0,849	0,861	
p_m/p_y	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	
p_r/p_y	0,87	0,879	0,8865	0,8955	0,9045	0,9135	0,9165	
p_m/p_y	5,5	5,75	6,0	6,25	6,5	6,75	7,0 und darüber	
p_r/p_y	0,9225	0,9285	0,9345	0,9405	0,9465	0,9525	0,9585	

- d) Der Wert von p_r ist aus p_r/p_y und p_y zu berechnen, er muss folgende Bedingung erfüllen:

$$p_r \geq k p \quad (9.3.2-5)$$

Dabei ist

$$k = 1,5$$

ausgenommen:

- spezifische Anwendungen, für die k mit Zustimmung aller beteiligten Parteien erhöht werden kann;
- Stahlguss; hierfür gilt: $k = 1,5 \times 1,25$.

Ist der Wert von p_r kleiner als $k p$, so muss der für e_a angenommene Wert erhöht oder der Abstand der Versteifungen verändert werden, bis der geforderte Wert erreicht ist.

9.3.3 Gesamtversagen von versteiften Rohren

Folgende Berechnungen sind anzustellen:

- a) Der Wert von p_n ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$p_n = \frac{3}{R_m^3 L_c} E_t I_c \quad (9.3.3-1)$$

Der Wert von p_n muss die folgende Bedingung erfüllen:

$$p_n \geq k k_s p \quad (9.3.3-2)$$

Dabei ist

$k_s = 1,2$ für vorgefertigte oder warmgeformte Versteifungen (geringe Eigenspannungen)

$k_s = 1,33$ für kaltumgeformte Versteifungen (hohe Eigenspannungen).

Ist p_n kleiner als $k k_s p$, so sind entweder zusätzliche oder schwerere Versteifungen zu verwenden oder die Rohrwanddicke muss erhöht werden.

- b) Der Wert von p_{ys} ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$p_{ys} = \frac{S_s e_a R_f}{R_m^2 \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)} \quad (9.3.3-3)$$

- c) Die maximale Spannung in der Versteifung ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$\sigma_s = \frac{k k_s S_s p}{p_{ys}} + \frac{E_t \delta (n^2 - 1) 0,005 k k_s p}{R_m (p_n - k k_s p)} \quad (9.3.3-4)$$

Dabei ist

$$n = 2;$$

$$\delta = \max\{\lambda(R_m - R_f) - X_c + e_a / 2; X_c\} \quad (9.3.3-5)$$

$$X_c = \frac{\left(\left(\frac{e_a^2}{2} \right) L_c + A_s \left[\frac{e_a}{2} + \lambda(R_m - R_s) \right] \right)}{A_e} \quad (9.3.3-6)$$

$\lambda = 1$ für innere Versteifungen;

$\lambda = -1$ für äußere Versteifungen.

Die Spannung σ_s muss die folgende Bedingung erfüllen:

$$0 \leq \sigma_s \leq S_s \quad (9.3.3-7)$$

Wird Gleichung (9.3.3-7) nicht erfüllt, so sind entweder zusätzliche oder schwerere Versteifungen zu verwenden oder die Rohrwanddicke muss erhöht werden.

9.3.4 Stabilität von Versteifungen

Die folgenden Berechnungen sind durchzuführen, um Stabilität gegen seitliche Auslenkung sicherzustellen:

a) Versteifungen mit nicht rechteckigem Querschnitt gilt:

1) die Spannung σ_i muss die folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_i = E_t C \frac{p_{ys}}{p} > S_s \quad (9.3.4-1)$$

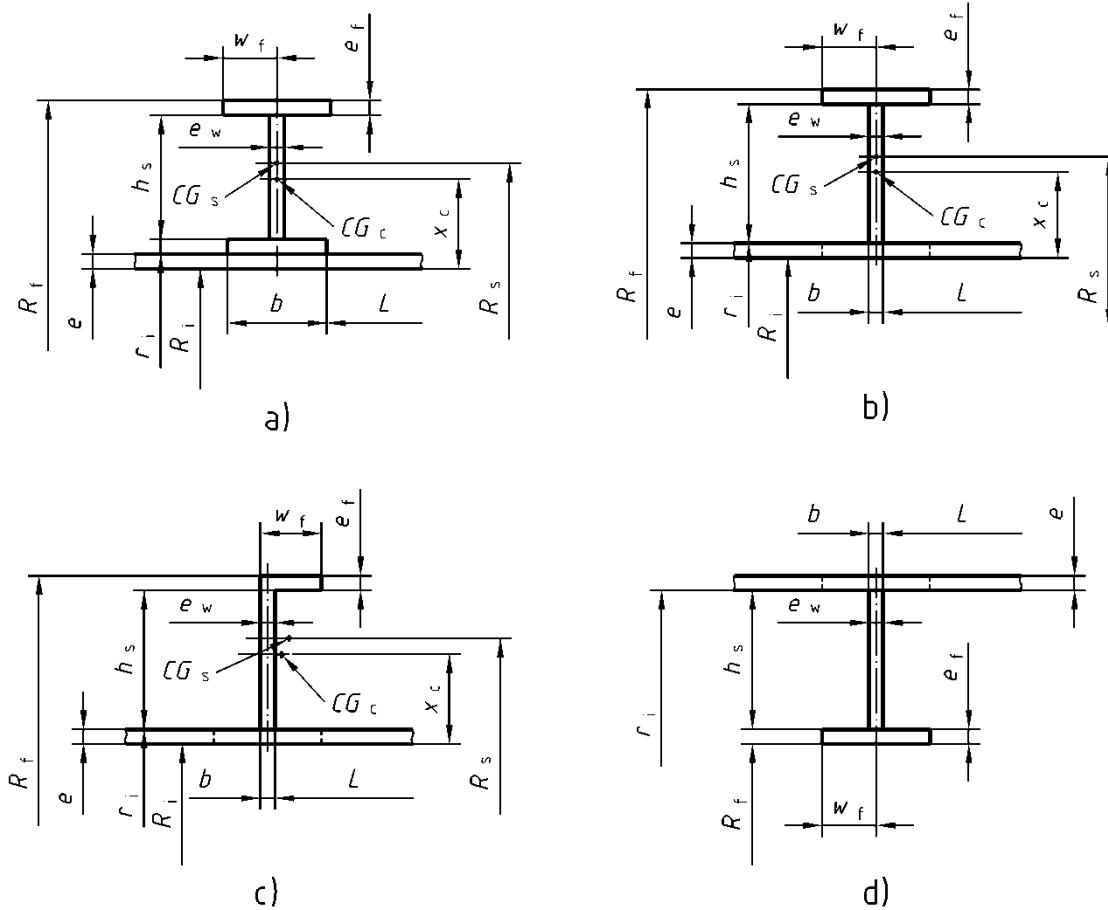
Dabei wird der Wert von C wie folgt berechnet:

— für Versteifungen nach den Bildern 9.3.4-1 a), b) und d):

$$C = \frac{h_s e_w^3 + 8 e_f w_f^3}{r_i [6 h_s^2 e_w + 12 e_f w_f (2 h_s + e_f)]} \quad (9.3.4-2)$$

— für Versteifungen nach Bild 9.3.4-1 c):

$$C = \frac{e_f w_f^3}{r_i [6 h_s^2 e_w + 6 e_f w_f (2 h_s + e_f)]} \cdot \left[\frac{4 h_s \cdot e_w + 3 e_f \cdot w_f}{h_s \cdot e_w + 3 e_f \cdot w_f} \right] \quad (9.3.4-3)$$



Legende

a) Äußere I-Profil-Versteifung
c) Äußere L-Profil-Versteifung

b) Äußere T-Profil-Versteifung
d) Innere T-Profil-Versteifung

CG_s — Flächenschwerpunkt der Versteifung

CG_c — Flächenschwerpunkt von Versteifung plus wirksamer Rohrlänge, l_{ps} , die durch die folgende Gleichung gegeben ist:

$$l_{ps} = 1,56 \sqrt{R_i e} \quad (9.3.4-4)$$

Bild 9.3.4-1 — Versteifungen mit nicht rechteckigem Querschnitt

- 2) Ist die Versteifung an der vom Rohr abgewandten Kante angeflanscht, so müssen die Abmessungen der Versteifung die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{h_s}{e_w} \leq \max \left(1,1 \sqrt{\frac{E_t}{S_s}}, 0,67 \sqrt{\frac{E_t p_{ys}}{S_s p}} \right) \quad (9.3.4-5)$$

oder

$$\frac{w_f}{e_f} \leq \max \left(0,51 \sqrt{\frac{E_t}{S_s}}; 0,32 \sqrt{\frac{E_t p_{ys}}{S_s p}} \right) \quad (9.3.4-6)$$

- b) Bei Versteifungen mit rechteckigem Querschnitt muss die Spannung σ_i die folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_i > \frac{4 p S_s}{p_{ys}} \quad (9.3.4-7)$$

wobei σ_i aus den in Tabelle 9.3.4-1 für innere Versteifungen bzw. in Tabelle 9.3.4-2 für äußere Versteifungen angegebenen Werten zu berechnen ist.

Tabelle 9.3.4-1 — Werte für $(\sigma_i/E_t) (h_s/e_w)^2$ für innere Versteifungen mit rechteckigem Querschnitt

h_s / R_m	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
n_{cyl}											
2	0,0119	0,0236	0,0466	0,0691	0,0913	0,114	0,135	0,157	0,180	0,202	0,225
3	0,0239	0,0461	0,0865	0,123	0,156	0,187	0,217	0,247	0,276	0,305	0,334
4	0,0395	0,0764	0,130	0,176	0,216	0,252	0,286	0,319	0,353	0,386	0,421
5	0,0577	0,103	0,171	0,223	0,266	0,304	0,341	0,378	0,416	0,456	0,498
6	0,0778	0,132	0,208	0,262	0,306	0,347	0,387	0,428	0,472	0,517	0,570
7	0,0981	0,160	0,240	0,294	0,340	0,382	0,427	0,474	0,527	0,580	0,643
8	0,119	0,186	0,268	0,322	0,369	0,415	0,465	0,517	0,580	0,647	0,725
9	0,139	0,210	0,290	0,345	0,394	0,445	0,502	0,565	0,638	0,720	0,812
10	0,158	0,231	0,310	0,365	0,417	0,474	0,536	0,614	0,696	0,792	0,903
11	0,176	0,249	0,328	0,383	0,440	0,502	0,575	0,662	0,758	0,874	1,010
12	0,193	0,266	0,343	0,400	0,461	0,531	0,614	0,715	0,831	0,966	1,121
13	0,209	0,280	0,356	0,416	0,483	0,560	0,657	0,768	0,903	1,058	
14	0,224	0,293	0,368	0,431	0,502	0,594	0,700	0,831	0,981		
15	0,237	0,304	0,379	0,446	0,527	0,628	0,749	0,894	1,068		
16	0,249	0,314	0,389	0,461	0,551	0,662	0,797	0,961			
17	0,260	0,324	0,399	0,476	0,575	0,696	0,850	1,034			
18	0,270	0,332	0,409	0,493	0,599	0,734	0,903	1,106			
19	0,279	0,339	0,418	0,507	0,623	0,773	0,961				
20	0,287	0,346	0,427	0,522	0,652	0,816	1,019				

ANMERKUNG 1 Zwischenwerte für h_s / R_m sind logarithmisch zu interpolieren.

ANMERKUNG 2 Da der Wert für $(\sigma_i/E_t) (h_s/e_w)^2$ auf maximal 1,14 begrenzt ist, sollte auch nicht über diesen Wert hinaus extrapoliert werden.

Tabelle 9.3.4-2 — Werte für $(\sigma_i/E_t) (h_s/e_w)^2$ für äußere Versteifungen mit rechteckigem Querschnitt

h_s / R_m	0,01	0,011	0,012	0,015	0,02	0,025	0,03	0,04	0,045
n_{cyl}									
2	0,012	0,0132	0,0144	0,0180	0,0241	0,0303	0,0366	0,0492	0,0557
3	0,0257	0,0284	0,0311	0,0374	0,0537	0,0687	0,0846	0,119	0,138
4	0,0466	0,0517	0,0570	0,0734	0,103	0,137	0,175	0,268	0,326
5	0,0768	0,0860	0,0955	0,126	0,187	0,263	0,361	0,679	0,965
6	0,120	0,136	0,153	0,211	0,340	0,537	0,881	1,44 ^a	
7	0,183	0,211	0,242	0,356	0,677	1,48 ^a			
8	0,279	0,331	0,390	0,648	1,92 ^a				
9	0,438	0,541	0,676	1,49 ^a					
10	0,736	0,998	1,420 ^a						
11	1,490 ^a								
h_s / R_m	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
n_{cyl}									
2	0,0622	0,0755	0,103	0,133	0,164	0,198	0,236	0,277	0,324
3	0,157	0,201	0,310	0,462	0,695	1,10	1,99 ^a		
4	0,395	0,581	1,44 ^a						
5	1,46 ^a								

^a Diese Werte sind nur angegeben, damit Zwischenwerte interpoliert werden können.

ANMERKUNG 1	Zwischenwerte für h_s / R_m sind logarithmisch zu interpolieren.
ANMERKUNG 2	Da der Wert für $(\sigma_i/E_t) (h_s/e_w)^2$ auf maximal 1,14 begrenzt ist, sollte auch nicht über diesen Wert hinaus extrapoliert werden.
ANMERKUNG 3	Beulen kann bei $n > 10$ und $h_s / R_m > 0,01$ unter Außendruck nicht auftreten.

9.3.5 Heiz- oder Kühlkanäle

Dieser Abschnitt enthält Regeln zur Berechnung der Wanddicke von Zylinderrohren mit umlaufenden Heiz- oder Kühlkanälen.

ANMERKUNG Diese Kanäle werden auch als Halbrohr-Heizkanäle bezeichnet. Auf Bild 9.3.5-1 sind typische Konstruktionsformen dargestellt.

Das Rohr ist unter Anwendung der Regeln in 9.3.3 so zu konstruieren, dass einem Gesamtversagen entgegengewirkt wird. Der Druck in den Kanälen ist zu vernachlässigen, und die Kanäle können als Versteifungen betrachtet werden.

Das Rohr ist auch auf Festigkeit gegen die Differenz zwischen dem Druck im Heiz- bzw. Kühlkanal und dem Rohrinnendruck auszulegen; d. h. dass der Berechnungsdruck nach 9.3.2 zu überprüfen ist. Zusätzlich gilt, dass die Mindestwanddicke folgende Bedingung erfüllen muss:

$$e \geq l \sqrt{\frac{p}{3 S k}} \quad (9.3.5-1)$$

Dabei ist

$$l = \max(l_1; l_2); \quad (9.3.5-2)$$

p der maximale Innendruck.

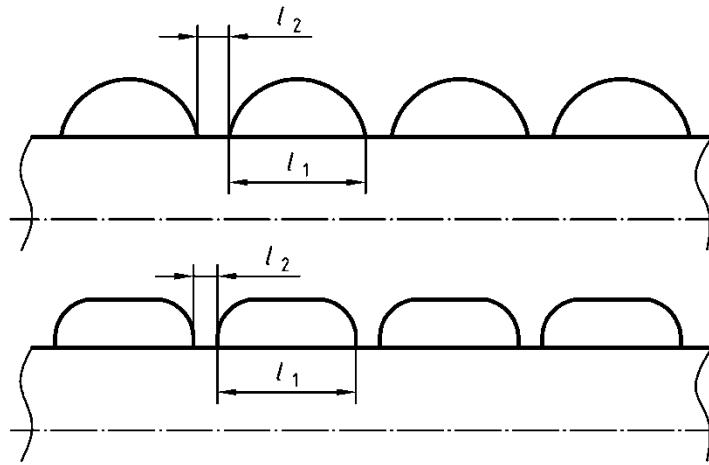


Bild 9.3.5-1 — Als Versteifung wirkende Heiz-/Kühlkanäle

Darüber hinaus ist das Rohr auch auf Festigkeit gegen die Druckdifferenz zwischen der äußeren Umgebung der Halbrohre und dem Rohrinneren auszulegen.

9.4 Reduzierstücke (kegelförmige Rohre)

9.4.1 Kegelförmige Rohre sind nach 9.4.3 zu konstruieren, wobei die Kegel/Zylinder-Verbindung als wirksame Versteifung nach 9.4.2 betrachtet werden kann und nach 9.4.4, sofern die Anforderungen von 9.4.2 an die Kegel/Zylinder-Verbindung nicht erfüllt werden.

9.4.2 Die Kegel/Zylinder-Verbindung ist als wirksame Versteifung anzusehen, wenn das parallel zur Zylinderachse angenommene Trägheitsmoment, I_x , des Kegel- oder Zylinderabschnittes über eine Länge von $\sqrt{D_{\text{eq}} e}$ beiderseits der Verbindung (siehe Bild 9.4.3-1) mindestens den folgenden Wert hat:

$$I_x = 0,18 D_{\text{eq}} L D_s^2 \frac{p_c}{E_t} \quad (9.4.2-1)$$

Dabei ist

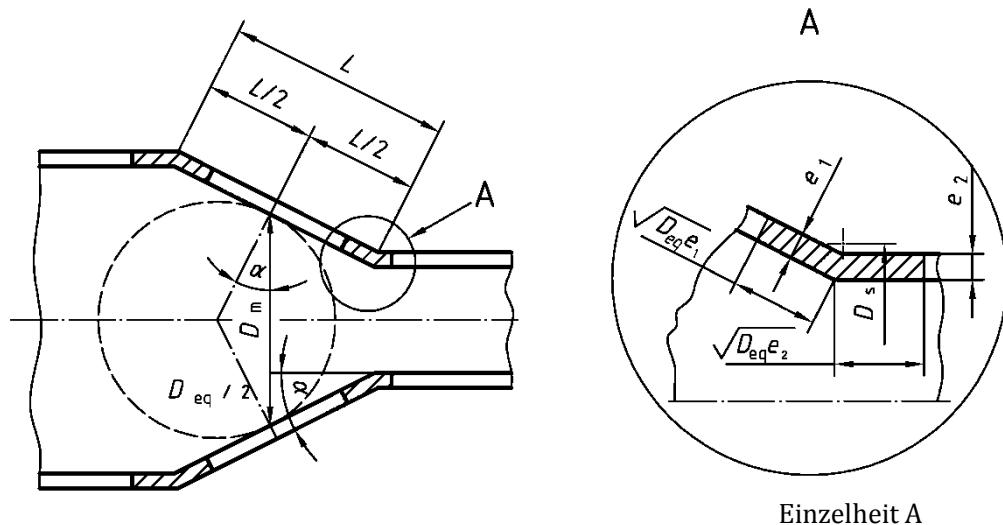
D_s der Durchmesser des Flächenschwerpunkts der Versteifungsquerschnittsfläche.

9.4.3 Die Auslegung von kegelförmigen Abschnitten mit als Versteifung wirksamen Kegel/Zylinder-Verbindungen erfolgt nach dem Verfahren für Zylinderschalen (siehe 9.3); dabei gilt:

- L ist die Länge des kegelförmigen Abschnitts (siehe Bild 9.4.3-1);
- D_{eq} ist der äquivalente Durchmesser, der wie folgt berechnet wird:

$$D_{eq} = \frac{D_m}{\cos \alpha} \quad (9.4.3-1)$$

Die Auslegung dieser äquivalenten Zylinderschale muss nach 9.3 erfolgen.



Einzelheit A

Bild 9.4.3-1 — Kegelförmiger Abschnitt mit als Verstärkung wirksamer Kegel/Zylinder-Verbindung

9.4.4 Für kegelförmige Rohre mit nicht als Versteifung wirksamer Kegel/Zylinder-Verbindung sind die folgenden Werte in der Berechnung des äquivalenten zylindrischen Rohres ins 9.3 zu verwenden:

- L ist die axiale Länge zwischen wirksamen Versteifungen (siehe Bild 9.4.4-1);
- D_o ist der Außendurchmesser des Zylinders an der großen Kegelgrundfläche (siehe Bild 9.4.4-1).

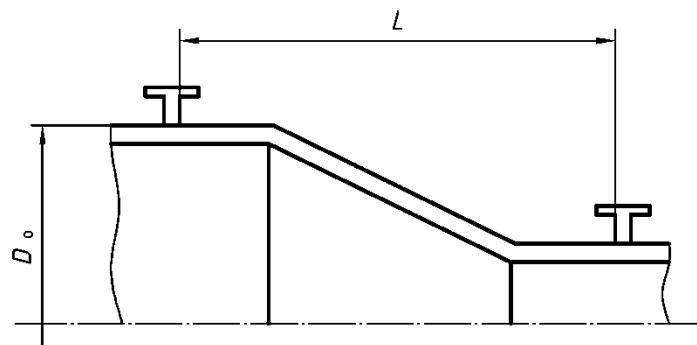


Bild 9.4.4-1 — Kegelförmiger Abschnitt mit nicht als Verstärkung wirksamer Kegel/Zylinder-Verbindung

9.5 Gewölbte Böden

9.5.1 Halbkugelförmige Böden

9.5.1.1 Auslegungsverfahren

Die Auslegungswanddicke darf nicht geringer sein, als der nach dem folgenden Verfahren berechnete Wert.

- a) Für e ist ein Wert zu wählen, und p_y ist wie folgt zu berechnen:

$$p_y = \frac{2 S e}{R_m} \quad (9.5.1-1)$$

- b) Der Wert für p_m ist unter Einsetzen des bei der Berechnung von p_y verwendeten Wertes für e zu berechnen:

$$p_m = \frac{1,21 E_t e^2}{R_m^2} \quad (9.5.1-2)$$

- c) Das Verhältnis p_m/p_y ist zu berechnen, und p_r/p_y ist Tabelle 9.5.1-1 zu entnehmen.

Tabelle 9.5.1-1 — Werte von p_r/p_y gegen p_m/p_y

p_m/p_y	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3,0
p_r/p_y	0	0,09	0,18	0,255	0,324	0,3855	0,435
p_m/p_y	3,5	4	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5 und darüber
p_r/p_y	0,4785	0,51	0,5325	0,5475	0,5595	0,567	0,57

- d) Der Wert von p_r ist aus p_r/p_y und p_y zu berechnen, er muss folgende Bedingung erfüllen:

$$p_r \geq k p \quad (9.5.1-3)$$

Ist der Wert von p_r kleiner $k p$, so muss der für e angenommene Wert erhöht werden.

9.5.1.2 Zulässige Formabweichungen

Das in 9.5.1.1 angegebene Verfahren gilt nur für halbkugelförmige Böden, die mit einer Toleranz von 1 % des Radius kugelförmig sind und bei denen der Krümmungsradius auf Grundlage einer Bogenlänge von $2,4 \sqrt{e R_{max}}$ den Nennwert um nicht mehr als 30 % überschreitet.

ANMERKUNG In einigen Fällen kann dieses Annahmekriterium aufgrund von Schwierigkeiten bei der Fertigung und Messung zu streng sein. In diesen Fällen ist es zulässig, den nach dem vorstehenden Verfahren ermittelten Druck p_r durch den Faktor $(R_{max}/1,3 R)^2$ zu dividieren, wobei R_{max} der entweder gemessene oder konservativ geschätzte Maximalwert des örtlichen Krümmungsradius ist.

9.5.2 Torisphärische Böden

Torisphärische Böden werden wie halbkugelförmige Böden ausgelegt, deren mittlerer Radius R gleich dem äußeren Wölbungsradius ist.

9.5.3 Elliptische Böden

Elliptische bis halbelliptische Böden werden wie halbkugelförmige Böden ausgelegt, deren mittlerer Radius R gleich dem maximalen Wölbungsradius ist, d. h. $\frac{D^2}{4h}$.

10 Auslegung für Wechselbeanspruchung

10.1 Allgemeines

Wechselbeanspruchung durch Änderungen von Druck, Temperatur und äußeren Lasten kann bereits bei Belastungswerten, die unter den Auslegungsbedingungen für statische Belastung liegen, Schäden durch Ermüdungsrisse verursachen.

Wenn die in 10.2, 10.3 und 10.4 angegebenen Bedingungen nicht erfüllt werden, ist zusätzlich zur Auslegung für statische Belastung eine eingehende Ermüdungsanalyse nach 12.4 durchzuführen.

Bei der Analyse sind Größe und Häufigkeit aller festgelegten Wechselbeanspruchungen zu berücksichtigen, und es ist sicherzustellen, dass für jede Belastung die zulässige Lastspielzahl, N_p , der Rohrleitung höher ist als die erwartete Lastspielzahl, n_p , und der Erschöpfungsgrad den Wert 1 nicht übersteigt.

$$\sum_{i=1}^m n_i / N_i \leq 1 \quad (10.1-1)$$

Dabei ist m die Anzahl der zyklischen Belastungsfälle.

In den Ermüdberechnungen sind die zyklischen Schwankungen über das Spektrum der normalen Betriebsbedingungen, einschließlich erwarteter Überschreitungen, zu berücksichtigen. In die Bewertungen gehen die tatsächlichen Bauteilwanddicken und Werkstoffeigenschaften bei den zu betrachtenden Temperaturen ein.

ANMERKUNG Oberflächengüte und das Vorhandensein von Schweißnähten beeinflussen das Ermüdbenhalten und sollten bei der Bewertung berücksichtigt werden. Besteht ein erhebliches Versagensrisiko, so ist die Auslegung mit dem Ziel zu überprüfen, das Versagensrisiko durch konstruktive Änderungen zur Reduzierung der Spitzenspannungen, Glätten der Übergänge, insbesondere an Schweißnähten, und Verwendung weniger anfälliger Werkstoffe zu vermindern.

10.2 Ausnahmen von einer Ermüdungsanalyse

Eine detaillierte Ermüdungsanalyse (siehe 12.4) ist nicht gefordert, wenn eine der nachstehenden Bedingungen erfüllt ist:

- Die Auslegung des Systems entspricht nachweislich der eines Systems, für das Analyse und Abnahme bereits vorliegen.
- Die Auslegung des Systems gleicht der eines in Betrieb befindlichen Systems.
- Die Gesamtanzahl der Lastzyklen aus allen Quellen beträgt weniger als 1 000.
- Die berechnete maximale Hauptspannungsschwingbreite beträgt für Kohlenstoff- und austenitische Stähle weniger als 47 N/mm². Bei der Betrachtung von Kehlnähten gilt ein reduzierter Wert von 35 N/mm².

- e) Die nachstehenden Bedingungen werden sämtlich und gleichzeitig erfüllt:
- 1) die in 10.3.1 definierte äquivalente Anzahl der Druckzyklen über die gesamte Schwingbreite ist nicht höher als 1 000;
 - 2) die mechanische Beanspruchung an Abzweigen ist derart, dass die maximale Gesamtspannungsschwingbreite durch mechanische Lasten, einschließlich Spannungskonzentrationsfaktoren, bei Berechnungstemperatur 1/3 der Auslegungsspannung f (einschließlich Faktoren der Spannungsschwingbreite) nicht überschreitet;
 - 3) die Wanddicke beträgt maximal 125 mm bei ferritischen und 60 mm bei austenitischen Stählen, und die Anzahl der äquivalenten vollen Temperaturzyklen beträgt weniger als 7 000, siehe Gleichung (12.1.3-5).

10.3 Auslegung für Wechselbeanspruchung durch Druckschwankungen

10.3.1 Anzahl äquivalenter Volllastspiele

Nach Abschnitt 10.2 e) 1) ist eine Ausnahme von der Analyse in den Fällen zulässig, in denen die Anzahl der Druckzyklen über die volle Schwingbreite 1 000 nicht überschreitet. Für Druckschwankungen mit kleinerer Schwingbreite lässt sich die äquivalente Anzahl von Druckzyklen über die volle Schwingbreite aus der nachstehenden Gleichung ermitteln:

$$N_{\text{eq}} = N_f + \sum_{i=1}^n \{((\hat{p}_i - \bar{p}_i) / p_c)^{3,5} N_i\} \quad (10.3.1-1)$$

Dabei ist

N_{eq} die Anzahl äquivalenter Druckzyklen über die volle Schwingbreite;

n die Anzahl der verschiedenen Druck-Schwingbreiten ($\hat{p}_i - \bar{p}_i$);

N_f die Anzahl der Druckzyklen mit der Schwingbreite ($\hat{p} - \bar{p}$) = p_c (siehe 10.3.2.2);

N_i die Anzahl der unterschiedlichen Druckzyklen mit der Schwingbreite ($\hat{p}_i - \bar{p}_i$) kleiner p_c ;

p_c der Berechnungsdruck (volle Schwingbreite).

In der Gleichung (10.3.1-1) darf p_c für die Analyse jeder einzelnen Komponente durch P_{\max} ersetzt werden.

Die Auslegung von Rohrleitungen gilt als ausreichend, wenn die äquivalente Anzahl der Druckzyklen über die volle Schwingbreite kleiner als 1 000 ist.

10.3.2 Vereinfachte Auslegung für Wechselbeanspruchung

10.3.2.1 Allgemeines

Die vereinfachte Auslegung für Wechselbeanspruchung ist zulässig, wenn die zu berechnende Wechselbeanspruchung ausschließlich auf Druckschwankungen beruht.

Bei der Berechnung werden die Auslegungskriterien für statische Beanspruchung verwendet und die jeweiligen Spannungsspitzen der Ermüdung durch Anwendung des Spannungskonzentrationsfaktors η für eine Vielzahl typischer Konstruktionsformen berücksichtigt. Dieses Verfahren führt zu Näherungswerten; weniger konservative Werte der Abmessungen werden durch eine eingehendere Analyse nach 12.4 erreicht.

Diese Regeln gelten für drucktragende Teile von Rohrleitungen aus ferritischen und austenitischen Walz- und Schmiedestählen, die nach EN 13480-2 und EN 13480-4 gefertigt und geprüft sind.

Die Berechnung gilt nur für Bauteile, die auf Grundlage zeitunabhängiger Festigkeitskennwerte bemessen sind und bei denen die Wechselbeanspruchung ausschließlich in Form von Druckschwankungen auftritt.

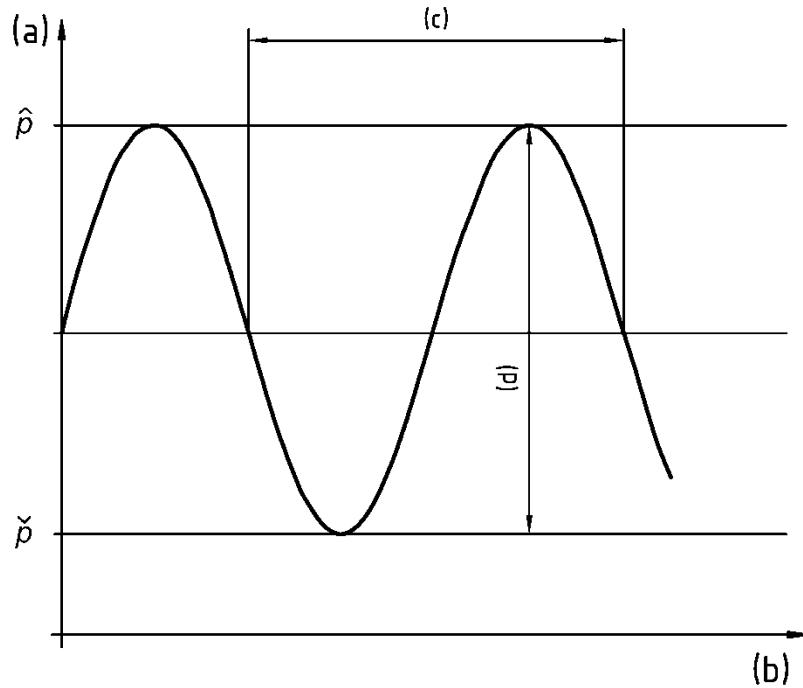
ANMERKUNG 1 Der Begriff „Wechselbeanspruchung“ steht für die Änderung einer Last über die Zeit, unabhängig von Größe und Vorzeichen ihres Mittelwerts.

Zusätzliche Wechselbeanspruchungen, z. B. durch rasche Temperaturänderungen während des Betriebs oder durch äußere Kräfte und Momente, werden im Rahmen einer eingehenden Ermüdungsanalyse (siehe 12.4) bewertet.

Diese Regeln gelten nur, wenn keine Einflüsse des Fluids vorhanden sind, die die Ermüdungslife vermindern (siehe 10.3.2.8).

ANMERKUNG 2 10.3.2 findet keine Anwendung, wenn die dem Betriebsdruck überlagerten Druckschwankungen 10 % des zulässigen Betriebsdrucks nicht überschreiten.

Überschreitet die Anzahl der im Betrieb erwarteten Druckschwankungen die nach 10.3.2 berechnete zulässige Lastspielzahl, so ist entweder die Konstruktion zu ändern oder eine eingehende Ermüdungsanalyse durchzuführen. Das Kriterium für das Versagen durch Wechselbeanspruchung ist der technische Anriß, bei dem es sich um eine rissartige Werkstofftrennung handelt, die mit optischen Hilfsmitteln oder zerstörungsfreien Prüfverfahren erkennbar ist. Ein Maß für die Wechselbeanspruchung ist die Spannungsschwingbreite (das Doppelte der Lastamplitude) resultierend aus der Wirkung der wiederholten Druckschwankungen (siehe Bild 10.3.2-1).



Legende

- (a) Druck p
- (b) Zeit
- (c) Lastzyklus
- (d) Amplitude der Druckschwankung ($\hat{p} - \check{p}$)

Bild 10.3.2-1 — Druckkurve und Lastspiel (schematische Darstellung)

Die zulässige Lastspielzahl ist mit den Ergebnissen der Bemessung und Auslegung der Rohrleitungsbauteile nach 4.6 und Abschnitt 6 in Beziehung zu setzen.

ANMERKUNG 3 Bei häufigen Lastzyklen mit beträchtlicher Wechselbeanspruchung erweist sich die eingehende Ermüdungsanalyse häufig als zweckmäßiger. In der Regel führt dies zu höheren Anzahlen der zulässigen Lastspiele als die Berechnung nach 10.3.2.

ANMERKUNG 4 Von besonderer Bedeutung sind Schwankungen zwischen dem drucklosen Zustand und dem zulässigen Betriebsüberdruck (Anfahren und Abfahren). Diese Druckschwankungen können durch Betriebsdruckschwankungen mit geringer Amplitude oder durch in unregelmäßiger Folge schwankende Amplituden mit wechselnder Häufigkeit (Betriebslastkollektiv) überlagert sein. Ein entsprechendes Verfahren sollte angewendet werden, wenn Belastungen durch Unterdruck vorliegen.

Druckschwankungen wechselnder Schwingbreiten und Häufigkeiten sind nach der Regel der linearen Schadensakkumulation zu kombinieren (siehe 10.3.2.3).

ANMERKUNG 5 Anzahl und Größe der Druckschwankungen, denen eine Rohrleitung während ihrer voraussichtlichen Lebensdauer ohne Schäden an drucktragenden Teilen standhalten kann, sind abhängig von einer großen Anzahl verschiedener Faktoren; dazu gehören:

- die Konstruktion, z. B. die Konfiguration von Bauteilen mit dem Ziel, hohe Spannungsspitzen zu vermeiden;
- die Fertigung, z. B. Vermeidung von schädigenden Eigenspannungen und Schweißnahtfehlern;
- der Werkstoff, z. B. durch Verwendung weicher Stähle, die gewöhnlich weniger kerbempfindlich sind als härtere Stähle. Bei kerbempfindlichen Stählen sollte beachtet werden, dass die Versagenswahrscheinlichkeit größer ist, wenn Fertigungsfehler nicht bemerkt werden oder ungünstige Betriebsbedingungen herrschen. Die Festigkeit des Schweißguts sollte mindestens ebenso hoch sein wie die des Grundmetalls;
- die Oberflächenbeschaffenheit, z. B. glatte Oberflächen;
- die Wanddicke, z. B. wird die Ermüdung durch Erhöhen der Wanddicke bei gleicher Spannungsamplitude vermindert;
- die Temperatur, z. B. sinkt bei höheren Temperaturen die Fähigkeit der Werkstoffe, Wechselbeanspruchungen zu widerstehen, und damit die Lebensdauer des Bauteils.

ANMERKUNG 6 Durch im Betrieb auftretende Korrosion kann, besonders bei kerbempfindlichen Werkstoffen, die Lastspielzahl reduziert werden, der die Rohrleitung standhält. In diesen Fällen sind Maßnahmen im Betrieb und Prüfungen während des Betriebs (siehe 10.3.2.7.3) von besonderer Bedeutung. Wenn sich eine Deckschicht bildet, sollte dies bei der Bemessung und Auslegung berücksichtigt werden, damit ein Aufreißen der Deckschicht verhindert wird.

Um die zulässige Lastspielzahl für das gesamte Rohrleitungssystem zu ermitteln, müssen die Berechnungen nach 10.3.2.3 für alle in diesem Rohrleitungssystem eingesetzten Bauteilarten durchgeführt werden. Der kleinste so erzielte Wert ist zu verwenden.

10.3.2.2 Symbole

Für die Anwendung von 10.3.2 gelten zusätzlich zu den Symbolen in 3.2 die in Tabelle 10.3.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 10.3.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von 10.3.2

Symbol	Erläuterung	Einheit
F_{t^*}	Temperatureinflussfaktor	—
k	Anzahl der Intervalle unterschiedlicher Druckschwankungen, die zusammengenommen das Lastkollektiv bilden	—
$\left(\begin{smallmatrix} \wedge & \vee \\ p-p \end{smallmatrix} \right)$	Druckschwankungsbreite (das Doppelte der Amplitude)	MPa (N/mm ²)
F_d	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Wanddickeinflusses	—
N	Betriebslastspielzahl	—
N_{all}	Zulässige Lastspielzahl bei einer Druckschwankungsbreite von $\left(\begin{smallmatrix} \wedge & \vee \\ p-p \end{smallmatrix} \right)$	—
t^*	Maßgebliche Berechnungstemperatur während eines Lastzyklus	°C
$2 \sigma_a^*$	Maßgebliche pseudoelastische Spannungsamplitude	MPa (N/mm ²)
$2 \sigma_{ad}$	Maßgebliche Wechselfestigkeit	MPa (N/mm ²)
η	Spannungsfaktor	—
f_{20}	Auslegungsspannung f nach 5.2 bei 20 °C	MPa (N/mm ²)

Bedeutung der Indizes:

hochgestellt \wedge Höchstwert, z. B. \hat{p}
 hochgestellt \vee Mindestwert, z. B. \check{p}
 tiefgestellt K Zahlenindex, z. B. N_K .

10.3.2.3 Ermittlung der zulässigen Lastspielzahl

Die zulässige Lastspielzahl $2 \sigma_a^*$ ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$2\sigma_a^* = \frac{\eta}{F_d F_t^*} \frac{(\hat{p} - \check{p})}{P_{max}} f_{20} \quad (10.3.2-1)$$

Der Druck P_{max} wird als zulässiger Druck bei voller Ausnutzung der Auslegungsnennspannung f_{20} für ein Rohrleitungsbau teil aus den Gleichungen zur Berechnung der Abmessungen in den Abschnitten 6 bis 9 und 11 ermittelt, die nach p aufgelöst werden.

Der Spannungsfaktor η gibt den oberen Grenzwert der Spannungsfaktoren für eine bestimmte Bauteilgeometrie unter Bemessungsbedingungen an, die sich in der Praxis ergeben oder aus Tabelle 10.3.2-4 ausgewählt werden.

Der Einfluss der Größe des Bauteils auf die Wechselfestigkeit wird durch den Korrekturfaktor F_d berücksichtigt, der für Wanddicken $e_{ord} > 25$ mm aus der Gleichung:

$$F_d = \left(\frac{25}{e_{ord}} \right)^{0,25} \quad (10.3.2-2)$$

berechnet oder aus Bild 10.3.2-2 entnommen wird. Der Wert von F_d ist begrenzt auf $F_d = 0,64$.

Bei Schmiedestücken wird die Wanddicke als bestimmender Durchmesser nach der Wärmebehandlung aus den zugehörigen Werkstoffnormen verwendet.

Für die Berechnung wird Folgendes als maßgebliche Berechnungstemperatur während eines betrachteten Lastzyklus verwendet:

$$t^* = 0,75 \hat{t} + 0,25 \check{t} \quad (10.3.2-3)$$

Alle temperaturabhängigen Größen sind auf diese maßgebliche Temperatur t^* des betreffenden Lastzyklus zu beziehen.

Bei Lastzyklustemperaturen außerhalb des Zeitstandbereichs und bei $t^* > 100$ °C wird der Temperatureinflussfaktor F_{t^*} wie folgt berechnet:

— für ferritischen Stahl:

$$F_{t^*} = 1,03 - 1,5 \times 10^{-4} t^* - 1,5 \times 10^{-6} t^{*2} \quad (10.3.2-4)$$

— für austenitische Werkstoffe:

$$F_{t^*} = 1,043 - 4,3 \times 10^{-4} t^* \quad (10.3.2-5)$$

oder aus Bild 10.3.2-3 entnommen.

Für $t^* \leq 100$ °C gilt: $F_{t^*} = 1$.

Die zulässige Lastspielzahl, N_{all} , wird im Bereich $10^3 \leq N_{all} \leq 2 \times 10^6$ wie folgt als Funktion der in Gleichung 10.3.2-1 festgelegten Spannungssamplitude $2\sigma_a^*$ berechnet:

$$N_{all} = \left(\frac{B}{2\sigma_a^*} \right)^m \quad (10.3.2-6)$$

Dabei ist

B eine Konstante, gewählt aus Tabelle 10.3.2-2;

$m = 3$ für Schweißnähte;

$m = 3,5$ für ungeschweißte Bereiche mit gewalzter oder bearbeiteter Oberfläche.

Alternativ ist N_{all} aus Bild 10.3.2-4 zu entnehmen.

ANMERKUNG 1 Bei der Ermittlung der Werte für m wurden die Kerbwirkung von Schweißnähten und Oberflächenrauigkeit sowie die durch den Betriebsdruck verursachten Einflüsse der Eigenspannung in Schweißnähten berücksichtigt.

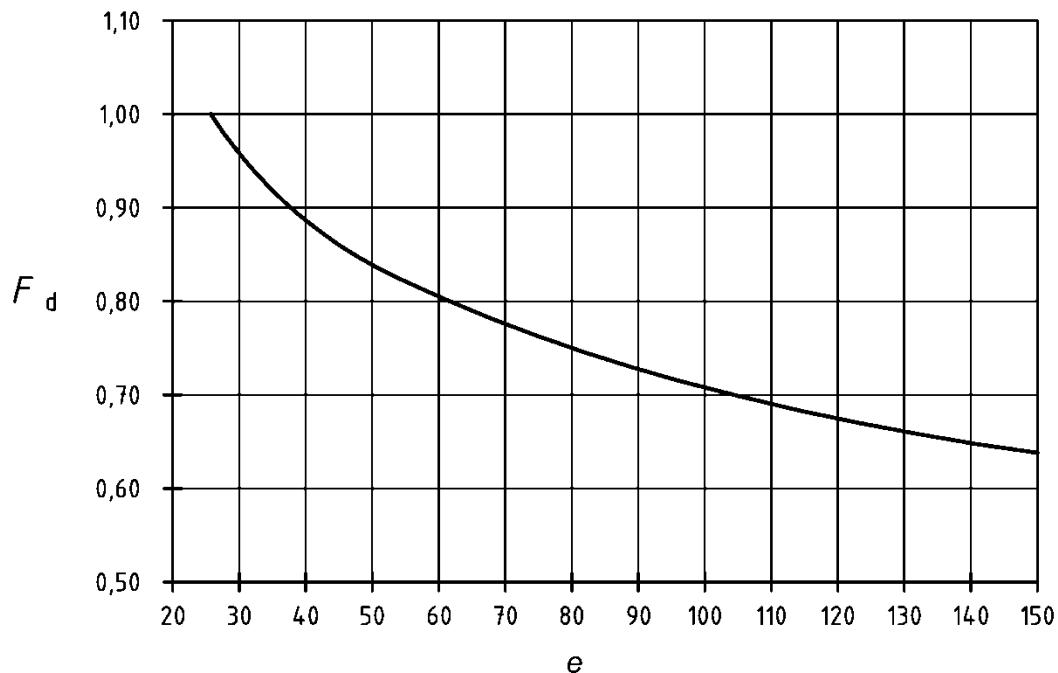
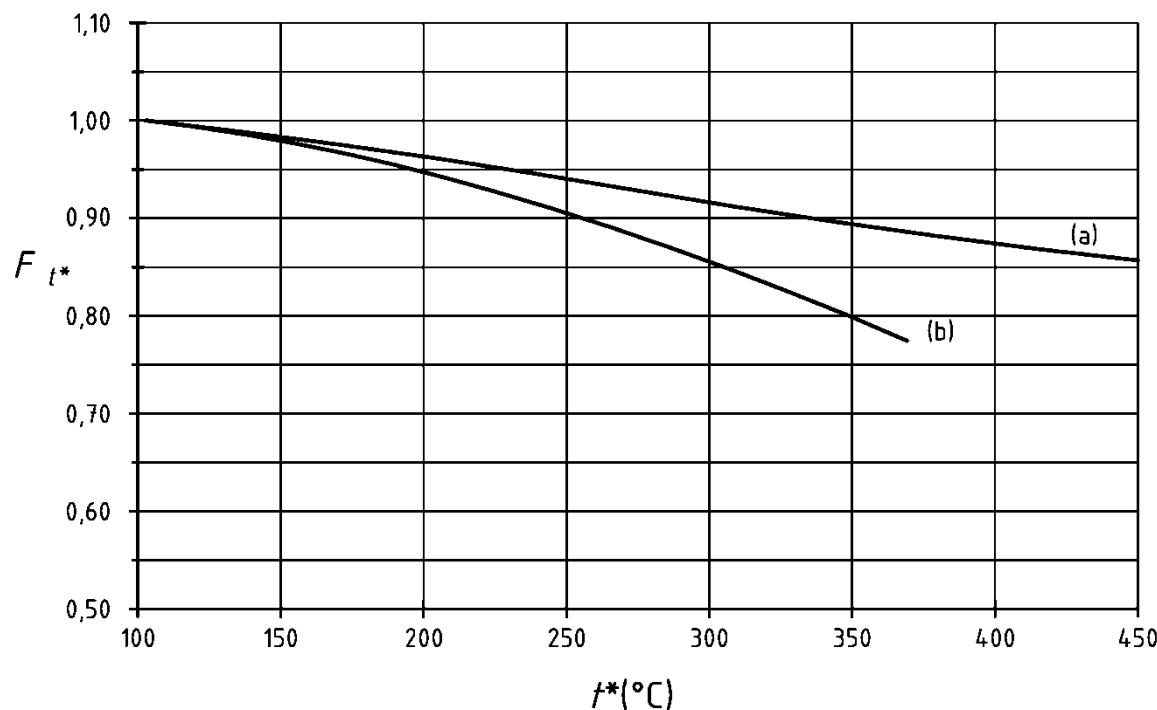


Bild 10.3.2-2 — Korrekturfaktor F_d zur Berücksichtigung des Wanddickeinflusses



Legende

(a) austenitisch

(b) ferritisch

t^* maßgebliche Berechnungstemperatur

Bild 10.3.2-3 — Korrekturfaktor F_{t^*} zur Berücksichtigung des Temperatureinflusses

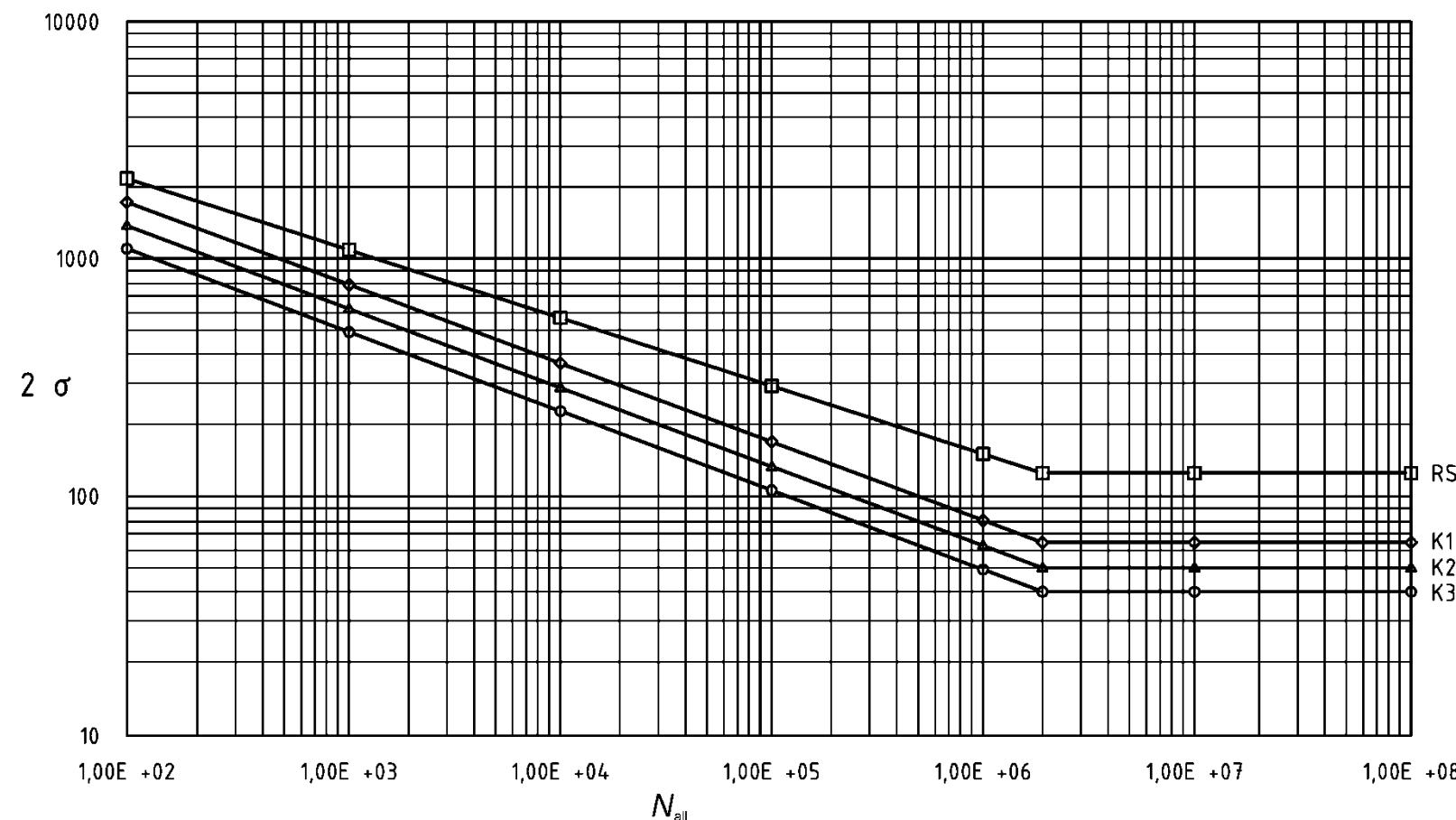


Bild 10.3.2-4 — Zulässige Lastspielzahl für Auslegungstemperaturen <100 °C und Wanddicken <25 mm

Die Werte der Konstanten B für Klasse RS (gewalzte Oberfläche) bei ungeschweißten Bauteilen und Schweißnahtklassen K1, K2, K3 sind Tabelle 10.3.2-2 zu entnehmen.

Tabelle 10.3.2-2 — Berechnungskonstante B

Klasse	B N/mm ²
RS	7 890
K1	7 940
K2	6 300
K3	5 040

Die üblicherweise für Rohrleitungen verwendeten Schweißverbindungen werden Tabelle 10.3.2-4 entsprechend nach ihrer Kerbwirkung einer der drei Klassen K1, K2 und K3 zugeordnet.

ANMERKUNG 2 Zu weiteren Anwendungen siehe EN 13445-3.

ANMERKUNG 3 Die für Klasse RS zulässige Lastspielzahl ist von den Werten für warmgewalzte Werkstoffe mit einer Rauigkeit von 200 µm und für kaltgewalzte Werkstoffe abgeleitet.

Die angenommene Wechselfestigkeit $2\sigma_{ad}$ wird mit $N = 2 \times 10^6$ angesetzt. Bei Spannungsamplituden $2\sigma_a^*$ unterhalb der Werte von $2\sigma_{ad}$ in Tabelle 10.3.2-3 kann Wechselfestigkeit angenommen werden.

Tabelle 10.3.2-3 — Grenzwerte der Wechselfestigkeit $2\sigma_{ad}$

Klasse	$2\sigma_{ad}$ N/mm ²
RS	125
K1	63
K2	50
K3	40

Bei Druckschwankungen unterschiedlicher Amplitude und Häufigkeit (Betriebslastkollektiv) ist die Ermüdungslbensdauer nach der Regel der linearen Schadensakkumulation zu ermitteln.

$$\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{N_{i \text{ all}}} = \left(\frac{N_1}{N_{1 \text{ all}}} + \frac{N_2}{N_{2 \text{ all}}} + \dots + \frac{N_k}{N_{k \text{ all}}} \right) \leq 1,0 \quad (10.3.2-7)$$

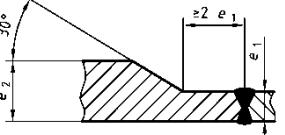
N_1, N_2, \dots, N_k sind die im Betrieb zu erwartenden Lastspielzahlen, wobei die Lastzyklen gleicher Druckschwankungsbreite $\hat{p} - \check{p}$ in jedem Falle zusammengefasst werden. Die zugehörigen zulässigen Lastspielzahlen $N_{1 \text{ all}}, N_{2 \text{ all}}, \dots, N_{k \text{ all}}$ sind für Spannungsamplituden $2\sigma_a^*$ nach Gleichung (10.3.2-1) den entsprechenden Ermüdungskurven zu entnehmen oder nach Gleichung (10.3.2-6) zu berechnen.

Sind bei einem Betriebslastkollektiv die Spannungssamplituden $2\sigma_{ad}^*$ kleiner als die in Tabelle 10.3.2-3 für $N > 2 \times 10^6$ angegebenen Werte der Wechselfestigkeit $2\sigma_{ad}$, so ist die zugehörige zulässige Lastspielzahl $N_{all} = 2 \times 10^6$ zu verwenden. Die Schadensanteile der Kollektivstufen mit einer Spannungssamplitude $2\sigma_{ad}^*$ kleiner 50 % der Werte von $2\sigma_{ad}$ können vernachlässigt werden.

10.3.2.4 Spannungsfaktoren η für verschiedene Konstruktionsformen

In Tabelle 10.3.2-4 sind Beispiele für Konstruktionsformen und Schweißverbindungen mit Angabe der zugehörigen Klassen (RS, K1, K2, K3) und dem entsprechenden Spannungsfaktor η angegeben.

Tabelle 10.3.2-4 — Spannungsfaktoren η für verschiedene Konstruktionsformen

Lfd. Nr	Darstellung	Beschreibung	Voraussetzungen	Klasse	η
1. Zylinder- und Kegelschalen					
1.1		Rundnaht bei gleichen Wanddicken	Beidseitig geschweißt	K1	1,3 ^a
1.2			Einseitig geschweißt mit Gegennaht	K1	
1.3			Einseitig geschweißt ohne Gegennaht	K2	
1.4		Rundnaht bei ungleichen Wanddicken	Beidseitig geschweißt	K1	1,5 ^{a b}
1.5				K1	
1.6				K1	
1.7		Beidseitig geschweißt, Kantenversatz innen und außen gleich		K1	

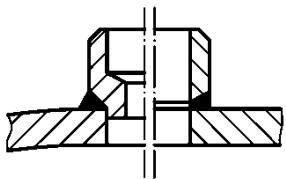
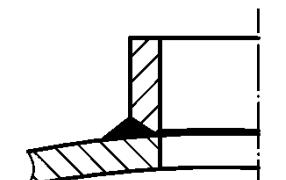
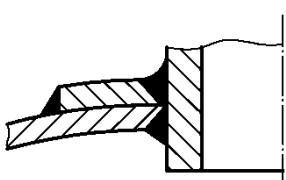
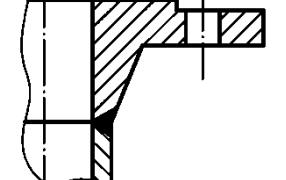
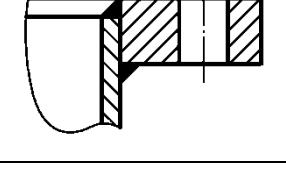
(fortgesetzt)

Tabelle 10.3.2-4 (fortgesetzt)

Lfd. Nr	Darstellung	Beschreibung	Voraussetzungen	Klasse	η
1.8		Rundnaht bei ungleichen Wanddicken	Beidseitig geschweißt, Kantenversatz innen und außen gleich	K1	1,5 ^{a b}
1.9				K1	
1.10	siehe 1.1, 1.2 und 1.3	Längsnaht bei gleichen Wanddicken	siehe lfd. Nrn. 1.1, 1.2 und 1.3	siehe 1.1, 1.2, 1.3	1,6 ^{b c}
1.11		Kegel mit Ecknaht	Beidseitig geschweißt oder einseitig geschweißt mit Gegennaht	K1	2,7
1.12			Einseitig geschweißt ohne Gegennaht	K3	
1.13		Kegel mit Krempe und Längsnaht	Nahtausführung und Klassifizierung wie bei den lfd. Nrn. 1.1 bis 1.3	-	2,0
1.14		Naht zwischen Zylinder und gewölbtem Boden mit zylindrischem Flansch	Nahtausführung und Klassifizierung wie bei den lfd. Nrn. 1.1 bis 1.9	-	1,5
1.15		Krempe bei gewölbtem Boden	Ungeschweißt	RS	2,5
2. Stutzen					
2.1		Stutzen durchgesteckt oder eingesetzt	Beidseitig durchgeschweißt oder einseitig durchgeschweißt mit Gegennaht	K1	3,0
2.2			Einseitig durchgeschweißt ohne Gegennaht	K2	
2.3		Stutzen durchgesteckt (in der Darstellung: linke Ausführung)	Beidseitig, aber nicht durchgehend verschweißt	K2	
2.4		Stutzen eingesetzt (in der Darstellung: rechte Ausführung)		K3	

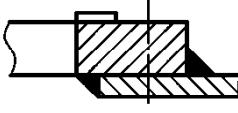
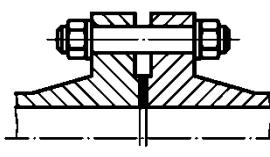
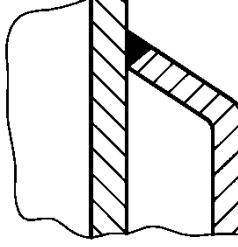
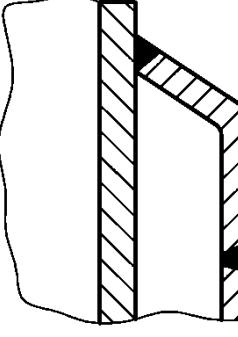
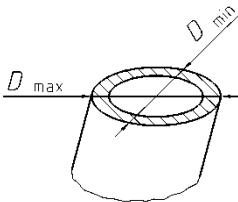
(fortgesetzt)

Tabelle 10.3.2-4 (fortgesetzt)

Lfd. Nr	Darstellung	Beschreibung	Voraussetzungen	Klasse	η
2.5		Stutzen aufgesetzt	Einseitig durchgeschweißt (ohne Restspalt), Stutzen ausgebohrt oder Wurzel überschliffen	K1	
2.6					
2.7		Stutzen mit scheibenförmiger Verstärkung; Naht am Scheibenaußendurchmesser		K3	3,0
2.8		Stutzen mit scheibenförmiger Verstärkung; Naht an Stutzeneinschweißung	Verbindung Stutzenrohr mit Grundkörper und Verstärkungsscheibe durchgeschweißt	K1	
3. Flansche					
3.1		Vorschweißflansch	Beidseitig geschweißt oder einseitig geschweißt mit Gegennaht	K1	2,0
3.2					
3.3		Aufschweißflansch	Kehlnaht mit einer Nahtdicke von mindestens 5 mm	K2	3,0

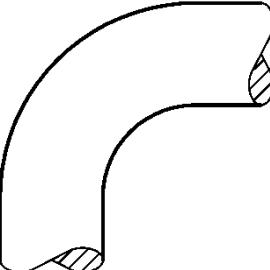
(fortgesetzt)

Tabelle 10.3.2-4 (fortgesetzt)

Lfd. Nr	Darstellung	Beschreibung	Voraussetzungen	Klasse	η
3.4		Eingesetzter Blockflansch, Naht am Innendurchmesser (in der Darstellung: linke Naht)		K3	4,0
		Eingesetzter Blockflansch, Naht am Außendurchmesser (in der Darstellung: rechte Naht)		K2	
3.5		Schrauben von Flanschverbindungen: Nachweis in der Regel nur erforderlich, wenn die Schrauben häufig gelöst werden. In diesen Fällen gelten die in Klammern gesetzten Werte.	(RS)	(5,0)	
4. Doppelmantel-Anschlussnähte					
4.1		Mit angeformter Krempe: Die Bewertung gilt sowohl für das Innenrohr als auch für die Verbindungsnaht selbst	Einseitig durchgeschweißt	K2	3,0
4.2		Mit separater Krempe: Die Bewertung gilt sowohl für die Behälterinnenwand als auch für die Verbindungsnaht zwischen Krempe und Rohrinnenwand. (Die Verbindungsnaht zwischen Krempe und Außenmantel wird nach lfd. Nr 1.3 mit K2 bewertet.)	Beidseitig durchgeschweißt oder einseitig durchgeschweißt mit Gegennaht	K1	
5. Rohre und Rohrbiegungen mit Unrundheit					
5.1		Nahtloses oder geschweißtes Rohr mit Unrundheit	Nahtausführung und Klassifizierung wie lfd. Nrn. 1.1 bis 1.3		siehe Tabelle 10.3.2-5

(fortgesetzt)

Tabelle 10.3.2-4 (fortgesetzt)

Lfd. Nr	Darstellung	Beschreibung	Voraussetzungen	Klasse	η
5.2		Nahtlose oder geschweißte Rohrbiegung mit Unrundheit	Nahtausführung und Klassifizierung wie lfd. Nrn. 1.1 bis 1.3		siehe Tabelle 10.3.2-5

^a Für maximal zulässigen Nahtversatz $h \leq 0,5 e$, höchstens jedoch 3 mm nach EN ISO 5817, Bewertungsgruppe B.
^b Weitere Grenzwerte für Nahtversatz siehe EN 13480-4.
^c Für zulässigen Nahtversatz $h \leq 0,1 e$, nach EN ISO 5817, Bewertungsgruppe B.

Tabelle 10.3.2-5 — η -Werte für Rohre und Rohrbiegungen mit Unrundheit

u %	e/D_m						
	0,005	0,01	0,025	0,05	0,10	0,15	0,20
1 %	1,16	1,27	1,35	1,25	1,14	1,10	1,07
2 %	1,31	1,54	1,69	1,51	1,29	1,20	1,15
3 %	1,47	1,81	2,04	1,76	1,43	1,29	1,22
4 %	1,63	2,08	2,39	2,02	1,57	1,39	1,30
5 %	1,78	2,35	2,74	2,27	1,72	1,49	1,37
6 %	1,94	2,62	3,08	2,52	1,86	1,59	1,44
7 %	2,09	2,89	3,43	2,78	2,00	1,69	1,52
8 %	2,25	3,16	3,78	3,03	2,15	1,78	1,59
9 %	2,41	3,43	4,13	3,28	2,29	1,88	1,67
10 %	2,56	3,70	4,47	3,54	2,43	1,98	1,74

D = Außendurchmesser von Rohr/Rohrbiegung

$D_m = (D_{\max} + D_{\min})/2$

e = Wanddicke

u = Unrundheit (%) mit $u = 100 \times (D_{\max} - D_{\min})/D_m$

ANMERKUNG Nicht in der Tabelle aufgeführte Zwischenwerte können durch lineare Interpolation ermittelt werden.

10.3.2.5 Auslegung

Die Ermüdungslebensdauer von wechselbeanspruchten Bauteilen ist im Wesentlichen von der Dimensionierung und Konstruktion abhängig. Konstruktionen mit hohen Spannungs- oder Dehnungskonzentrationen sind zu vermeiden; z.B. durch eine spannungsflussgerechte Auslegung von Querschnittsübergängen. Tabelle 10.3.2-4 enthält eine Bewertung von im Rohrleitungsbau üblichen Schweißnahtausführungen.

ANMERKUNG 1 Bei hohen Anforderungen an die Lebensdauer sind Schweißnahtgestaltungen der Klasse K1 zu empfehlen. Bei der Konstruktion sollte die Möglichkeit der Prüfung nach 10.3.2.7 berücksichtigt werden. Zur Ermittlung der Lebensdauer von nicht in Tabelle 10.3.2-4 aufgeführten Schweißnahtausführungen sollte der erwartete η -Wert durch entsprechende Schätzungen anhand der mit dem Kerbfaktor multiplizierten Strukturspannung festgelegt werden.

ANMERKUNG 2 Die Lebensdauer kann im Rahmen der Auslegungsbewertung nach Tabelle 10.3.2-4 beispielhaft durch folgende konstruktive Maßnahmen erhöht werden:

- a) Vermeiden von aufgesetzten scheibenförmigen Verstärkungen;
- b) konische Übergänge zwischen Rohrabschnitten mit unterschiedlichen Durchmessern und/oder Wanddicken;
- c) Durchschweißungen, beidseitiges Schweißen oder einseitiges Schweißen mit Gegenlage.

ANMERKUNG 3 Durch Überdimensionierung bei vorwiegend ruhender Beanspruchung lässt sich die zulässige Lastspielzahl ebenfalls erhöhen.

10.3.2.6 Herstellung

Für die Fertigung von Rohrleitungsbauten gilt EN 13480-4. Darüber hinaus müssen nach Abschnitt 10 berechnete Bauteile die folgenden Anforderungen erfüllen.

ANMERKUNG Bei Wechselbeanspruchung wirken sich bei der Fertigung entstandene Fehler ungünstiger aus als bei ruhender Beanspruchung. Durch Kerben und ungünstige Eigenspannungen kann die Lebensdauer von Bauteilen beträchtlich verkürzt werden.

Besondere Anforderungen sind an die Schweißnahtausführung zu stellen. Schweißeigenspannungen sind durch Schweißtemperaturregelung und Schweißfolge zu minimieren. Sämtliche Wärmebehandlungen sind nach EN 13480-4 auszuführen.

10.3.2.7 Prüfung

10.3.2.7.1 Allgemeines

Für die Prüfung vor, während und nach der Herstellung sind zusätzlich zu den Anforderungen nach EN 13480-5 die folgenden Abschnitte zu beachten.

Zur Prüfung während des Betriebs siehe Anhang F.

10.3.2.7.2 Erstprüfung – Designprüfung

Im Rahmen der Designprüfung sind die im Hinblick auf die Wechselbeanspruchung bei den Prüfungen nach 10.3.2.7.3 besonders zu prüfenden Stellen festzulegen.

10.3.2.7.3 Prüfung während der Fertigung und Endkontrolle

Durch die während der Fertigung oder im Rahmen der Endkontrolle durchzuführenden Prüfungen muss sichergestellt werden, dass in den Rohrleitungsbauten keine Fehler vorhanden sind, die sich bei Wechselbeanspruchung schnell vergrößern und zu einem Versagen der drucktragenden Teile vor Erreichen der zulässigen Lastspielzahl führen könnten.

Für die zerstörungsfreien Prüfungen gelten die Anforderungen nach EN 13480-5.

10.3.2.8 Berücksichtigung besonderer Betriebsbedingungen

Beim Auftreten von korrosionsinduzierter Rissbildung, Ermüdungsrißkorrosion, dehnungsinduzierter Risskorrosion, wasserstoffinduzierter Rissbildung in Druckwasserstoff oder von Abbau der Magnetitschutzschicht müssen entsprechend geeignete zusätzliche Maßnahmen und Vorkehrungen getroffen werden.

10.4 Auslegung gegen Ermüdung durch Wärmebeanspruchung

10.4.1 Allgemeines

Die Auslegung muss die Auswirkungen von Temperaturgradienten über die Wanddicke und rasche Änderungen der Metalltemperatur berücksichtigen.

Die Konstruktion muss, wenn möglich, so ausgelegt sein, dass übermäßige Temperaturgradienten und Thermoschocks vermieden werden. Lassen sich diese nicht vermeiden, sind durch konstruktive Maßnahmen Spannungskonzentrationen in Bereichen mit großem Temperaturgradienten zu minimieren. Hinweise zur Auslegung sind in 10.4.2 enthalten.

Werden die zusätzlichen Spannungen durch Temperaturgradienten oder rasche Temperaturänderungen als signifikant angesehen, so sind die Auswirkungen dieser Spannungen (allein oder in Kombination mit anderen) auf die Ermüdungslife des Bauteils in einer eingehenden Analyse zu ermitteln.

10.4.2 Hinweise zur Auslegung

Für normale Betriebsbedingungen werden Temperaturänderungsgeschwindigkeiten in Rohrleitungen von anderen Überlegungen bestimmt als bei der Dimensionierung der Rohrleitung oder der Bauteile.

ANMERKUNG 1 Obgleich dieses keine Gewähr für das Lastverhalten darstellt, werden Temperaturänderungsgeschwindigkeiten von bis zu $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ beim An- und Abfahren für ferritische Werkstoffe bis zu einer Wanddicke von 125 mm allgemein als zulässig angesehen.

ANMERKUNG 2 Temperaturgradienten wirken sich in der Regel am stärksten an Abzweigverbindungen aus. Durch Isolierung von Rohren, Stutzen und Abzweigen lassen sich die Temperaturunterschiede in diesen Bereichen vermindern. Abrunden des Übergangs zwischen Abzweigbohrung und Rohrinnenseite und weiche Übergänge im Bereich von Schweißnähten verringern die Auswirkungen von Temperaturschlägen.

ANMERKUNG 3 Thermoschocks können auftreten, wenn Fluide mit unterschiedlichen Temperaturen gemischt werden; in derartigen Fällen sollte das Volumen so bemessen sein, dass die Vermischung rasch und nicht in unmittelbarer Nähe der Rohrwand erfolgt. Außerdem sollte die Verwendung von drucklosen Thermoschutzhülsen zur Vermeidung von Thermoschocks in der Rohrleitung in Betracht gezogen werden.

ANMERKUNG 4 Kondensation und das Abtropfen von Kondensat in Hochtemperatur-Rohrleitungen können Thermoschocks hervorrufen und so die Lebensdauer verringern. Durch geeignete Vorkehrungen zur Kondensatableitung sind Kondensatansammlungen zu vermeiden. Besteht auslegungsbedingt die Möglichkeit, dass Kondensat in die Rohrleitung tropft (z. B. von einem Abzweig ohne oder mit nur geringem Durchsatz), sollte der Einbau isolierter horizontaler Rohrabschnitte im Bereich der Verbindung in Betracht gezogen werden (dies ist nur ein Hinweis).

10.5 Auslegung gegen Ermüdung durch Lastkombinationen

In Fällen, in denen eine Auslegung gegen Ermüdung durch eine Kombination aus Wärme- und Druckbeanspruchung erforderlich ist, kann das in EN 12952-3 angegebene Verfahren herangezogen werden. Ist die Rohrleitung zusätzlich erheblichen, zyklisch auftretenden, äußeren mechanischen Lasten ausgesetzt oder ist eine weniger konservative Auslegung als nach 10.3.2 erforderlich, so ist eine Ermüdungsanalyse nach 12.4 durchzuführen.

11 Feste Anbauteile

11.1 Allgemeines

Feste Anbauteile sind an die drucktragende Wand von geraden Rohrabschnitten geschmiedete oder angeschweißte Teile, die Lasten der Rohrleitung auf die Stahlkonstruktion oder die Betonkonstruktion übertragen.

ANMERKUNG Der Abstand zwischen Anbauteil und einer größeren Störstelle hinsichtlich Geometrie und/oder Werkstoff sollte mindestens $2,5 \left(\frac{e_n D_m}{2} \right)^{0,5}$ betragen, wobei die Abmessungen des Rohrs gelten. Der Werkstoff der festen Anbauteile sollte so gewählt werden, dass hinsichtlich Wärmeausdehnungskoeffizient und Elastizitätsmodul keine großen Unterschiede zum Rohrwerkstoff bestehen. Darüber hinaus sollte die Auslegungsspannung des Anbauteils etwa den gleichen Wert haben wie die des Rohrwerkstoffs. Weichen die Werte stark voneinander ab, sollte der Ermittlung der entsprechenden Auslegungsspannung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Bei im Zeitstandbereich verwendeten Rohrleitungen wird dringend empfohlen, die gleichen Werkstoffe sowohl für die festen Anbauteile als auch für das Rohr zu verwenden, Schweißnähte sind als durchgeschweißte Nähte auszuführen.

Anbauteile mit kurzen Hebelarmen können nur auf Schubbeanspruchung ausgelegt werden, wenn die Schubspannung etwa der Biegespannung entspricht. Werden sie mit dünnwandigen Rohren mit $D_m/e_n \geq 10$ verschweißt, sind die Biegespannungen in der Rohrwand zu ermitteln und zu bewerten.

Die Berechnung von rohrförmigen Anbauteilen ist 11.4 und 11.6 zu entnehmen; zur Berechnung von rechteckigen Anbauteilen, siehe 11.5 und 11.6.

Belastungen der Anbauteile verursachen Spannungen in der Rohrwandung. Gleichungen für die Bestimmung dieser Spannungen sind 11.4 und 11.5 zu entnehmen. Die Spannungen infolge der Anbauteile werden dann zu den Spannungen im Rohrleitungssystem am Anbauteil hinzuaddiert. Die Spannungen im Rohrleitungssystem werden für gerade Rohre bestimmt. Die Gleichungen sind einschließlich der Terme für die Spannungen infolge der Anbauteile in 11.6 angegeben.

Zusätzliche Gleichungen in 11.4 und 11.5 überprüfen den Spannungszustand in den Anbauteilen. Diese beruhen auf den Absolutwerten für die Höchstlasten, die gleichzeitig bei allen festgelegten Betriebslastbedingungen auftreten.

11.2 Zulässige Spannungen

Die Auslegungsspannung ist nach Abschnitt 5 zu berechnen.

Durch feste Anbauteile verursachte Membranspannungen gelten als örtlich begrenzte Spannungen. Biegespannungen, die durch dieselbe Quelle verursacht werden und über die Wanddicke des Rohrs wirken, sind als Sekundärspannungen einzustufen.

Über die Wanddicke des Rohrs wirkende Spannungen sind zu kombinieren mit Spannungen durch:

— Innendruck;

— äußere Lasten,

und müssen Folgendem entsprechen:

$$P_m + P_b + P_L \leq 1,5f_h \quad \text{bei ständig wirkenden Belastungen;}$$

$$P_m + P_b + P_L \leq 1,8f_h \quad \text{bei ständig wirkenden und gelegentlicher Belastungen;}$$

$$P_m + P_b + P_L \leq 2,7f_h \quad \text{bei außergewöhnlichen Belastungen;}$$

$$Q \leq f_a \quad \text{bei behinderter Wärmeausdehnung des Rohrleitungssystems;}$$

$$P_m + P_b + P_L + Q \leq f_h + f_a \quad \text{bei ständig wirkenden Belastungen und behinderter Wärmeausdehnung des Rohrleitungssystems.}$$

Dabei ist

P_m die Primärmembranspannung;

P_L die lokale Primärmembranspannung;

P_b die Primärbiegespannung;

Q die Sekundärbiegespannung.

Zur Bestimmung von f_a , f_h siehe Gleichungen (12.1.3.1) bis (12.1.3.4); die Auslegungsspannung f ist in Abschnitt 5 festgelegt.

Liegen ausschließlich Schubspannungen (Mittelwert) vor, ist die Vergleichsspannung σ_{eq} nach der Gestaltänderungsenergiehypothese (von Mises) zu berechnen und für die zeitunabhängige Auslegung auf $1,5f$ zu begrenzen.

11.3 Symbole

Für die Anwendung von 11.4 bis 11.6 gelten zusätzlich zu den Symbolen in 3.2 die in Tabelle 11.3-1 angegebenen Symbole.

Tabelle 11.3-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von 11.4 bis 11.6

Symbol	Beschreibung	Einheit
A_m	Halbe Querschnittsfläche von rohrförmigen Anbauteilen	mm ²
A_t	Querschnittsfläche von rohrförmigen Anbauteilen/rechteckigen Anbauteilen	mm ²
A_w	Gesamtfläche der Kehlnaht	mm ²
d_i	Innendurchmesser von rohrförmigen Anbauteilen	mm
d_o	Außendurchmesser von rohrförmigen Anbauteilen	mm
D_o	Rohraußendurchmesser	mm
e_n	Nennwanddicke des Rohrs	mm
$e_{n,t}$	Nennwanddicke des Anbauteils	mm
f	Auslegungsspannung (siehe 5.2)	MPa (N/mm ²)
f_a	Zulässiger Spannungsbereich (siehe 12.1.3)	MPa (N/mm ²)
f_{cr}	Auslegungsspannung im Zeitstandbereich (siehe 5.3)	MPa (N/mm ²)
f_h	Zulässige Spannung bei maximaler Metalltemperatur (siehe 12.1.3)	MPa (N/mm ²)
L_1	Halbe Länge eines rechteckigen Anbauteils in Rohrumfangsrichtung	mm
L_2	Halbe Länge eines rechteckigen Anbauteils in Rohrlängsrichtung	mm
M_L	Längsbiegemoment an Anbauteilen (Vektor senkrecht zur Mittellinie von Anbauteil und Rohr)	N mm
M_N	Umfangsbiegemoment an Anbauteilen (Vektor parallel zur Mittellinie von Anbauteil und Rohr)	N mm
M_T	Torsionsmoment an Anbauteilen (Vektor senkrecht zur Rohrmitteleinie)	N mm
p_c	Berechnungsdruck	MPa (N/mm ²)
Q_1	Querbeanspruchung von Anbauteilen in Umfangsrichtung	N
Q_2	Querbeanspruchung von Anbauteilen in Längsrichtung	N
R_m	Mittlerer Radius des Rohrs	mm
W	Axialbeanspruchung von Anbauteilen (Vektor senkrecht zur Rohrmitteleinie)	N
Z	Widerstandsmoment des Rohrs	mm ³
Z_t	Widerstandsmoment des rohrförmigen Bauteils	mm ³
Z_{WL}	Biegewiderstandsmoment der Kehlnaht oder der teilweise durchgeschweißten Naht um die Schwerachse parallel zu L_1	mm ³
Z_{WN}	Biegewiderstandsmoment der Kehlnaht oder der teilweise durchgeschweißten Naht um die Schwerachse parallel zu L_2	mm ³
Z_{WT}	Torsionswiderstandsmoment der Kehlnaht oder der teilweise durchgeschweißten Naht	mm ³
M_L, M_N, M_T, Q_1, Q_2 und W werden in Zusammenhang mit dem Lastfall an der Rohroberfläche bestimmt.		
$M_L^{**}, M_N^{**}, M_T^{**}, Q_1^{**}, Q_2^{**}$ und W^{**} sind absolute Werte der gleichzeitig unter allen festgelegten Betriebslastbedingungen auftretenden maximalen Belastungen.		

11.4 Rohrförmige Anbauteile

11.4.1 Einschränkungen

Rohrförmige Anbauteile sind mit einer durchgeschweißten Naht oder einer Kehlnaht entlang ihres gesamten Umfangs anzuschweißen (siehe Bild 11.4.1-1).

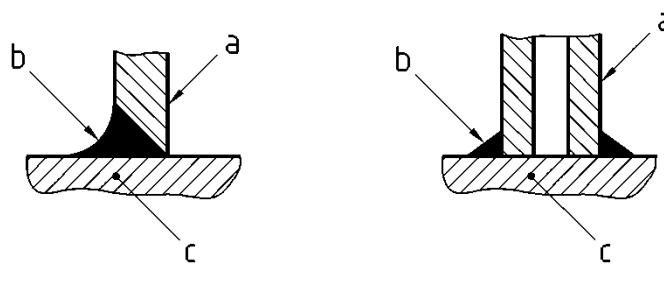
Die Achse von Anbauteilen muss senkrecht zur Rohrachse verlaufen.

Die nach 11.4.2 berechneten Parameter müssen nachstehende Einschränkungen einhalten:

$$4,0 \leq \gamma \leq 50,0 \quad (11.4-1)$$

$$0,2 \leq \tau \leq 1,0 \quad (11.4-2)$$

$$0,3 \leq \beta \leq 1,0 \quad (11.4-3)$$



Durchgeschweißte Naht

Kehlnaht

Legende

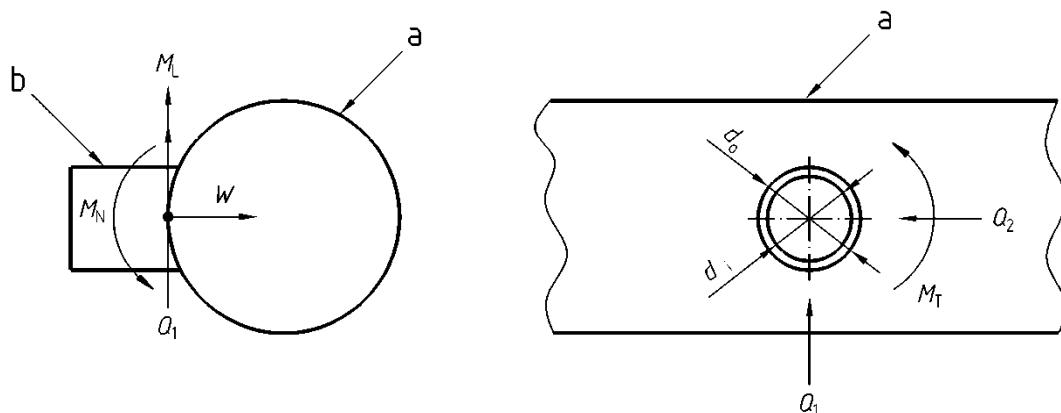
- a Anbauteil
- b Schweißnaht
- c Rohrwand

Bild 11.4.1-1 — Schweißnähte bei rohrförmigen Anbauteilen

11.4.2 Vorausgehende Berechnungen

M_L , M_N , M_T , Q_1 , Q_2 und W werden in Zusammenhang mit dem jeweiligen Lastfall an der Rohroberfläche bestimmt. M_L^{**} , M_N^{**} , M_T^{**} , Q_1^{**} , Q_2^{**} und W^{**} sind absolute Werte der gleichzeitig unter allen festgelegten Betriebslastbedingungen auftretenden maximalen Belastungen.

Die Maße d_i und d_o sind in Bild 11.4.2-1 festgelegt.



Legende

- (a) Rohr
- (b) Anbauteil

Bild 11.4.2-1 — Belastung und Maße von Anbauteilen

$$A_t = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) \quad (11.4.2-1)$$

$$Z_t = 2 \cdot I_t / d_o \quad (11.4.2-2)$$

$$I_t = \left(\frac{\pi}{4} \right) \left[\left(\frac{d_o}{2} \right)^4 - \left(\frac{d_i}{2} \right)^4 \right] \quad (11.4.2-3)$$

$$A_m = A_t / 2 \quad (11.4.2-4)$$

$$\gamma = D_o / (2e_n) \quad (11.4.2-5)$$

$$\tau = e_{n,t} / e_n \quad (11.4.2-6)$$

$$\beta = d_o / D_o \quad (11.4.2-7)$$

$$C = A_o (2\gamma)^{n_1} \beta^{n_2} \tau^{n_3}, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.4.2-8)$$

$$J = \min \left\{ Z_T; \pi \left(\frac{d_o}{2} \right)^2 e_n \right\} \quad (11.4.2-9)$$

Die Gleichung (11.4.2-8) ist für die Berechnung von C_W , C_L und C_N unter Verwendung der Beiwerte in Tabelle 11.4.2-1 zu verwenden. In den anschließenden Berechnungen sind die jeweils größten Werte von C_W , C_L und C_N für Rohr und Anbauteil zu verwenden.

Tabelle 11.4.2-1 — Beiwerte für die Berechnung rohrförmiger Anbauteile

Parameter	Bauteil	Bereich von β	A_o	n_1	n_2	n_3
C_W	Rohr	0,3 bis 1,0	1,40	0,81	a	1,33
	Anbauteil	0,3 bis 1,0	4,00	0,55	b	1,00
C_L	Rohr	0,3 bis 1,0	0,46	0,60	-0,04	0,86
	Anbauteil	0,3 bis 1,0	1,10	0,23	-0,38	0,38
C_N	Rohr	0,3 bis 0,55	0,51	1,01	0,79	0,89
	Anbauteil	0,3 bis 0,55	0,84	0,85	0,80	0,54
C_N	Rohr	> 0,55 bis 1,0	0,23	1,01	-0,62	0,89
	Anbauteil	> 0,55 bis 1,0	0,44	0,85	-0,28	0,54

a β^{n_2} ist zu ersetzen durch $e^{-1,2\beta^3}$.

b β^{n_2} ist zu ersetzen durch $e^{-1,35\beta^3}$.

$$C_T = 1,0 \text{ bei } \beta \leq 0,55 \quad (11.4.2-10)$$

$$C_T = C_N \text{ bei } \beta = 1,0, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.4.2-11)$$

C_T sollte für $0,55 < \beta < 1,0$ durch lineare Interpolation ermittelt werden, mindestens jedoch 1,0 betragen.

$$B_W = 0,5C_W, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.4.2-12)$$

$$B_L = 0,5C_L, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.4.2-13)$$

$$B_N = 0,5C_N, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.4.2-14)$$

$$B_T = 0,5C_T, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.4.2-15)$$

$K_T = 2,0$ für Kehlnähte

$K_T = 1,8$ für ganz oder teilweise durchgeschweißte Nähte.

ANMERKUNG Kehlnähte und teilweise durchgeschweißte Nähte sind bei im Zeitstandbereich verwendeten Rohren unzulässig.

11.4.3 Spannungsberechnung für mit durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile

Die Spannungen σ_{MT} , σ_{NT} , und σ_{NT}^{**} sind wie folgt zu berechnen.

$$\sigma_{MT} = \frac{B_W W}{A_t} + \frac{B_N M_N}{Z_t} + \frac{B_L M_L}{Z_t} + \frac{Q_1}{A_m} + \frac{Q_2}{A_m} + \frac{B_T M_T}{J} \quad (11.4.3-1)$$

$$\sigma_{NT} = \frac{C_W W}{A_t} + \frac{C_N M_N}{Z_t} + \frac{C_L M_L}{Z_t} + \frac{Q_1}{A_m} + \frac{Q_2}{A_m} + \frac{C_T M_T}{J} \quad (11.4.3-2)$$

$$\sigma_{PT} = K_T \sigma_{NT} \quad (11.4.3-3)$$

$$\sigma_{NT}^{**} = \frac{C_W W^{**}}{A_t} + \frac{C_N M_N^{**}}{Z_t} + \frac{C_L M_L^{**}}{Z_t} + \frac{Q_1^{**}}{A_m} + \frac{Q_2^{**}}{A_m} + \frac{C_T M_T^{**}}{J} \quad (11.4.3-4)$$

11.4.4 Spannungsberechnung für mit Kehlnähten oder teilweise durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile

Die folgenden zusätzlichen Bedingungen müssen erfüllt sein.

$$\frac{W^{**}}{A_W} + \frac{M_L^{**}}{Z_W} + \frac{M_N^{**}}{Z_W} + \frac{\sqrt{Q_1^{**2} + Q_2^{**2}}}{A_W} + \frac{M_T^{**}}{Z_{WT}} \leq 2R_{eHt} \quad (11.4.4-1)$$

$$\sqrt{\left(\frac{W^{**}}{A_W}\right)^2 + 4\left(\frac{Q_1^{**} + Q_2^{**}}{A_W} + \frac{M_T^{**}}{Z_{WT}}\right)^2} \leq R_{eHt} \quad (11.4.4-2)$$

ANMERKUNG Kehlnähte und teilweise durchgeschweißte Nähte sind bei im Zeitstandbereich verwendeten Rohren unzulässig.

11.5 Rechteckige Anbauteile

11.5.1 Einschränkungen

Das Anbauteil muss an das Rohr angeschweißt sein mittels:

- einer voll durchgeschweißten Naht entlang der beiden Längsseiten des Anbauteils; oder
- einer Kehlnaht oder teilweise durchgeschweißten Naht entlang der vier Seiten des Anbauteils; oder
- einer Kehlnaht oder teilweise durchgeschweißten Naht entlang der beiden Längsseiten des Anbauteils, wobei die Länge der Längsseite dem 3-fachen der Länge der kurzen Seite entspricht, wenn keine Ermüdung vorliegt.

Die nach 11.5.2 berechneten Parameter müssen den folgenden Einschränkungen entsprechen:

$$\beta_1 \leq 0,5 \quad (11.5.1-1)$$

$$\beta_2 \leq 0,5 \quad (11.5.1-2)$$

$$\beta_1 \beta_2 \leq 0,075 \quad (11.5.1-3)$$

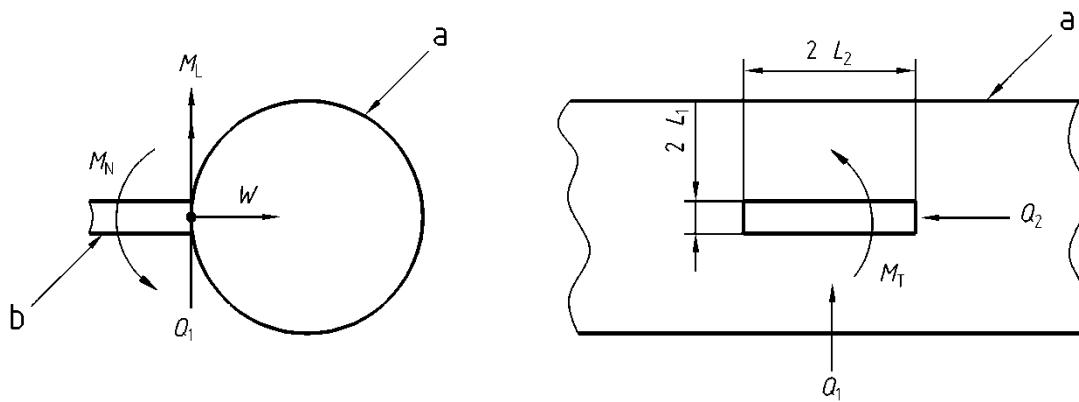
und

$$D_0 / e_n \leq 100 \quad (11.5.1-4)$$

11.5.2 Vorausgehende Berechnungen

M_L , M_N , M_T , Q_1 , Q_2 und W werden in Zusammenhang mit dem jeweiligen Lastfall an der Rohroberfläche bestimmt. M_L^{**} , M_N^{**} , M_T^{**} , Q_1^{**} , Q_2^{**} und W^{**} sind absolute Werte der gleichzeitig unter allen festgelegten Betriebslastbedingungen auftretenden maximalen Belastungen.

Die Maße L_1 und L_2 sind in Bild 11.5.2-1 festgelegt.



Legende

- (a) Rohr
- (b) Anbauteil

Bild 11.5.2-1 — Belastung und Maße von Anbauteilen

Folgende vorausgehende Berechnungen sind durchzuführen (L_1 und L_2 sind in Bild 11.5.2-1 dargestellt):

$$\gamma = R_m / e_n \quad (11.5.2-1)$$

$$\beta_1 = L_1 / R_m \quad (11.5.2-2)$$

$$\beta_2 = L_2 / R_m \quad (11.5.2-3)$$

$$L_a = \min(L_2; e_n) \quad (11.5.2-4)$$

$$L_b = \min(L_1; e_n) \quad (11.5.2-5)$$

$$L_c = \min(L_1; L_2) \quad (11.5.2-6)$$

$$L_d = \max(L_1; L_2) \quad (11.5.2-7)$$

Die Werte für η , X_1 und Y_1 sind unter Verwendung der in Tabelle 11.5.2-1 angegebenen Beiwerte für jeden Fall (C_T , C_L , C_N) wie folgt zu berechnen:

$$\eta = -(X_1 \cos \theta + Y_1 \sin \theta) - \frac{1}{A_0} (X_1 \sin \theta - Y_1 \cos \theta)^2 \quad (11.5.2-8)$$

$$X_1 = X_0 + \lg \beta_1 \quad (11.5.2-9)$$

$$Y_1 = Y_0 + \lg \beta_2 \quad (11.5.2-10)$$

ANMERKUNG 1 $\lg X = \log_{10} X$ ($\lg 10 = 1$).

Tabelle 11.5.2-1 — Beiwerte zur Berechnung rechteckiger Anbauteile

Beiwert	A_0	θ	X_0	Y_0
C_T	2,2	40°	0	0,05
C_L	2,0	50°	-0,45	-0,55
C_N	1,8	40°	-0,75	-0,60

Anschließend werden C_T , C_L , C_N mit Hilfe von Beiwert η wie folgt berechnet:

$$C_T = 3,82(\gamma)^{1,64} \beta_1 \beta_2 \eta^{1,54}, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.5.2-11)$$

$$C_L = 0,26(\gamma)^{1,74} \beta_1 \beta_2^2 \eta^{4,74}, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.5.2-12)$$

$$C_N = 0,38(\gamma)^{1,90} \beta_1^2 \beta_2 \eta^{3,40}, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.5.2-13)$$

$$B_T = (2/3)C_T, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.5.2-14)$$

$$B_L = (2/3)C_L, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.5.2-15)$$

$$B_N = (2/3)C_N, \text{ mindestens jedoch } 1,0 \quad (11.5.2-16)$$

$$A_t = 4L_1 L_2 \quad (11.5.2-17)$$

$$Z_{tL} = (4/3)L_1(L_2)^2 \quad (11.5.2-18)$$

$$Z_{tN} = (4/3)(L_1)^2 L_2 \quad (11.5.2-19)$$

- $K_T = 2,0$ für durchgeschweißte Nähte und Kehlnähte oder teilweise durchgeschweißte Nähte im Zustand ohne Nachbearbeitung an den vier Seiten des Anbauteils;
- $K_T = 3,6$ für Kehlnähte oder teilweise durchgeschweißte Nähte an zwei oder drei Seiten des Anbauteils.

$$M_{TT} = \max\left(\frac{M_T}{L_c L_d e_n [1 + (L_c/L_d)]}, \frac{M_T}{[0,8 + 0,05(L_d/L_c)] L_c^2 L_d} \right) \quad (11.5.2-20)$$

ANMERKUNG 2 Kehlnähte und teilweise durchgeschweißte Nähte sind bei im Zeitstandbereich verwendeten Rohren unzulässig.

11.5.3 Spannungsberechnung für mit durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile

Die Spannungen σ_{MT} , σ_{NT} , und σ_{NT}^{**} sind wie folgt zu berechnen.

$$\sigma_{MT} = \frac{B_T W}{A_t} + \frac{B_L M_L}{Z_{tL}} + \frac{B_N M_N}{Z_{tN}} + \frac{Q_1}{2L_1 L_a} + \frac{Q_2}{2L_2 L_b} + M_{TT} \quad (11.5.3-1)$$

$$\sigma_{NT} = \frac{C_T W}{A_t} + \frac{C_L M_L}{Z_{tL}} + \frac{C_N M_N}{Z_{tN}} + \frac{Q_1}{2L_1 L_a} + \frac{Q_2}{2L_2 L_b} + M_{TT} \quad (11.5.3-2)$$

$$\sigma_{PT} = K_T \sigma_{NT} \quad (11.5.3-3)$$

$$\sigma_{NT}^{**} = \frac{C_T W^{**}}{A_t} + \frac{C_L M_L^{**}}{Z_{tL}} + \frac{C_N M_N^{**}}{Z_{tN}} + \frac{Q_1^{**}}{2L_1 L_a} + \frac{Q_2^{**}}{2L_2 L_b} + M_{TT}^{**} \quad (11.5.3-4)$$

11.5.4 Spannungsberechnung für mit Kehlnähten oder teilweise durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile

Die folgenden zusätzlichen Bedingungen müssen erfüllt sein.

$$\frac{W^{**}}{A_W} + \frac{M_L^{**}}{Z_{WL}} + \frac{M_N^{**}}{Z_{WN}} + \frac{2(Q_1^{**} + Q_2^{**})}{A_W} + \frac{M_T^{**}}{Z_{WT}} \leq 2R_{eHt} \quad (11.5.4-1)$$

$$\sqrt{\left(\frac{W^{**}}{A_W}\right)^2 + 4\left(\frac{Q_1^{**} + Q_2^{**}}{A_W} + \frac{M_T^{**}}{Z_{WT}}\right)^2} \leq R_{eHt} \quad (11.5.4-2)$$

11.6 Spannungsberechnung des Grundrohrs

Die nachstehenden modifizierten Gleichungen aus Abschnitt 12 müssen erfüllt sein.

- a) Bei ständig wirkenden Belastungen

$$\sigma_1 = \frac{p_c D_o}{4e_n} + \frac{0,75i M_A}{Z} + \sigma_{MT} \leq 1,5 f_h, \text{ und } 0,75i \geq 1,0 \quad (11.6-1)$$

Dabei ist

M_A das Biegemoment aufgrund ständig wirkender Belastungen;

σ_{MT} die zusätzliche Spannung aufgrund ständig wirkender Belastungen.

- b) Bei ständig wirkenden und gelegentlichen Belastungen

$$\sigma_{2a} = \frac{p_c D_o}{4e_n} + \frac{0,75i(M_A + M_B)}{Z} + \sigma_{MT} \leq 1,8 f_h, \text{ und } 0,75i \geq 1,0 \quad (11.6-2)$$

Dabei ist

M_B das Biegemoment aufgrund gelegentlicher Belastungen;

σ_{MT} die zusätzliche Spannung aufgrund ständig wirkender Belastungen und gelegentlichen Belastungen.

- c) Bei außergewöhnlichen Belastungen

$$\sigma_{2b} = \frac{p_c D_o}{4e_n} + \frac{0,75i(M_A + M_B)}{Z} + \sigma_{MT} \leq 2,7 f_h, \text{ und } 0,75i \geq 1,0 \quad (11.6-3)$$

Dabei ist

M_B das Biegemoment aufgrund außergewöhnlicher Belastungen;

σ_{MT} die zusätzliche Spannung aufgrund ständig wirkender Belastungen und außergewöhnlichen Belastungen.

Der Spannungsbereich σ_3 , ermittelt mit dem resultierenden Moment M_c aufgrund von Wärmeausdehnung und Lastwechseln, z. B. seismischen Lasten, muss eine der folgenden Gleichungen erfüllen:

- d) Bei Belastungen durch behinderte Wärmeausdehnung

$$\sigma_3 = \frac{iM_C}{Z} + \frac{\sigma_{PT}}{2} \leq f_a \quad (11.6-4)$$

Dabei ist

σ_{PT} die zusätzliche Spannung aufgrund behinderter Wärmeausdehnung.

Ist die Anforderung von Gleichung (11.6-4) nicht erfüllt, muss die Summe der Spannungen aufgrund ständig wirkender Belastungen [Gleichung (11.6-1)] und durch behinderte Wärmeausdehnung verursachter Belastungen [Gleichung (11.6-4)] die folgende Bedingung erfüllen:

- e) Bei Kombination der Lasten aus ständig wirkenden Belastungen und behinderter Wärmeausdehnung

$$\sigma_4 = \frac{p_c D_o}{4e_n} + 0,75i \frac{M_A}{Z} + i \frac{M_C}{Z} + \sigma_{MT} + \frac{\sigma_{PT}}{2} \leq f_h + f_a, \text{ und } 0,75i \geq 1,0 \quad (11.6-5)$$

Dabei ist

σ_{MT} die zusätzliche Spannung aufgrund ständig wirkender Belastungen.

σ_{PT} die zusätzliche Spannung aufgrund behinderter Wärmeausdehnung.

Die folgende Gleichung begrenzt die Spannung in der Rohrwand auf den Mittelwert der (zugehörigen) Zeitstandfestigkeit in ähnlicher Weise wie Gleichung (12.3.5-1).

$$\sigma_5 = \frac{p_c D_o}{4e_n} + 0,75 \left[\frac{i \cdot M_A}{Z} + \frac{i \cdot M_C}{3Z} \right] + \sigma_{MT} + \frac{\sigma_{PT}}{2} \leq 1,25 f_{cr}, \text{ und } 0,75i \geq 1,0 \quad (11.6-5a)$$

Dabei ist

σ_{MT} die zusätzliche Spannung aufgrund ständig wirkender Belastungen.

σ_{PT} die zusätzliche Spannung aufgrund behinderter Wärmeausdehnung.

Zusätzlich zu den vorstehenden modifizierten Gleichungen müssen die folgenden Gleichungen ebenfalls erfüllt sein:

$$\sigma_{NT}^{**} \leq 2R_{eHt} \quad (11.6-6)$$

Die Begrenzung der Vergleichsspannung von im Zeitstandbereich verwendeten Rohren (bis einschließlich Mittelwert der Zeitstandfestigkeit):

$$\sigma_{NT}^{**} \leq 1,25 f_{cr} \quad (11.6-6a)$$

11.7 Berechnung der Schubspannung in Anbauteilen

11.7.1 Rohrförmige Anbauteile

Bei zeitunabhängiger Auslegung:

$$\frac{\sqrt{(\varrho_1^{**})^2 + (\varrho_2^{**})^2}}{A_m} + \frac{M_T^{**}}{J} \leq R_{eHt} \quad (11.7.1-1)$$

Bei Anbauteilen im Zeitstandbereich: Begrenzung der Schubspannung des rohrförmigen Anbauteils (bis einschließlich Mittelwert der Zeitstand-(Schub-)Festigkeit entsprechend der von-Mises-Hypothese):

$$\frac{\sqrt{(\varrho_1^{**})^2 + (\varrho_2^{**})^2}}{A_m} + \frac{M_T^{**}}{J} \leq \frac{1,25}{\sqrt{3}} \cdot f_{cr} \quad (11.7.1-1a)$$

11.7.2 Rechteckige Anbauteile

Bei zeitunabhängiger Auslegung:

$$\sqrt{\left(\frac{\varrho_1^{**}}{2L_1L_a}\right)^2 + \left(\frac{\varrho_2^{**}}{2L_2L_b}\right)^2} + M_{TT}^{**} \leq R_{eHt} \quad (11.7.2-1)$$

Bei Anbauteilen im Zeitstandbereich: Begrenzung der Schubspannung des rechteckigen Anbauteils (bis einschließlich Mittelwert der Zeitstand-(Schub-)Festigkeit entsprechend der von-Mises-Hypothese):

$$\sqrt{\left(\frac{\varrho_1^{**}}{2L_1L_a}\right)^2 + \left(\frac{\varrho_2^{**}}{2L_2L_b}\right)^2} + M_{TT}^{**} \leq \frac{1,25}{\sqrt{3}} \cdot f_{cr} \quad (11.7.2-1a)$$

11.8 Alternative Berechnungsverfahren

Führt das Berechnungsverfahren in Abschnitt 11 nicht zu zufrieden stellenden Ergebnissen oder werden die in 11.4.1 und 11.5.1 angegebenen geometrischen Grenzen nicht eingehalten, sind alternative Berechnungsverfahren anzuwenden.

ANMERKUNG Einige dieser Verfahren sind in einer Auswahl bekannter Quellen beschrieben [3], [4], [5] und PD 5500. Die Klassifizierung der Spannungen in Primär-, Sekundär- und Spitzenspannungen sowie deren Begrenzung auf die zugehörigen Werte für die zulässige Spannung nach 12.2 liegt in der Verantwortung des Konstrukteurs.

12 Spannungsanalyse und Annahmekriterien

12.1 Grundlegende Bedingungen

12.1.1 Allgemeines

Zusätzlich zu den in den Abschnitten 6 bis 11 angegebenen Anforderungen an die Auslegung auf Druckbeanspruchung müssen Rohrleitungssysteme so ausgelegt sein, dass sie den Auswirkungen von

Gewichts- und anderen Belastungen standhalten; und sie müssen auf die Auswirkungen von Wärmedehnung und -kontraktion oder von ähnlichen Bewegungen mit anderer Ursache untersucht werden. Der Einfluss von Axialkräften die durch Innendruck und Balgsteifigkeit verursacht werden, ist bei der Verwendung unverspannter Kompensatoren zu berücksichtigen, um das Ausknicken der Rohrleitung zu vermeiden. Dieser Abschnitt befasst sich mit der Spannungsanalyse und den zugehörigen Annahmekriterien für die Erfüllung dieser Anforderungen.

12.1.2 Lastzustände

Die zu betrachtenden Lastzustände sind in Abschnitt 4 angegeben.

12.1.3 Zulässige Spannungen

12.1.3.1 Die grundlegenden Werte der zulässigen Spannungen sind in Abschnitt 5 angegeben.

12.1.3.2 Die zulässige Spannungsschwingbreite f_a ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$f_a = U (1,25 f_c + 0,25 f_h) \frac{E_h}{E_c} \quad (12.1.3-1)$$

Dabei ist

E_c der Wert des Elastizitätsmoduls bei der minimalen Metalltemperatur, übereinstimmend mit der betrachteten Last. In Fällen, in denen Betriebszustände mit Temperaturen unter den Montagetemperaturen vorkommen, kann E_c als der Elastizitätsmodul bei Montagetemperatur genommen werden;

E_h der Elastizitätsmodul bei der höchsten Metalltemperatur für den betrachteten Lastfall;

f_c die grundlegende zulässige Spannung bei der kleinsten Metalltemperatur für den betrachteten Lastfall; dabei gilt:

$$f_c = \min \left(\frac{R_m}{3}; f \right) \quad (12.1.3-2)$$

Dabei wird f nach 5.2 bei Raumtemperatur berechnet.

f_h die zulässige Spannung bei der höchsten Metalltemperatur für den betrachteten Lastfall; dabei gilt

$$f_h = \min (f_c; f; f_{cr}) \quad (12.1.3-3)$$

Dabei wird

f nach 5.2 berechnet;

f_{cr} nach 5.3 bei der Berechnungstemperatur t_c berechnet.

U der Minderungsfaktor für die Spannungsschwingbreite (siehe Anmerkung 1), der Tabelle 12.1.3-1 entnommen oder nach Gleichung 12.1.3-4 (siehe Anmerkung 2) berechnet wird:

$$U = 6,0 N^{-0,2} \leq 1,0 \quad (12.1.3-4)$$

Dabei ist

N die Anzahl der äquivalenten Volllastspiele während der erwarteten Lebensdauer des Rohrleitungssystems (siehe Anmerkung 3).

ANMERKUNG 1 Der Faktor U gilt nur für nicht korrodierte Rohrleitungen. Korrosion kann die Lebensdauer bei Wechselbeanspruchung drastisch verringern; bei einer zu erwartenden hohen Anzahl von Lastspielen mit großer Schwingbreite sollten daher korrosionsbeständige Werkstoffe in Betracht gezogen werden.

ANMERKUNG 2 Gleichung (12.1.3-3) gilt nicht für Lastspielzahlen über 2×10^6 . Die Auswahl der Werte von U für Lastspielzahlen über 2×10^6 liegt in der Verantwortung des Konstrukteurs.

ANMERKUNG 3 Bei der Auslegung ist zu berücksichtigen, dass die Ermüdungsliebensdauer von Werkstoffen bei erhöhter Temperatur abnehmen kann.

ANMERKUNG 4 12.1.3.2 gilt nicht für Kompensatoren.

Ändert sich die Schwingbreite der Temperatur, so sind äquivalente volle Temperaturzyklen wie folgt zu ermitteln:

$$N = N_E + \sum_{i=1}^n \left(r_i^5 \times N_i \right) \quad (12.1.3-5)$$

Dabei ist

N_E die Anzahl der Zyklen über die volle Temperaturschwankungsbreite Δt_E , für die die Spannung durch Wärmeausdehnung σ_3 mit $\Delta t_i / \Delta t_E$ berechnet wurde;

N_i die Anzahl Zyklen mit kleinerer Temperaturschwankungsbreite Δt_i ;

r_i das Verhältnis kleinerer Temperaturschwankungsbreiten zu der Schwankungsbreite, für die die Spannung σ_3 berechnet wurde ($\Delta t_i / \Delta t_E$).

Tabelle 12.1.3-1 — Minderungsfaktor für Spannungsschwingbreite

Anzahl der Zyklen über die volle Temperaturschwankungsbreite N	Faktor U
$N \leq 7\,000$	1,0
$7\,000 < N \leq 14\,000$	0,9
$14\,000 < N \leq 22\,000$	0,8
$22\,000 < N \leq 45\,000$	0,7
$45\,000 < N \leq 100\,000$	0,6
$N > 100\,000$	0,5

Tabelle 12.1.3-1 darf nur speziell für die Berechnung der zulässigen Spannungsschwingbreite f_a verwendet werden und nicht als Ersatz für nach dieser Norm als erforderlich erachtete Ermüdungsanalysen angesehen werden.

12.2 Elastizität von Rohrleitungen

12.2.1 Allgemeines

Alle Rohrleitungssysteme müssen ausreichende Elastizität aufweisen, um folgende Ereignisse während der Auslegungsliebdauer auszuschließen:

- a) Versagen von Rohrleitung oder Halterungen durch Überbeanspruchung oder Ermüdung;
- b) Undichtigkeit an irgendeiner Stelle in der Rohrleitung;
- c) schädliche Spannungen oder Verformung von Rohrleitung oder eingebauten Armaturen (z. B. Ventilen) oder von mit der Rohrleitung verbundenen Maschinen oder Werksanlagen (z. B. Kessel, Pumpen oder Turbinen) durch übermäßige Kräfte und Momente in der Rohrleitung,

12.2.2 Grundlegende Bedingungen

Die berechnete Spannungsschwingbreite aufgrund von Bewegungen im Rohrleitungssystem darf an keinem Punkt die zulässige Spannungsschwingbreite nach 12.1.3.2 überschreiten.

Die berechnete Bewegung der Rohrleitung muss innerhalb der festgelegten Grenzen liegen und bei der Elastizitätsanalyse berücksichtigt werden.

Die Elastizität der Rohrleitung muss so hoch sein, dass die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Die Spannungen dürfen die Auslegungsgrenzwerte nicht überschreiten.
- Die berechnete Spannungsschwingbreite aufgrund von Bewegungen im Rohrleitungssystem darf an keinem Punkt die zulässige Spannungsschwingbreite nach 12.1.3.2 überschreiten.
- Die Reaktionskräfte dürfen keine schädigende Wirkung auf Halterungen oder angeschlossenes Gerät haben.
- Die berechnete Bewegung der Rohrleitung muss innerhalb der festgelegten Grenzen liegen und bei der Elastizitätsanalyse ordnungsgemäß berücksichtigt werden.

Ausreichende Elastizität der Rohrleitung muss durch Richtungsänderungen (z. B. Rohrbiegungen, Rohrschleifen oder Rohrversatz), durch elastische Verbindungen (z. B. Kompensatoren, Metallschläuche) oder sonstige geeignete Komponenten gewährleistet werden.

Die Schwankungen der Stützwirkung von Federhängern und Federstützen dürfen 25 % nicht übersteigen, sofern nicht anderweitig durch eine Analyse der Rohrleitung nach Abschnitt 12 begründet.

12.2.3 Dehnungen durch aufgeprägte Verschiebungen

12.2.3.1 Allgemeines

Besondere Beachtung ist Dehnungen des Rohrleitungssystems zu widmen, die aufgrund von durch Wärme oder äußeren Einwirkungen oder durch die Verschiebung von Halterungen verursachten Verschiebungen hervorgerufen werden.

- Verschiebungen aufgrund von Temperaturschwankungen

Jede Veränderung der Temperatur bewirkt Änderungen in den Abmessungen eines Rohrleitungssystems. Wird die freie Ausdehnung oder Kontraktion einer Rohrleitung durch angeschlossene Maschinen oder Halterungen wie z. B. Rohrführungen und Festpunkten behindert, so werden in der Rohrleitung Verschiebungsspannungen hervorgerufen.

— Verschiebungen aufgrund äußerer Einwirkungen

Durch äußere Einwirkungen verursachte Verschiebungen von Rohrhalterungen verursachen zusätzlich zu den Verschiebungen aufgrund von Temperaturschwankungen Verschiebungen der Rohrleitung. Derartige Bewegungen können durch die Gezeiten (bei Rohrleitungen in Häfen), Windschwingungen (bei Rohrleitungen an hohen schlanken Türmen), Temperaturschwankungen in angeschlossenem Gerät, Erdbeben oder andere dynamische Lasten wie schlagartiges Schließen von Ventilen, verursacht werden.

Verschiebungen durch Bodensetzung sind dann zu berücksichtigen, wenn sich diese Setzungen nachgewiesenermaßen dauerhaft auf die in die Rohrleitung induzierten Spannungen auswirken oder zu schädlicher bleibender Verformung der Rohrleitung in Form örtlich begrenzter Verformung oder übermäßiger Reaktionen am Rohrleitungsende führen.

— Verschiebungen von Rohrhalterungen

Sind Rohrhalterungen als nicht starr zu betrachten, so ist es zulässig, ihre Elastizität bei der Ermittlung der Schwingbreite der Verschiebung und der Reaktionen zu berücksichtigen.

12.2.3.2 Gesamtdehnung aufgrund von Verschiebungen

Verschiebungen aufgrund von Temperaturschwankungen, Reaktionen und äußeren Einwirkungen haben sämtlich entsprechende Auswirkungen auf das betreffende Rohrleitungssystem und müssen gemeinsam bei der Ermittlung der Gesamtdehnung (proportionale Formänderungen) in den einzelnen Abschnitten eines Rohrleitungssystems berücksichtigt werden.

Die Auswirkungen von Längsdehnungen der Rohrleitung durch Innendruck sind zu berücksichtigen. Diese Auswirkungen werden teilweise durch den Poissonschen Effekt der Ausdehnung in Umfangsrichtung aufgehoben.

12.2.4 Spannungen durch aufgeprägte Verschiebungen

12.2.4.1 Elastisches Verhalten

Spannungen in einer Rohrleitung können als proportional zur Gesamtdehnung aufgrund von Verschiebungen betrachtet werden, wenn diese Dehnungen gleichmäßig über die Rohrleitung verteilt sind und in keinem Punkt Dehnungsspitzen auftreten (ausgeglichenes System). Die Auslegung von Rohrleitungen sollte diesen ausgeglichenen Zustand zum Ziel haben, der auch für die Elastizitätsanalyse im Rahmen dieser Norm zugrunde gelegt wird.

12.2.4.2 Bleibende Verformung

Spannungen können nicht als proportional zur Dehnung aufgrund von Verschiebungen in einem Rohrleitungssystem betrachtet werden, wenn in bestimmten Abschnitten dieses Rohrleitungssystems örtlich begrenzt Dehnungskonzentrationen auftreten (unausgeglichenes System). Wird ein unausgeglichenes System im Zeitstandbereich betrieben, so können die Schädigungen durch Akkumulation der Kriechdehnung an den empfindlichsten Stellen des Systems verstärkt werden. Ein unausgeglichener Zustand kann folgende Ursachen haben:

- hohe Spannungen in kleinen Rohrabschnitten, die in Reihe mit großen oder verhältnismäßig steifen Rohrabschnitten verbunden sind;
- örtlich begrenzte Reduzierung von Durchmesser oder Wanddicke oder örtlich begrenzte Verwendung eines Werkstoffs mit niedrigerer Dehngrenze (z. B. Rundnähte unter Verwendung eines Schweißzusatzwerkstoffes mit wesentlich geringerer Festigkeit als der Grundwerkstoff);
- Rohrleitungssystem mit gleichbleibendem Durchmesser, bei dem die Dehnungen und Kontraktionen des Haupt-Rohrstrangs weitgehend von einem kurzen Versatzstück aufgefangen werden sollen;
- Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe oder Temperaturschwankungen in einer Rohrleitung.

Ein unausgeglichener Zustand, der zu örtlich begrenztem plastischen Versagen führt, muss durch eine entsprechende Auslegung des Rohrleitungssystems vermieden oder auf ein Mindestmaß reduziert werden; dies gilt insbesondere für Rohrleitungen aus Werkstoffen mit geringer Duktilität. Viele der Auswirkungen einer Unausgeglichenheit des Systems können durch gezielte Anwendung von Kaltvorspannung abgeschwächt werden. Lässt sich eine derartige Unausgeglichenheit konstruktionsbedingt nicht vermeiden, so muss eine ausreichende Elastizität vom Konstrukteur bei der Auslegung durch Anwendung geeigneter Analyseverfahren sichergestellt werden.

12.2.5 Spannungsschwingbreite

Durch Wärmedehnung verursachte Spannungen werden bei ausreichender Anfangshöhe im warmen Zustand durch örtliches Fließen oder Kriechen abgebaut. Es erfolgt eine Spannungsreduzierung, die nach dem Abkühlen des Bauteils gewöhnlich als Spannung mit umgekehrtem Vorzeichen auftritt.

Dieses Phänomen wird als Selbstvorspannung der Rohrleitung bezeichnet und hat eine ähnliche Wirkung wie die Kaltvorspannung. Das Ausmaß der Selbstvorspannung ist abhängig vom Werkstoff, vom Betrag der Anfangsdehnung, der fertigungsbedingten Eigenspannung, der Temperatur bei Hochtemperaturbetrieb und der Zeitdauer.

Während die elastische Spannung im warmen Zustand mit der Zeit abnimmt, bleibt die Summe der Dehnungen aufgrund der Wärmedehnung im warmen und kalten Zustand eines gegebenen Zyklus im Wesentlichen konstant. Diese Summe wird auch als Dehnungsschwingbreite bezeichnet. Um jedoch die Korrelation mit der zulässigen Spannung zu erleichtern, wird die Spannungsschwingbreite als Kriterium für die Auslegung von Rohrleitungen auf thermische Beanspruchung verwendet.

Die zulässige Spannungsschwingbreite ist nach 12.1.3.2 zu ermitteln.

Wird für eine Rohrleitung elastisches Verhalten für die gesamte Lebensdauer gefordert, so ist die zulässige Spannungsschwingbreite nach 12.1.3.2 zu ermitteln und darf die Summe aller Spannungen 0,95 der niedrigsten festgelegten Werkstoffdehngrenze nicht übersteigen.

12.2.6 Kaltvorspannung

Als Kaltvorspannung wird die gewollte elastische Verformung der Rohrleitung bei der Montage bezeichnet, mit der eine erwünschte Anfangsverschiebung und -spannung bewirkt wird. Der Nutzen der Kaltvorspannung besteht darin, dass sie die Höhe der Spannung durch Anfangsverschiebung und bei Bedingungen mit außergewöhnlichen Verschiebungen ausgleicht. In geeigneter Weise angewendet, bewirkt Kaltvorspannung eine verringerte Wahrscheinlichkeit einer bleibenden Verformung im Anfangsbetrieb. Sie wird für Rohrwerkstoffe mit geringer Duktilität empfohlen. Darüber hinaus sind bei kaltvorgespannten Rohrleitungen die Abweichungen von der Montagelage im Anfangsbetrieb geringer, so dass Rohraufhängungen nicht so stark aus ihrer ursprünglichen Lage verlagert werden.

ANMERKUNG Bei Verwendung von Kompensatoren ist Kaltvorspannung ein hilfreiches Mittel um die Beweglichkeit der Verbindung zu optimieren und Reaktionskräfte und Momente zu reduzieren.

Da die Ermüdungslebensdauer stärker durch die Größe der Spannungsänderung als durch die eigentliche Größe der Spannung zu einem gegebenen Zeitpunkt beeinträchtigt wird, darf die Kaltvorspannung in die Berechnungen der Spannungsschwingbreite nicht einfließen. Dagegen darf sie bei der Berechnung der Kräfte und Momente, für die die tatsächlichen Reaktionen und ihre Schwankungsbreite von Bedeutung sind, berücksichtigt werden.

Der Nutzen der Kaltvorspannung darf bei der Berechnung der Reaktionen mit nicht mehr als 60 % des ursprünglichen Werts angesetzt werden.

12.2.7 Parameter für die Elastizitätsanalyse

12.2.7.1 Wärmeausdehnungsbeiwerte

Die Schwankungsbreite der Wärmeausdehnung kann in Übereinstimmung mit Anhang G als Differenz der Einheitsausdehnungen bei der höchsten Metalltemperatur und bei der niedrigsten Metalltemperatur nach dem Abfahren bestimmt werden.

ANMERKUNG Werte für Werkstoffe, die nicht in Anhang G angegeben sind, sollten mitgeltenden Unterlagen entnommen werden.

12.2.7.2 Elastizitätsmodul

Für den Elastizitätsmodul E_t ist in der Elastizitätsanalyse der Wert bei der Temperatur der betrachteten Rohrleitungsbelastung zu verwenden.

Als Werte für den Elastizitätsmodul können die in Anhang G angegebenen Werte verwendet werden.

ANMERKUNG Werte für Werkstoffe, die nicht in Anhang G angegeben sind, sollten mitgeltenden Unterlagen entnommen werden.

12.2.7.3 Querkontraktionszahl

Für die Querkontraktionszahl (die Poissonsche Zahl) kann, sofern dies für die Elastizitätsanalyse erforderlich ist, für alle Stahlsorten bei allen Temperaturen der Wert 0,3 verwendet werden.

12.2.7.4 Elastizitäts- und Spannungsfaktoren

Wenn unmittelbar anwendbare Werte oder für Einzelfälle berechnete Werte nicht vorliegen, sind für die Berechnung die in Anhang H angegebenen Elastizitäts- und Spannungserhöhungsfaktoren zu verwenden.

ANMERKUNG Die in Anhang H angegebenen Spannungserhöhungsfaktoren wurden aus Ermüdungsprüfungen repräsentativer Rohrleitungsbauenteile aus duktilen ferritischen Werkstoffen abgeleitet. Die Werte für die zulässige Spannungsschwingbreite wurden in Prüfungen von Kohlenstoffstählen und austenitischen nichtrostenden Stählen ermittelt.

Für Rohrleitungsbauenteile und Anbauteile (wie z. B. Ventile, Siebe, Festpunkte, Ringe oder Bänder), die nicht in Anhang H aufgeführt sind, dürfen geeignete Spannungserhöhungsfaktoren durch Vergleich ihrer Geometrie mit der abgebildeter Bauteile angenommen werden.

12.2.8 Stützzustände

Je nach den gegebenen Erfordernissen sind Festpunkte, Führungen, Halterungen, Rohraufhängungen und andere externe Steuereinrichtungen zu verwenden, um sicherzustellen, dass die ordnungsgemäße Funktion der Kompensatoren nach 12.2.9 gegeben ist.

Der Begriff „Rohrhalterungen“ umfasst Festpunkte, starre Rohrhalterungen (z. B. Gleitlager und Führungen), Rohraufhängungen und Verbindungsteile sowie Federstützen/-hänger mit konstanter/variabler Kraft (siehe Abschnitt 13).

ANMERKUNG Stützzustände beschreiben die Fähigkeit, Kräften und Momenten an den Abstützpunkten standzuhalten; sie sollten durch mathematische Modelle dargestellt werden, die die Auslegung in ausreichender Weise wiedergeben.

Jede Rohrhalterung lässt sich durch 12 mathematische Funktionen wiedergeben. Werden diese in einem geeigneten dreidimensionalen Koordinatensystem mit den Achsen u , v , w dargestellt, so besteht eine unmittelbare Abhängigkeit zwischen richtungsgleichen Kräften und Verschiebungen einerseits und zwischen achsgleichen Momenten und Verdrehungen andererseits. Eine Kraft, die nicht aufgenommen wird, bewirkt eine Verschiebung in ihrer Wirkrichtung, und ein Moment, das nicht aufgenommen wird, bewirkt eine Verdrehung um seine Wirkachse.

Die 12 Funktionen sind:

- Aufnahme der in drei Richtungen wirkenden Kräfte F_u , F_v , F_w ;
- Aufnahme der um die Achsen u , v , w wirkenden Momente M_u , M_v , M_w ;
- Verschiebungen in drei Richtungen δ_u , δ_v , δ_w ;
- Verdrehungen φ_u , φ_v , φ_w um die Achsen u , v , w .

Für eine eindeutige Darstellung des Stützzustands einer Rohrhalterung sind sechs voneinander unabhängige Funktionen erforderlich.

Die Möglichkeit der ungehinderten Verschiebung in Richtung einer der drei Achsen sowie der ungehinderten Verdrehung um eine der drei Achsen wird als „Freiheitsgrad“ bezeichnet. Da sechs Freiheitsgrade gleichbedeutend sind mit völlig ungehinderter Bewegung, kann eine Rohrhalterung zwischen null und fünf Freiheitsgraden haben.

Typische Rohrhalterungen sind:

- Festpunkte: Rohrhalterungen, die Kräften und Momenten in allen Richtungen standhalten;
- Teilfestpunkte: Rohrhalterungen mit 1 bis 5 Freiheitsgraden;
- elastische Verbindungen von Bauteilen: Anschlusspunkte, z. B. für Kessel, Geräte, Pumpen usw., deren Fähigkeit zur Aufnahme von Kräften und Momenten von der Steifigkeit des Bauteils abhängt;
- Federhänger/-stützen: Rohrhalterungen, deren Fähigkeit zur Aufnahme von Kräften in linearer Beziehung zu Federrate und Verschiebung steht;
- Konstanthänger/-stützen: Rohrhalterungen mit konstanter Kraft über den Gesamtweg der Verschiebung;
- Stoßbremsen und Schwingungsdämpfer: Stoßbremsen sind Einrichtungen, die bei dynamischen Belastungen (z. B. hydraulischen Stößen) eine Kraft in Richtung der Bewegung aufnehmen. Schwingungsdämpfer werden zur Schwingungsreduzierung eingesetzt. Stoßbremsen und Schwingungsdämpfer nehmen keine Kräfte aufgrund statischer Belastungen (z. B. durch Eigengewicht, Wärmeausdehnung usw.) auf. Federstreben sind in zwei Richtungen wirkende federnde Rohrhalterungen mit Vorspannung und Rückstellung;
- Gelenkstreben: Gelenkstreben bilden eine Untergruppe zu Halterungen mit partieller Stützfunktion und verhindern die Verschiebung in Richtung des Anschlusses zwischen den Verbindungen (Gelenklager).

Die Rohrhalterungen sind so auszulegen, dass sie sämtlichen von der Rohrleitung übertragenen Lasten standhalten. Die Konstruktion bzw. Auslegung muss nach Abschnitt 13 erfolgen.

12.2.9 Kompensatoren

Nach ihrem unterschiedlichen Bewegungsverhalten sind zwei Kategorien von Kompensatoren zu unterscheiden. Diese beiden Kategorien sind:

- Unverspannt (axial und allseitig);
- Verspannt (winklig und seitlich).

Für unverspannte Kompensatoren sind geeignete Festpunkte und zusätzliche Führungen erforderlich, um ein Beulen des Rohrleitungssystems zu verhindern. Empfehlungen für die maximalen Abstände zwischen diesen Führungen sind in Anhang C angegeben.

Das Rohrleitungssystem ist entweder nach dem „Verfahren für starre Rohrleitungen“ zu prüfen oder durch eine Analyse nach 12.3 unter Verwendung der vom Hersteller angegebenen Elastizität des Kompensators.

12.2.10 Elastizitätsanalyse

12.2.10.1 Ausnahmen von formeller Elastizitätsanalyse

Eine formelle Elastizitätsanalyse ist nicht erforderlich, wenn das Rohrleitungssystem eine der nachstehenden Bedingungen erfüllt:

- es wird ohne wesentliche Änderungen zusätzlich oder als Ersatz für ein bestehendes Rohrleitungssystem mit zufrieden stellendem Betriebsnachweis eingebaut;
- es kann mit geringem Aufwand durch Vergleich mit einem anderen Rohrleitungssystem angemessen bewertet werden, für das bereits eine Analyse vorliegt;
- es hat einen einheitlichen Querschnitt, weist nicht mehr als zwei Festpunkte und keine Zwischenhalterungen oder sonstige Rohrführungskomponenten auf, ist für eine Lebensdauer von maximal 7 000 Volllastspielen (bei Gasrohrleitungen 1 000 Volllastspiele) ausgelegt und erfüllt die folgende empirische Gleichung:

$$\frac{D_o \cdot Y}{(L - l)^2} \leq 208,3 \quad (12.2.10-1)$$

Dabei ist

- D_o der Nennaußendurchmesser der Rohrleitung (mm);
 L die Strecklänge der Rohrleitung zwischen den Festpunkten (m);
 l der Abstand der Festpunkte (gerade Länge zwischen den Abstützpunkten) (m);
 Y die Resultierende der von der Rohrleitung aufzunehmenden Bewegungen (mm).

Die angegebene Gleichung ist ein Beispiel für ein in annehmbarer Weise vereinfachtes Analyseverfahren.

ANMERKUNG Es gibt keinen allgemeinen Beweis dafür, dass diese Gleichung zu genauen oder stets konservativen Ergebnissen führt. Sie wurde für ferritische Werkstoffe entwickelt und gilt nicht für stark wechselbeanspruchte Rohrleitungen. Bei bestimmten Konfigurationen sollte sie mit Vorsicht angewendet werden, so z. B. bei ungleichschenkligen U-förmigen Rohrbiegungen ($L/l > 2,5$), leicht „sägezahnförmigen“ Rohrsträngen, dünnwandigen Rohren mit großem Durchmesser oder bei Rohrleitungen, in denen durch äußere Kräfte bewirkte Verschiebungen (nicht in Richtung der Geraden zwischen den Abstützpunkten) den wesentlichen Teil der Gesamtverschiebung darstellen. Es besteht keine Sicherheit dafür, dass die Reaktionskräfte an den Anschlussstellen niedrig genug sind, selbst wenn die Rohrleitung die vorstehenden Bedingungen erfüllt.

12.2.10.2 Formelle Elastizitätsanalyse

Für Rohrleitungssysteme, die die Anforderungen in 12.2.10.1 nicht erfüllen, ist eine vereinfachte, näherungsweise oder detaillierte Analyse durchzuführen.

Das vereinfachte oder näherungsweise Verfahren ist nur zulässig, wenn die dafür vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten werden.

Annehmbare detaillierte Analyseverfahren arbeiten mit analytischen und graphischen Verfahren, die eine Bewertung der Kräfte, Momente und Spannungen aufgrund von Verschiebungsdehnungen ermöglichen.

In detaillierten Analysen sind für alle anderen Bauteile als gerade Rohrabschnitte Spannungserhöhungsfaktoren zu berücksichtigen. Diesen kann jedoch die Elastizität dieser Bauteile gegenübergestellt werden.

12.2.10.3 Grundlegende Annahmen und Anforderungen

12.2.10.3.1 Wenn irgend möglich ist die formelle Analyse an vollständigen Systemen zwischen Festpunkten oder Punkten durchzuführen, deren Randbedingungen bekannt sind. Hierzu können z. B. Symmetriearchsen gehören. Richtungen ungehinderter Bewegung und Befestigung an Rohrhalterungen sind in der Analyse zu simulieren.

ANMERKUNG Es sollte sorgfältig darauf geachtet werden, dass die Ausführung der Auslegung genau entspricht.

Reibungskräfte müssen betrachtet werden. Wird die Reibwirkung als erheblich angesehen, so sind die dadurch bedingten zusätzlichen Kräfte bei der Konstruktion der Rohrleitung zu berücksichtigen.

12.2.10.3.2 Ist eine Vereinfachung von Annahmen erforderlich, um die Komplexität der Elastizitätsanalyse zu verringern, so sind die Details der Vereinfachungen in den Auslegungsberechnungen darzulegen. Werden in Berechnungen oder Modellprüfungen vereinfachte Annahmen verwendet, so ist die mögliche Unterschätzung von Kräften, Momenten und Spannungen, einschließlich der Auswirkungen von Spannungskonzentrationen, zu bewerten.

12.2.10.3.3 Die Bedeutung sämtlicher Bauteile der zu analysierenden Rohrleitung und aller Halterungen, wie z. B. Rohrhalterungen und Führungen einschließlich Zwischenhalterungen, die zur Reduzierung von Kräften und Momenten an angeschlossenen Geräten oder kleinen Abzweigleitungen verwendet werden, ist zu bewerten.

12.2.10.3.4 Lineare Verschiebungen und Verdrehungen von angeschlossenen Komponenten sind zu berücksichtigen.

12.2.10.3.5 Für Rohrbiegungen, Abzweige, T-Stücke usw. sind Elastizitäts- und Spannungserhöhungsfaktoren, wie in Anhang H dargestellt, zu verwenden.

12.2.10.3.6 Für Analysezwecke und zur Bezeichnung von Wirkungen der Rohrleitung auf Anschlussgeräte (Kräfte, Momente, Verschiebungen und Verdrehungen) ist eine verbindliche, für diese Rohrleitung geltende Konvention der Symbole und Achsen zu erstellen.

12.2.10.3.7 Kleine Bauteile, die nur einen geringen Einfluss auf die Steifigkeit des Gesamtsystems haben, sind schematisch als Balken darzustellen, deren Querschnitte ihrer effektiven Steifigkeit annähernd entsprechen.

Große Bauteile, wie z. B. Kessel, können einen beträchtlichen Einfluss auf das Gesamtsystem haben. Deshalb müssen diese Bauteile mit ihren spezifischen Steifigkeiten im Analysemödell entsprechend dargestellt werden, z. B. durch Balkenlinien zum Abstützpunkt oder durch Darstellung des Tragwerks in Form einer Steifigkeitsmatrix.

12.2.10.3.8 Der Einfluss von Stützelementen ist im erforderlichen Ausmaß zu berücksichtigen. Erforderlichenfalls müssen die Steifigkeiten der Rohrhalterungen im Hinblick auf die Werte von Reaktionskräften und Momenten durch das Modell wiedergegeben werden.

12.2.10.3.9 Im Falle von anomalen Bedingungen liegt es in der Verantwortung des Planers des Rohrleitungssystems, die notwendige zusätzliche Wegreserve für Konstanthänger und -stützen sowie Federhänger und -stützen zu fordern.

12.2.10.3.10 Die Steifigkeiten von Kompensatoren sind als innere Steifigkeiten zu betrachten (Steifigkeitsmatrizen direkt eingesetzt).

Ermüdung durch Schallwellen kann in einem Rohrleitungssystem besonders dann auftreten, wenn die Eigenfrequenz des Systems mit der Frequenz der Schallquelle übereinstimmt. Dieses Problem wird in diesem Abschnitt nicht behandelt, und wenn mit seinem Auftreten zu rechnen ist, sollte gegebenenfalls der Rat von Fachleuten eingeholt werden.

12.3 Elastizitätsanalyse

12.3.1 Allgemeines

Um den sicheren Betrieb der betreffenden Rohrleitung sicherzustellen, ist, wie nachstehend beschrieben, eine Ermittlung und Begrenzung von Spannungen vorzunehmen.

Die Gleichungen (12.3.2-1) und (12.3.3-1) gelten für auslegungs- und betriebslastbedingte Längsspannungen und die Gleichungen (12.3.4-1) und (12.3.4-2) für Spannungsschwingbreiten aufgrund dieser Lasten, die Verformungen des Gesamtsystems verursachen.

Unter der Annahme, dass zwei Drittel der Spannung durch Relaxation abgebaut werden, wird in Gleichung (12.3.5-1) ein Drittel der aus Wärmeausdehnung und Wechselbeanspruchungen resultierenden Spannung in Hinblick auf das Werkstoffverhalten im Zeitstandbereich berücksichtigt.

Mit Gleichung (12.3.6-1) wird sichergestellt, dass eine einzelne nicht wiederkehrende Last keine den Werkstoff schädigende Dehnung verursacht.

Spannungen werden für die Nennwanddicke ermittelt.

ANMERKUNG 1 Die Spannungsgrenzen erfassen auch Wanddickenverringerungen, die für nahtlose und geschweißte Rohre nach den technischen Lieferbedingungen zulässig sind.

Werte für die Spannungserhöhungsfaktoren, i , sind in den Tabellen H-1 und H-2 angegeben.

Alternativ zu den in 12.3.2 bis 12.3.6 angegebenen Berechnungen können die Spannungen unter Verwendung der entsprechenden in Tabelle H-3 angegebenen Spannungserhöhungsfaktoren durch Zerlegen der Momente in Momente in und außerhalb der Betrachtungsebene genauer ermittelt werden.

In diesem Fall ist anstelle des Faktors 0,75 i für die Momente M_A , M_B und M_C in den Gleichungen (12.3.2-1), (12.3.3-1), (12.3.4-2) und (12.3.5-1) i_o bzw. i_i nach Tabelle H.3 zu verwenden. Desgleichen sind anstelle des Faktors i für die Momente M_C und M_D in den Gleichungen (12.3.4-1), (12.3.4-2), (12.3.5-1) und (12.3.6-1) i_o und i_i zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Der Druckterm $\frac{p_c d_o}{4e_n}$ in den Gleichungen (12.3.2-1), (12.3.3-1), (12.3.4-1), (12.3.4-2) und (12.3.5-1)

kann durch den alternativen Term $\frac{p_c d_i^2}{d_o^2 - d_i^2} + \frac{p_c}{2}$ ersetzt werden.

Für das allgemeine und das alternative Verfahren müssen die Spannungserhöhungsfaktoren, i , einschließlich des gegebenenfalls festgelegten Abminderungsfaktors von 0,75, mindestens den Wert 1,0 ($0,75 i \geq 1,0$) haben. Ergibt sich ein kleinerer Wert als 1, so ist der Mindestwert 1,0 zu verwenden.

Wenn erhebliche Korrosion/Erosion erwartet wird, dann ist diese in der Flexibilitätsanalyse wie folgt zu berücksichtigen. In den Gleichungen (12.3.2-1), (12.3.3-1), (12.3.4-1), (12.3.4-2), (12.3.5-1) und (12.3.6-1) wird für die Spannungsberechnung, für das Flächenträgheitsmoment, das Widerstandsmoment und den Spannungserhöhungsfaktor eine Wanddicke ($e_n - c_0$) verwendet, um sicherzustellen, dass die Auslegungsspannungskriterien erfüllt werden. Falls notwendig, müssen zwei Berechnungen mit e_n sowie mit ($e_n - c_0$) ausgeführt werden. Für die Berechnung der Stützlasten und Reaktionen (siehe 12.3.9) müssen die Nennwanddicken berücksichtigt werden.

12.3.2 Spannungen aufgrund ständig wirkender Lasten

Die Summe der durch den Berechnungsdruck p_c verursachten Primärspannungen σ_1 und des resultierenden Moments M_A aufgrund der Masse und anderer ständig wirkender mechanischer Lasten muss die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_1 = \frac{p_c d_o}{4e_n} + \frac{0,75 i M_A}{Z} \leq f_f \quad (12.3.2-1)$$

Dabei ist

M_A das aus den ständig wirkenden mechanischen Lasten resultierende Moment, das aus der ungünstigsten Kombination der folgenden Lasten ermittelt wird:

- Eigengewicht der Rohrleitung, einschließlich Isolierung, Ein- und Anbauteilen;
- Masse des Fluids;
- Innendruckkräfte aufgrund nicht entlasteter Axialkompensatoren usw.

f_f die Auslegungsspannung für die Elastizitätsanalyse, in N/mm² (MPa), wobei $f_f = \min(f; f_{cr})$.

Zur Berücksichtigung der Prüfdrucklasten in der Gleichung (12.3.2-1) muss der Berechnungsdruck p_c durch den Prüfdruck p_{test} ersetzt werden (siehe EN 13480-5). Zusätzlich muss die Dimensionierungsspannung f_f durch den Wert von 95 % von R_{eH} bei Prüftemperatur ersetzt werden.

12.3.3 Spannungen aufgrund gelegentlich wirkender oder außergewöhnlicher Lasten

Die Summe der durch den Innendruck p_c verursachten Primärspannungen σ_2 , des resultierenden Moments M_A aufgrund der Masse und anderer ständig wirkender mechanischer Lasten und des resultierenden Moments M_B aufgrund gelegentlich wirkender oder außergewöhnlicher Lasten muss die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_2 = \frac{p_c d_o}{4e_n} + \frac{0,75 i M_A}{Z} + \frac{0,75 i M_B}{Z} \leq k f_f \quad (12.3.3-1)$$

Dabei ist

M_B das aus den gelegentlich wirkenden oder außergewöhnlichen Lasten resultierende Moment, das aus der ungünstigsten Kombination der folgenden Lasten ermittelt wird:

- Windlasten ($T \leq T_B/10$);
- Schneelasten;

- dynamische Lasten durch Schaltvorgänge ($T \leq T_B/100$);
 - Seismische Lasten ($T \leq T_B/100$);
- f_f die Auslegungsspannung für die Elastizitätsanalyse, in N/mm² (MPa), wobei $f_f = \min(f; f_{cr})$.
- $k = 1$ wenn eine gelegentlich wirkende Last über mehr als 10 % eines beliebigen Betriebszeitraums von 24 h wirkt, z. B. ortsüblicher Schneefall, ortsüblicher Wind.
- $k = 1,15$ wenn eine gelegentlich wirkende Last über weniger als 10 % eines beliebigen Betriebszeitraums von 24 h wirkt.
- $k = 1,2$ wenn eine gelegentlich wirkende Last über weniger als 1 % eines beliebigen Betriebszeitraums von 24 h wirkt, z. B. dynamische Lasten durch Schließen/Öffnen von Ventilen, bei der Auslegung berücksichtigte Erdbeben.
- $k = 1,3$ bei außergewöhnlichen Lasten mit sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, z. B. sehr schwerer Schneefall/Wind (d. h. mit dem 1,75fachen der üblichen Stärke).
- $k = 1,8$ bei Sicherheitsabschaltung wegen Erdbeben.
- p_c ist der beim betrachteten Lastzustand auftretende maximale Berechnungsdruck, wobei der Berechnungsdruck als Mindestwert zu verwenden ist.

Auswirkungen durch Verschiebung von Festpunkten aufgrund von Erdbeben können unberücksichtigt bleiben, sofern sie in Gleichung (12.3.4-1) berücksichtigt sind.

Sofern nicht anders festgelegt, gelten folgende Vereinbarungen:

- Die Wirkzeit T entspricht den in Klammern angegebenen Werten bezogen auf die Gesamtbetriebszeit T_B ;
- Schnee- und Windlasten wirken nicht gleichzeitig;
- Lasten mit $T \leq T_B/100$ wirken nicht gleichzeitig.

12.3.4 Spannungsschwingbreite aufgrund von Wärmeausdehnung und Wechselbeanspruchung

Die durch das resultierende Moment M_C aufgrund von Wärmeausdehnung und Wechselbeanspruchung, z. B. seismische Lasten, verursachte Spannungsschwingbreite σ_3 muss die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_3 = \frac{i M_C}{Z} \leq f_a \quad (12.3.4-1)$$

Wird Gleichung (12.3.4-1) nicht erfüllt, so muss die Summe der Spannungen σ_4 , verursacht durch den Berechnungsdruck p_c und die resultierenden Momente M_A aufgrund ständig wirkender mechanischer Lasten und die resultierenden Momente M_C aufgrund von Wärmeausdehnung und Wechselbeanspruchung die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_4 = \frac{p_c d_o}{4e_n} + \frac{0,75 i M_A}{Z} + \frac{i M_C}{Z} \leq f_f + f_a \quad (12.3.4-2)$$

Dabei ist

M_C die Schwingbreite des resultierenden Moments aufgrund thermischer Ausdehnung und wechselnder Lasten, die aus der größten Differenz zwischen Momenten unter Verwendung des Elastizitätsmoduls bei den entsprechenden Temperaturen bestimmt werden muss. Die größte Differenz der Momente muss aus der Kombination der Betriebsbedingungen wie in Abschnitt 4.2.5.1 beschrieben gewonnen werden, die zum größten Wert für M_C führt. Dabei muss auch der Nullzustand berücksichtigt werden, wo zutreffend.

f_f die Auslegungsspannung für die Elastizitätsanalyse, in N/mm² (MPa), mit $f_f = \min(f, f_{cr})$.

Dabei sind die folgenden Faktoren besonders zu beachten:

- Dehnung in Längsrichtung, einschließlich Verschiebungen an Anschlusspunkten durch Wärmeausdehnung und Innendruck;
- Verschiebungen an Anschlusspunkten durch Erdbeben, wenn die Auswirkungen von Verschiebungen von Festpunkten in Gleichung (12.3.3-1) weggelassen wurden;
- Windbedingte Bewegungen an Anschlussstellen;
- Reibungskräfte.

Darüber hinaus ist der Beanspruchungszustand der Rohrleitung beim Abfahren zu betrachten. Eine gegebenenfalls beim Einbau vorgenommene Kaltvorspannung bleibt unberücksichtigt, d. h. der für M_C zugrunde gelegte Betriebsfall ist so auszulegen, als wäre keine Kaltvorspannung vorhanden.

12.3.5 Zusätzliche Bedingungen für den Zeitstandbereich

Bei Rohrleitungen, die im Zeitstandbereich betrieben werden, muss die Spannung σ_5 , verursacht durch den Berechnungsdruck p_c das resultierende Moment M_A aufgrund der Masse und anderer ständig wirkender mechanischer Lasten und das resultierende Moment M_C aufgrund von Wärmeausdehnung und Wechselbeanspruchungen die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_5 = \frac{p_c d_o}{4 e_n} + \frac{0,75 i M_A}{Z} + \frac{0,75 i M_C}{3Z} \leq f_{CR} \quad (12.3.5-1)$$

Wird nicht durch eine eingehende Analyse des inelastischen Verhaltens ein anderer Wert nachgewiesen, wird in Gleichung (12.3.5-1) zur Berücksichtigung der Zeitstandfestigkeit des Werkstoffverhaltens ein Drittel des Wertes von Moment M_C verwendet.

12.3.6 Spannungen aufgrund einmaliger Verschiebung von Rohrhalterungen

Ist die in Abschnitt 5 angegebene Auslegungsspannung zeitunabhängig, so muss die durch das resultierende Moment M_D aufgrund einer einmaligen Verschiebung von Rohrhalterungen verursachte Spannung σ_6 die nachstehende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_6 = \frac{i M_D}{Z} \leq \min(2R_{p0,2,t}; R_m) \quad (12.3.6-1)$$

Dabei ist

M_D das resultierende Moment aufgrund einer einmaligen Verschiebung von Rohrhalterungen, z. B. Bewegungen an Anschlusspunkten durch Setzen von Fundamenten oder Erdbewegungen durch Bergbauarbeiten.

Ist die in Abschnitt 5 angegebene Auslegungsspannung zeitabhängig, so darf die berechnete Spannung folgende Werte nicht überschreiten:

- bei ferritischen Stählen das 0,3fache der 0,2%-Dehngrenze bei Berechnungstemperatur;
- bei austenitischen Stählen das 0,3fache der 1,0%-Dehngrenze bei Berechnungstemperatur.

ANMERKUNG Es ist möglich, dass an einem kleinen Teil des Rohrleitungssystems erhebliche inelastische Dehnung auftritt, während sich das restliche System nahezu vollkommen elastisch verhält. Dies ist der Fall, wenn der betroffene Teil aufgrund geringeren Querschnitts, schwächerer Werkstoffe oder höherer Temperaturen erheblich schwächer ist. Bedingungen, unter denen erhebliche inelastische Dehnungen auftreten, sind vorzugsweise zu vermeiden. Ist das nicht möglich, so sollte eine eingehende Analyse des inelastischen Verhaltens vorgenommen werden.

12.3.7 Bestimmung der resultierenden Momente

Bei der Bestimmung der Werte der Momente M_A , M_B , M_C und M_D in den Gleichungen in 12.3.2 bis 12.3.6 sind die folgenden grundsätzlichen Regelungen zu beachten.

Für n gleichzeitig wirkende Momente M_i ($i = 1, 2, \dots, n$) mit den Koordinaten M_{xi} , M_{yi} , M_{zi} in einem rechtwinkligen Koordinatensystem x, y, z ist das resultierende Gesamtmoment M gleich der Summe der Momente:

$$\vec{M} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_1^n M_{xi} \\ \sum_1^n M_{yi} \\ \sum_1^n M_{zi} \end{pmatrix} \quad (12.3.7-1)$$

und

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (12.3.7-2)$$

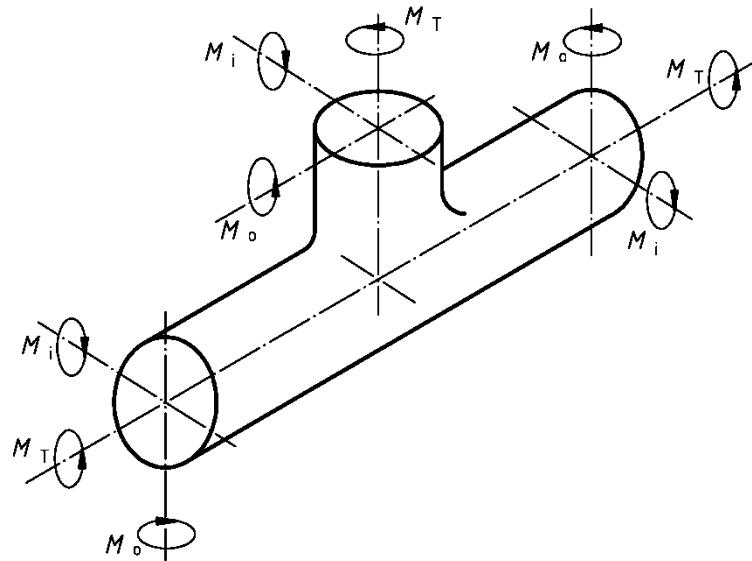
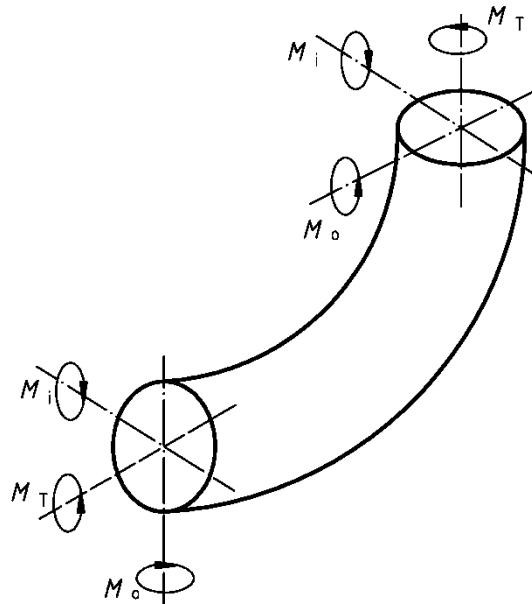
Wirkt zu einem Zeitpunkt T_a das Gesamtmoment M_{Ta} und zu einem anderen Zeitpunkt T_e das Gesamtmoment M_{Te} , dann haben die resultierenden wechselnden Momente den Wert der Differenz zwischen den Momenten:

$$\vec{M} = \vec{M}_{Te} - \vec{M}_{Ta} = \begin{pmatrix} M_x' \\ M_y' \\ M_z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{x,Te} - M_{x,Ta} \\ M_{y,Te} - M_{y,Ta} \\ M_{z,Te} - M_{z,Ta} \end{pmatrix} \quad (12.3.7-3)$$

Dabei ist

$$M' = \sqrt{M_x'^2 + M_y'^2 + M_z'^2} \quad (12.3.7-4)$$

Beispiele für die an T-Stücken und Rohrbiegungen auftretenden Momente sind auf den Bildern 12.3.7-1 und -2 wiedergegeben.

**Legende** M_o ist das Biegemoment außerhalb der Betrachtungsebene; M_i ist das Biegemoment in der Betrachtungsebene; M_T ist das Torsionsmoment; M_R ist das resultierende Moment $\sqrt{M_o^2 + M_i^2 + M_T^2}$.**Bild 12.3.7-1 — Momente an einem T-Stück****Legende** M_o ist das Biegemoment außerhalb der Betrachtungsebene; M_i ist das Biegemoment in der Betrachtungsebene; M_T ist das Torsionsmoment; M_R ist das resultierende Moment $\sqrt{M_o^2 + M_i^2 + M_T^2}$.**Bild 12.3.7-2 — Momente an einer Rohrbiegung**

12.3.8 Alternative Methode zur Spannungsberechnung

In den Gleichungen 12.3.2-1, 12.3.3-1, 12.3.4-1, 12.3.4-2, 12.3.5-1 und 12.3.6-1 können die mit dem resultierenden Moment bestimmten Spannungen (Gleichung 12.3.7-2 oder 12.3.7-4) auch mit der folgenden Gleichung (12.3.8.-1) berechnet werden:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_0 M_0)^2 + M_t^2}}{Z} \quad (12.3.8-1)$$

dabei ist

M_i das Biegemoment in der Ebene

M_0 das Biegemoment außerhalb der Ebene

M_t das Torsionsmoment

i_i der Spannungserhöhungsfaktor in der Ebene (Anhang H)

i_0 der Spannungserhöhungsfaktor außerhalb der Ebene (Anhang H)

Z das Widerstandsmoment des Bauteils

12.3.9 Reaktionskräfte

Die berechneten Reaktionskräfte an angeschlossenen Geräten dürfen die festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten.

12.4 Ermüdungsanalyse

Ist nach Abschnitt 10 eine Ermüdungsanalyse erforderlich, so müssen die Spannungsschwingbreiten und die entsprechenden zulässigen Lastspielzahlen für sämtliche festgelegten Belastungszustände an wesentlichen Punkten des Rohrleitungssystems ermittelt werden.

ANMERKUNG 1 Das Berechnungsverfahren in EN 12952-3 einschließlich der betreffenden Anhänge kann für eine annehmbare Analyse in den Fällen verwendet werden, wenn äußere Kräfte und Momente keinen wesentlichen Einfluss haben. Alternativ kann das Berechnungsverfahren in EN 13445-3 angewendet werden.

ANMERKUNG 2 Die Ermüdungsanalyse von Kompensatoren ist nicht Gegenstand dieses Abschnitts.

12.5 Schwingungen

Wenn beispielsweise durch die Bewegung des Fluids in der Rohrleitung oder durch äußere Wechselbeanspruchungen Schwingungen verursacht werden können, muss der Konstrukteur der Rohrleitung das Ausmaß des Problems abwägen und die folgenden Maßnahmen zur Beseitigung oder Verminderung der Auswirkungen von Schwingungen untersuchen:

- Gestaltung eines Rohrverlaufs mit anderer Eigenfrequenz;
- Einbau zusätzlicher Rohrhalterungen in der Nähe von drehenden/vibrierenden Geräten;
- Einbau zusätzlicher Rohrhalterungen im Bereich von Lastkonzentrationen;
- zusätzliche Festpunkte;
- Einbau von Stoßbremsen oder Schwingungsbremsen an Stellen, an denen Wärmeausdehnung auftritt;
- Verwendung von Rohrführungen insbesondere an Richtungsänderungspunkten;

- bevorzugte Verwendung von Gleitlagern statt Aufhängungen;
- Änderung der Anzahl von Federstützen.

13 Rohrhalterungen

13.1 Allgemeine Anforderungen

13.1.1 Allgemeines

Abschnitt 13 enthält die Anforderungen an die Unterstützung und Lenkung der Bewegungen von Rohrleitungssystemen, die den Anforderungen nach EN 13480 unterliegen. Abschnitt 13 ist in einer logischen Reihenfolge strukturiert, um dem Anwender zu helfen: allgemeine Anmerkungen, Auswahl von Rohrhalterungen und Herstellung von Rohrhalterungen.

ANMERKUNG Siehe auch Anhang I, Anhang J, Anhang K, Anhang L, Anhang M und Anhang N.

Dieser Abschnitt gilt weder für Tragwerke, an denen Rohrhalterungen befestigt sind, noch für Betriebsbedingungen, unter denen Korrasion und Erosion auftreten.

Rohrhalterungen sind in drei Kategorien eingeteilt:

- starre Rohrhalterungen;
- flexible Rohrhalterungen;
- Zwischen-(Sekundär-)Stahltragwerk.

Rohrhalterungen sind Tragelemente, die die Rohrleitung mit der umgebenden Tragwerkkonstruktion verbinden. Sie müssen:

- das Gewicht der Rohrleitung und der mit ihr verbundenen Einrichtungen tragen;
- die Bewegung der Rohrleitung lenken;
- statische (und, falls vorkommend auch dynamische) Lasten von der Rohrleitung auf die umgebenden Strukturen ableiten.

13.1.2 Klassifizierung der Halterungen

Halterungen müssen gemäß DGRL-Klassifizierung der Rohrleitung klassifiziert sein (siehe Tabelle 13.1.2-1).

Tabelle 13.1.2-1 — Klassifizierung von Rohrhalterungen

Rohrleitungs-Kategorie nach DGRL	Klasse der Halterungen
III	S 3
II	S 2
I / keine ^a	S 1

^a Einschließlich einer guten Ingenieurpraxis des Mitgliedslandes nach DGRL, Artikel 4.3.

Haben Rohrleitungen verschiedener Kategorien nach DGRL gemeinsame Rohrhalterungen, müssen diese den Anforderungen der jeweils höchsten Klasse entsprechen.

ANMERKUNG Aus Gründen der Fertigungsharmonisierung kann es zweckmäßig sein, einige Halterungen gemäß höherer Klassen zu liefern als nach der Rohrleitungsklasse erforderlich.

13.1.3 Zusätzliche Definitionen

Für die Anwendung von Abschnitt 13 gelten zusätzlich zu den in 3.1 angegebenen die folgenden Definitionen:

13.1.3.1

Festpunkt (Anker)

Starre Vorrichtung, die an der Stützstelle jegliche relative Verdrehung und Verschiebung der Rohrleitung bei den spezifizierten Auslegungsbedingungen für Temperatur und Belastung verhindert oder begrenzt

13.1.3.2

Axialstopf

Einrichtung zur Verhinderung der axialen Verschiebung der Rohrleitung

13.1.3.3

Führungsgeber

Einrichtung, die die Bewegungen der Rohrleitung in einer vorbestimmten Richtung zulässt und in einer oder mehreren anderen Richtungen verhindert

13.1.3.4

Gleitlager (Gleitschuh)

Einrichtung, die die senkrechte Komponente einer Last aufnimmt und Abwärtsbewegungen verhindert, ohne Verschiebungen oder Verdrehungen in der Horizontalebene nennenswert zu behindern

13.1.3.5

Rollenlager

Rohrunterstützung mit einer oder mehreren Rollen mit niedriger Rollreibung

13.1.3.6

starre Abhängung, starre Unterstützung

Einrichtung, die in eine Richtung (vertikal, nach unten) wirkende Lasten aufnimmt, jedoch Bewegungen in diese Richtung behindert

13.1.3.7

Federhänger, Federstütze

Rohrhalterung mit veränderlichem Kraft-Weg-Verhalten, als Hänger oder Stütze ausgeführt, die vertikal wirkende Lasten aufnimmt, jedoch Verschiebungen in vertikaler Richtung zulässt

13.1.3.8

Konstanthänger, Konstantstützen

Rohrhalterung mit konstantem Kraft-Weg-Verhalten, als Hänger oder Stütze ausgeführt, die vertikal wirkende Lasten aufnimmt, jedoch Verschiebungen in vertikaler Richtung zulässt

13.1.3.9

Federstreben

vorgespannte federnde Halterung, die eine Rückstellkraft auf verschobene Rohrleitungen ausübt

13.1.3.10

Gelenkstrebe

Rohrhalterung, die die Rohrleitung in einer Richtung hält, wird in den meisten Fällen für dynamische Belastung verwendet

13.1.3.11

Stoßbremse

Einrichtung, die schnelle Bewegungen der dynamisch belasteten Rohrleitung in ihrer Wirkungsrichtung begrenzt, während sie langsame Bewegungen (z. B. durch Wärmeausdehnung) zulässt

13.1.3.12

Hersteller der Rohrhalterung

Hersteller der Rohrhalterungskomponenten (z. B. Hänger, Schellen, Gewindeteile), verantwortlich für die Auslegung dieser Komponenten

13.1.3.13

Konstrukteur der Halterung

Person oder Unternehmen, welche/welches die gesamte Rohrhalterungen plant, bzw. auslegt und die Halterungszeichnungen erstellt, verantwortlich für die Auswahl der korrekten Rohrhalterungs-Standardkomponenten

13.1.3.14

Konstrukteur des Haupttragwerks

Person oder Unternehmen, welche/welches für das Haupttragwerk des Gebäudes verantwortlich ist (Tragwerksplanung / Statiker)

13.1.3.15

normale Betriebslast

Last, die aus den in 4.2.5.1 definierten Lastzuständen folgt

13.1.3.16

gelegentlich wirkende Last

Last, die aus den in 4.2.5.2 definierten Lastzuständen folgt

13.1.3.17

Schadensfalllast

Last, die aus den in 4.2.5.3 definierten Lastzuständen folgt (beispielsweise Sicherheitsabschaltung unter Erdbebenbedingungen), nach welcher eine Inspektion der Halterungen notwendig ist

13.1.3.18

festgelegte Rohrlast

die vom Käufer/Konstrukteur der Rohrleitung festgelegte Last, zur Bestimmung der Einstelllast

13.1.3.19

Einstelllast

Last, auf die die Konstanthänger oder Konstantstützen vom Hersteller eingestellt werden, beinhaltet die festgelegte Rohrlast und das zusätzliche Gewicht der Rohrabschlussteile (z. B. Rohrschelle, Gewindestange, Traverse)

13.1.3.20

Voreingestellte Last, Montagelast

Last, auf die Federhänger oder Federstützen bei der Lieferung eingestellt sind

13.1.3.21

Montagestellung, Voreingestellte Stellung

Stellung innerhalb des maximalen Arbeitsweges, auf welche die Konstant-/Federhänger oder die Konstant-/Federstützen bei Lieferung blockiert sind

13.1.3.22

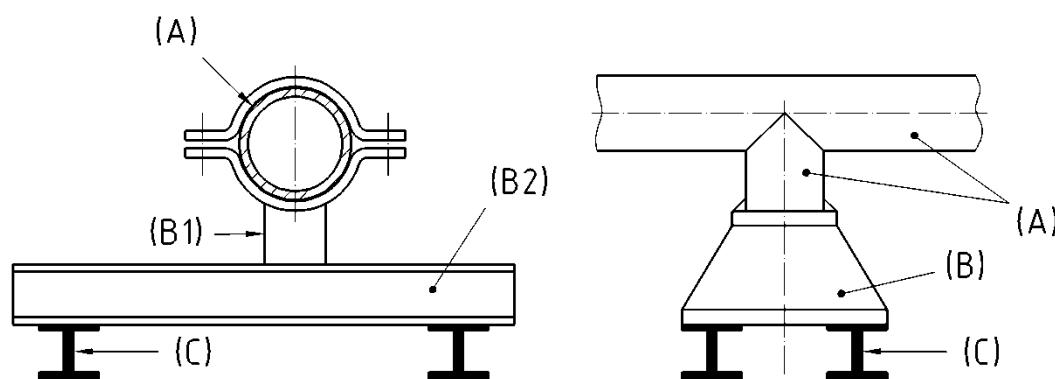
normale Betriebsstellung

die Stellung, auf welche der Konstant-/Federhänger oder Konstant-/Federstütze bewegt wird, wenn sich die Anlage im normalen Betriebszustand befindet

13.1.4 Abgrenzung

Die Abgrenzung zwischen Halterung und umgebendem Tragwerk ist wie in den Bildern 13.1.4-1 bis 13.1.4-3 dargestellt vorzunehmen.

Rohrhalterungen (B – B1 – B2) müssen in Übereinstimmung mit dem Abschnitt 13 dieses Dokuments, welches mit der DGRL harmonisiert ist, ausgelegt werden.



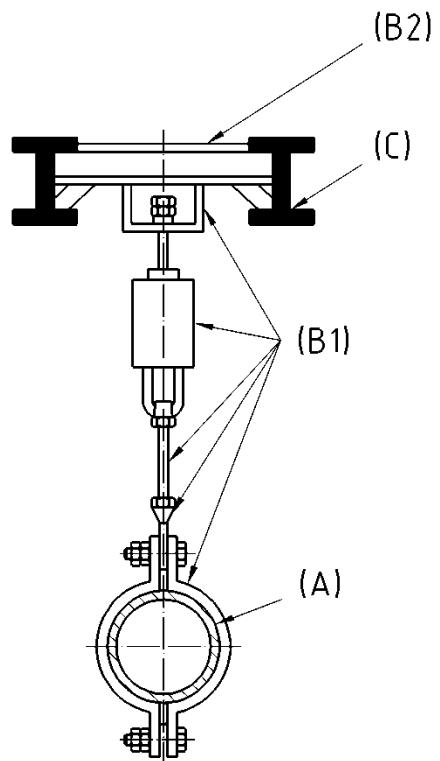
Rohrhalterungen aus standardisierten Bauteilen

Kundenspezifische Rohrhalterung

Legende

- (A) Rohr
- (B) Rohrhalterung
- (B1) Rohrhalterung (z. B. Rohrlager)
- (B2) Rohrhalterung (z. B. Zwischen-Stahltragwerk)
- (C) Tragwerk

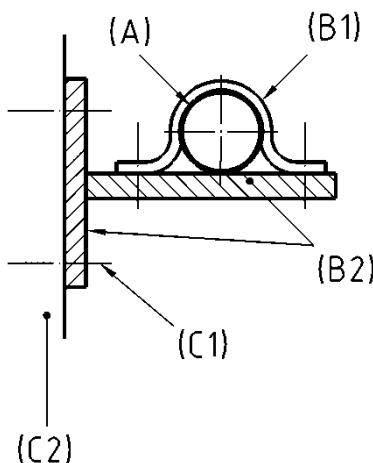
Bild 13.1.4-1 — Verbindungen zu Stahltragwerken



Legende

- (A) Rohr
- (B1) Rohrhalterung (z. B. Rohrschelle, Federhänger, Gewindestangen, Verbindungsbauteile)
- (B2) Rohrhalterung (z. B. Zwischen-(Sekundär-)Stahltragwerk)
- (C) Tragwerk

Bild 13.1.4-2 — Beispiel für die Verbindung von Federhänger und Tragwerk



Legende

- (A) Rohr
- (B1) Rohrhalterung (z. B. Rohrschelle)
- (B2) Rohrhalterung (z. B. Zwischen-Stahltragwerk)
- (C1) Schrauben als Teil des Tragwerks
- (C2) Tragwerk

Bild 13.1.4-3 — Schraubverbindungen einer starren Rohrhalterung an Tragwerken

13.1.5 An das Rohr geschweißte Rohrhalterungen

13.1.5.1 Sind Rohrhalterungen unmittelbar an die Rohrleitung angeschweißt, so müssen die Schweißungen nach EN 13480-4 ausgeführt sein. Die Halterungen müssen die Anforderungen aus Abschnitt 11 erfüllen. Spannungen aufgrund unterschiedlicher Ausdehnung von Rohr und angeschweißter Rohrhalterung sind bei der Auslegung von Rohrhalterungen und Rohrleitung zu berücksichtigen.

13.1.5.2 Ist ein Anbauteil in einem Stück mit dem Rohr geschmiedet oder gegossen, so muss jede Schweißnaht innerhalb eines Abstandes

$$l = \sqrt{2 d_m e} \quad (13.1.5.2-1)$$

von der Rohroberfläche den Anforderungen nach EN 13480-4 entsprechen, es sei denn, es kann nachgewiesen werden, dass Schweißnaht und von Wärme beeinflusster Bereich keinen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Rohrwandung haben,

dabei ist

e die Wanddicke,

d_m der mittlere Rohrdurchmesser.

13.1.5.3 Ist ein Rohrhalterungsbauteil über ein Zwischenelement oder eine Zwischenplatte mit einem Rohr verbunden, so muss der Werkstoff dieser Zwischenplatte mit dem Rohrwerkstoff verträglich sein, und die Schweißnähte zwischen Platte und Rohr müssen den Anforderungen an das Schweißen von Rohren entsprechen. Schweißnähte zwischen Rohrhalterung und Zwischenplatte müssen nach Abschnitt 11 und 13.11.1 ausgeführt sein.

13.2 Auswahl der Rohrhalterungen

13.2.1 Allgemeines

Rohrhalterungen können definiert werden als:

- standardisierte Halterungen;
- kundenspezifische (speziell ausgelegte) Halterungen.

Standardisierte Rohrhalterungen sind Komponenten, die über erwiesene Lastkapazitäten verfügen und katalogisiert sind.

Kundenspezifische Rohrhalterungen sind so zu konstruieren, dass sie den Anforderungen an die Rohrleitungsauslegung entsprechen. Die Auslegung der Halterungen ist durch Berechnung nach diesem Abschnitt oder durch eine Baumusterprüfung (Tragfähigkeit) nachzuweisen. Die Verfahren der Baumusterprüfung müssen Anhang I entsprechen. Wenn baumustergeprüfte Teile verwendet werden, muss die Betriebstemperatur berücksichtigt werden.

Die Verwendung standardisierter Rohrhalterungstypen ist zulässig, sofern die Eignung ihrer Konstruktion für die gegebenen Bedingungen zuvor durch Berechnung oder Prüfung nachgewiesen wurden.

Der Konstrukteur der Rohrleitung muss für die Auslegung der Rohrhalterungen genaue Angaben zu der Temperatur des Rohres, den Belastungen und Bewegungen an den ausgewiesenen Stützstellen des Rohres liefern.

ANMERKUNG 1 Diese Angaben sind gewöhnlich das Ergebnis einer Elastizitätsanalyse der Rohrleitung (siehe 12.2.10).

Die folgenden Kriterien müssen bei der Auswahl der Rohrhalterungen angewandt werden:

- die maximale Auslenkung der Gewinde-/Zugstangen aus der Vertikalen darf 4° nicht überschreiten;
- die Halterungen müssen alle festgelegten Verschiebungen und Rotationen erlauben;
- die Veränderung der Unterstützungswirkung der Federhänger und -stützen sollten 25 % nicht übersteigen, sofern nicht anderweitig durch eine Analyse der Rohrleitung nach Abschnitt 12 begründet;
- für Feder- und Konstantstützen müssen mögliche Horizontalkräfte aus seitlicher Verschiebung berücksichtigt werden, damit die Funktionsfähigkeit gewährleistet bleibt: siehe 13.3.;
- eine ausreichende Wegreserve muss bei der Auswahl von Stoßbremsen, konstanten oder federnden Halterungen vorgesehen werden: siehe 13.3.

ANMERKUNG 2 Halterungen im Nahbereich von empfindlichen Komponenten (z. B. drehenden Maschinen) oder an Punkten, an denen die Rohrleitung unzulässige Belastungen der angeschlossenen Geräte verursachen könnte, können gegebenenfalls besondere Beachtung erfordern.

Bei der Auswahl der Halterungen ist es notwendig, die Umgebungseinwirkungen zusätzlich zu den Prozessanforderungen zu berücksichtigen, beispielsweise Wind-, Schnee- oder Eislast.

Ist die Rohrleitung anderen äußeren Einwirkungen (Schwingungen, strukturellen Verschiebungen, Bodenbewegungen, Erdbeben usw.) ausgesetzt, so muss der Konstrukteur der Rohrleitung diese Auswirkungen in die Daten einfließen lassen, welche an den Konstrukteur der Halterungen weitergegeben werden.

Bei der Auswahl/Auslegung der Rohrhalterungen und zugehöriger Konstruktionen sind Belastungen durch eine Flüssigkeitsdruckprüfung zu berücksichtigen.

Der Konstrukteur der Rohrleitungen muss bestätigen, dass die Rohrhalterungen keine Spannungen oder Verformungen hervorrufen, die für die Rohrleitung zulässigen Werte an irgendeinem Punkt der Rohrleitung überschreiten.

Der Konstrukteur der Rohrleitungen muss bestätigen, dass die von den Reaktionskräften der Rohrhalterungen hervorgerufenen Belastungen an Festpunkten oder Anschlussstellen in Kombination mit Wärmeausdehnung und Reibungskräften die nach Abschnitt 12 erhaltenen Berechnungswerte nicht überschreiten.

Die Auslegung der Rohrhalterungen darf ohne Zustimmung des Rohrleitungskonstrukteurs keine Veränderungen der vorhergesagten Bewegungen und Belastungen bewirken.

Erforderliche Wartungsarbeiten und Beschränkungen der Lebensdauer müssen vom Hersteller der Rohrhalterungen im Rahmen der Dokumentation festgelegt werden (siehe Anhang N).

Bei Halterungen, die Wechselbeanspruchungen und Bewegungen ausgesetzt sind (z. B. Stoßbremsen oder Gelenkstreben), müssen sämtliche Halterungsbauteile die festgelegten Anforderungen an Lastspielzahlen erfüllen. Zu Einzelheiten, siehe 13.11.8 und 13.11.9.

Das Rohr-Anbauteil muss aus einem für die Auslegungstemperatur geeigneten und mit dem Rohrleitungswerkstoff verträglichen Werkstoff gefertigt sein, sowie, falls geschweißt, kompatibel mit dem Rohrmaterial sein oder eine geeignete Wärmeisolierung umfassen (siehe Abschnitt 11 und 13.11.1).

13.2.2 Einzelheiten der Auslegung von Rohrhalterungen

13.2.2.1 Bauteile mit Kontakt zur Rohrleitung sind vom Konstrukteur der Rohrleitung so zu berücksichtigen, dass es nicht zu Lastkonzentrationen an der Rohrwandung kommt, die örtlich begrenzte plastische Verformungen des Rohrs verursachen könnten.

13.2.2.2 Einzelheiten sind so auszulegen, dass das Rohr fest in der Rohrhalterung gelagert ist und Maßtoleranzen von Rohr und Rohrhalterung falls notwendig kompensiert werden können.

13.2.2.3 Sämtliche Abhängungen müssen einstellbar sein.

Abhängungen für Rohre mit einem Durchmesser über DN 100 müssen so ausgelegt sein, dass sie unter Betriebslast eingestellt werden können.

Bei der Verwendung einer Gewindestange muss eine volle Einschraubtiefe aufrechterhalten werden. Die Mindestlänge der Einschraubtiefe darf nicht weniger als das 0,8-fache des Gewindedurchmessers sein; Ausnahmen müssen rechnerisch belegt werden.

Sämtliche Muttern, Bolzen oder sonstigen Befestigungsteile müssen Sicherungen aufweisen.

13.2.2.4 Werden an ein senkrechtes Rohr rechteckige Anbauteile (Knaggen) zur Aufnahme der Gewichtskraft und anderer Lasten angeschweißt, so müssen diese in angemessener Anzahl gleichmäßig am Rohrumfang verteilt und sorgfältig platziert sein, um gleichmäßigen Kontakt mit der Rohrschelle sicherzustellen. Übermäßige Biegemomente an der Rohrwand sollten vermieden werden; die Spannungssituation der Rohrwand sollte vom Konstrukteur der Rohrleitung überprüft werden, z. B. gemäß Abschnitt 11 und 13.11.1.

13.2.2.5 Starre Doppel-Abhängungen für senkrechte Rohre müssen so ausgelegt sein, dass die Last sicher von jeder Gewindestange aufgenommen werden kann, sofern nicht die Konstruktion durch den Einsatz von Schellen für runde oder rohrförmige angeschweißte Anbauteile (Rohrschellen für Rundnocken) eine ungleichmäßige Lastverteilung vermeidet.

13.2.2.6 Die Verbindung der Rohrhalterungen mit dem Haupttragwerk muss zwischen dem Konstrukteur der Halterung und dem Konstrukteur des Haupttragwerks geklärt werden, wobei letzter sicherstellen muss, dass sämtliche von der Rohrleitung auf das Tragwerk übertragenen Lasten (einschließlich Reibungskräften) die zulässigen Grenzwerte nicht überschreiten (zu Beispielen siehe Anhang K).

13.2.2.7 Druckbelastete Rohrhalterungen und Sekundär- oder Zwischenstahltragwerk müssen mit einer ausreichenden Knicksicherheit ausgelegt sein (siehe die Hinweise in Anhang L).

13.2.3 Lage der Halterungen

Die Lage der Halterungen ist auf Grundlage der Elastizitätsanalyse oder durch Bewertung der abzustützenden Lasten vom Konstrukteur der Rohrleitung festzulegen. In jedem Fall sind geeignete Verbindungen mit dem umgebenden Tragwerk und, falls erforderlich, der Einbau von Zwischentragwerkskonstruktion oder -rahmen bei der Auslegung der Rohrhalterung zu berücksichtigen.

13.3 Konstanthänger/ Konstantstützen

13.3.1 Allgemeines

Konstanthänger/-stützen werden vom Rohrleitungskonstrukteur im Allgemeinen dann vorgeschrieben, wenn die Vertikalbewegungen der Rohrleitung verhältnismäßig groß sind und hohe Federreaktionskräfte zu starken Belastungen innerhalb des Rohres führen würden. Nähere Angaben sind in Anhang I enthalten.

Konstanthänger sind so auszulegen, dass sie einem Schrägzug von 4° widerstehen. Konstantstützen müssen einer seitlichen Belastung von 10 % der Einstelllast, die auf den Lastteller wirkt, widerstehen. Für den Fall von seitlicher Bewegung müssen geeignete Gleitflächen vorgesehen werden.

13.3.2 Lastabweichung von der Einstelllast

Die Abweichung des Kraft-Weg-Verlaufs, einschließlich Reibwirkungen, darf bei senkrechter Belastung an keinem Punkt des gesamten Arbeitsweges $\pm 5\%$ der Einstelllast überschreiten (siehe Bild I.1-1). Sind geringere Toleranzen gefordert, so sind diese vom Konstrukteur der Rohrleitung festzulegen.

13.3.3 Verstellung der Einstelllast auf der Baustelle

Bei Konstanthängern/-stützen muss eine Verstellung der Einstelllast von mindestens $\pm 15\%$ auf der Baustelle möglich sein. Diese Verstellung darf zu keiner Verkürzung des festgelegten Arbeitsweges der Halterung führen.

13.3.4 Wegreserve

Bei der Auswahl/Auslegung der Rohrhalterung sind Maßnahmen für eine Bewegung über die berechnete Rohrverschiebung unter Auslegungsbedingungen hinaus zu treffen. Die Wegreserve muss 10 % der berechneten Bewegung, mindestens 20 mm betragen. Falls nicht anderweitig in der Bestellung festgelegt, muss die Wegreserve gleichmäßig auf beide Seiten der Bewegung verteilt werden.

Im Falle von anormalen Bedingungen, liegt es in der Verantwortung des Planers des Rohrleitungssystems, die notwendige zusätzliche Wegreserve zu fordern.

13.3.5 Blockierung

Sämtliche Konstanthänger/-stützen müssen mit Vorrichtungen zur Blockierung der Bewegung in Montagestellung sowie mit Anschlägen ausgerüstet sein, die den Arbeitsweg nach oben und unten begrenzen. Die Blockierungsposition muss vom Konstrukteur der Rohrleitung zum Zeitpunkt der Bestellung angegeben werden.

In blockierter Stellung müssen die Rohrhalterungen das Doppelte der Einstelllast aufnehmen können.

13.3.6 Identifikationskennzeichnung/Typenschild

An jeder Einheit ist ein korrosionsbeständiges Typenschild fest anzubringen, das den erwarteten Umgebungsbedingungen standhält und mindestens folgende Angaben enthält:

- Hersteller oder Stempel des Herstellers;
- Typennummer;
- Einstelllast (in N oder kN, sofern nicht anderweitig festgelegt);
- voreingestellte Position (in mm, sofern nicht anderweitig festgelegt);
- Kennnummer der Halterung.

Zusätzlich zum Obigen muss die folgende Kennzeichnung permanent angebracht werden:

- Seriennummer;
- Wegskala, welche den gesamten möglichen Weg abdeckt (in mm);
- Die folgenden Positionen sind zu kennzeichnen:
 - 1) Montageposition (voreingestellte Position): weiß oder blau;
 - 2) Betriebspunkte: rot;
- Lasteinstellskala;
- Permanente Kennzeichnungen der Einstelllast auf der Lastskala.

13.4 Federhänger / Federstützen

13.4.1 Allgemeines

Federhänger und -stützen werden üblicherweise bei verhältnismäßig geringen vertikalen Rohrbewegungen verwendet. Sie können eingesetzt werden, wenn während der Rohrbewegung eine Laständerung von bis zu 25 % der normalen Betriebslast zulässig ist. Größere Schwankungen können als annehmbar gelten, wenn sie nach der Elastizitätsanalyse der Rohrleitung zulässig sind.

Ist die Verwendung von Federhängern/-stützen gefordert, deren Stützkraft direkt proportional zu den Vertikalbewegung der Rohrleitung ist, so sind die Lastschwankungen nach einer der nachstehenden Gleichungen zu berechnen:

$$\text{Laständerung} = \frac{|\text{berechnete normale Betriebsverschiebung}| \times \text{Federrate}}{\text{normale Betriebslast}} \quad 100\%$$

oder

$$\text{Laständerung} = \frac{|\text{normale Betriebslast} - \text{Montagelast}|}{\text{normale Betriebslast}} \cdot 100\%$$

ANMERKUNG Zusätzliche Angaben sind in Anhang I enthalten.

Federhänger müssen für einen Schrägzug von 4° ausgelegt sein. Federstützen müssen einer seitlichen Belastung von 10 % der aufgebrachten Vertikallast im nichtblockierten Zustand widerstehen. Für den Fall von seitlicher Bewegung müssen geeignete Gleitflächen vorgesehen werden.

13.4.2 Toleranzen der Federrate

Bei senkrecht wirkendem Zug oder senkrecht wirkendem Druck muss die Lastabweichung geringer als 5 % im Vergleich zum theoretischen Last-Weg-Verhalten sein, siehe Bild I.2-1 (siehe auch 13.11.7).

13.4.3 Wegreserve

Bei der Auswahl/Auslegung der Rohrhalterung sind Maßnahmen für eine Bewegung über die berechnete Rohrverschiebung unter Auslegungsbedingungen hinaus zu treffen. Die Wegreserve muss 10 % der berechneten Bewegung, mindestens 5 mm betragen. Falls nicht anderweitig in der Bestellung festgelegt, muss die Wegreserve gleichmäßig auf beide Seiten der Bewegung verteilt werden.

13.4.4 Blockierung

Sämtliche Einheiten müssen mit einer Vorrichtung zur Blockierung der Bewegung an der voreingestellten Position versehen werden. Die Blockierposition muss vom Käufer festgelegt werden.

In blockierter Stellung müssen die Rohrhalterungen das Doppelte der voreingestellten Last aufnehmen können.

13.4.5 Typenschild

An jeder Einheit ist ein korrosionsbeständiges Typenschild fest anzubringen, das den erwarteten Umgebungsbedingungen standhält und mindestens folgende Angaben enthält:

- Hersteller oder Stempel des Herstellers;
- Typennummer;
- voreingestellte Last (in N oder kN, sofern nicht anderweitig festgelegt);
- voreingestellte Position (in mm, sofern nicht anderweitig festgelegt);
- Federrate (in N/mm oder kN/mm, sofern nicht anderweitig festgelegt);
- Kennnummer der Halterung.

Zusätzlich zum Obigen muss die folgende Kennzeichnung permanent angebracht werden:

- Seriennummer;
- Wegskala, welche den gesamten möglichen Weg abdeckt (in mm, sofern nicht anderweitig festgelegt);
- Die folgenden Positionen sind zu kennzeichnen:

- 1) Montageposition (voreingestellte Position): weiß oder blau;
- 2) Betriebspositionen: rot;
- permanente Kennzeichnung der voreingestellten Last.

13.5 Gelenkstreben

Die folgenden Anforderungen müssen erfüllt werden, wenn Gelenkstreben eingesetzt werden:

- Gelenkstreben müssen auf Zug und Druck beansprucht werden können;
- Gelenkstreben werden mit Gelenklagern in den Anschlussteilen ausgestattet. Diese Gelenklager müssen ein möglichst geringes Spiel haben, jedoch eine Auslenkung der Strebe aus der Arbeitsebene von mindestens 6° zulassen;
- Die Länge der Gelenkstreben muss um mindestens ± 25 mm einstellbar sein;
- Gelenkstreben müssen mit einem Anschlussbock und einer Rohrschelle montiert werden, die dafür ausgelegt sind, das Spiel zu minimieren und die Einhaltung einer angemessenen Gesamtsteifigkeit sicherzustellen.

Die maximale Exzentrizität der Gelenkstrebe zur Achse zwischen den Gelenklagern darf 1 mm bei Längen von bis zu 1 000 mm und mehr als 1 mm pro 1 000 mm bei längeren Gelenkstreben nicht überschreiten.

13.6 Stoßbremsen

Stoßbremsen können bei der Konstruktion und Auslegung von Rohrleitungen zur Begrenzung von Rohrbewegungen bei dynamischen Beanspruchungen wie Erdbeben oder raschem Schließen von Ventilen verwendet werden. Sie sind nicht dazu ausgelegt, die Masse der Rohrleitung zu tragen; weitere Angaben sind in Anhang I enthalten.

Die folgenden Anforderungen müssen erfüllt werden, wenn Stoßbremsen eingesetzt werden:

- Stoßbremsen dürfen die Rohrbewegung durch Wärmeausdehnung im Normalbetrieb nicht behindern oder begrenzen;
- Die Stoßbremsen müssen sowohl in Zug- als auch Druckrichtung arbeiten;
- Die Stoßbremsen müssen in jeder Orientierung arbeiten;
- Stoßbremsen müssen über eine Weganzeige verfügen;
- Die Stoßbremsen müssen mit Gelenklagern in den Anschlussteilen ausgestattet sein, die ein möglichst geringes Spiel haben, jedoch eine Auslenkung der Einheit aus der Arbeitsebene von maximal 6° zulassen;
- Die Stoßbremsen müssen mit einem Anschlussbock und einer Rohrschelle montiert werden, die dafür ausgelegt sind, das Spiel zu minimieren und die Einhaltung einer angemessenen Gesamtsteifigkeit sicherzustellen;
- Die Stoßbremsen müssen die in Tabelle 13.11.8-2 angegebenen Betriebsparameter aufweisen.

Kolbenstangen müssen gegen Schäden und Verunreinigungen geschützt sein.

Bei der Auslegung und Auswahl der Stoßbremsen sind Maßnahmen für eine Bewegung über die berechnete Rohrverschiebung unter Auslegungsbedingungen hinaus zu treffen. Die Wegreserve muss 10 % der berechneten Bewegung, mindestens 20 mm betragen. Falls nicht anderweitig in der Bestellung festgelegt, muss die Wegreserve gleichmäßig auf beide Seiten der Bewegung verteilt werden.

13.7 Gleitlager

Die folgenden Anforderungen müssen erfüllt werden, wenn Gleitlager eingesetzt werden:

- Gleitlager müssen so ausgelegt und eingebaut werden, dass sie unter normalen Betriebsbedingungen nicht getrennt werden können. Außerdem muss die Möglichkeit des Anhebens beachtet werden, da dies zur Trennung der Gleitflächen führen würde.
- Sofern nicht Komponenten zur Führung und Begrenzung der Bewegung des Gleitlagers vorhanden sind, muss durch Auslegung und Einbau des Gleitlagers eine Umkehrung der vorgegebenen Bewegung möglich sein.
- Gleitlager müssen so ausgelegt sein, dass eine Verschmutzung der Gleitflächen bei Normalbetrieb verhindert wird.
- Die Gleitflächen müssen so ausreichend dimensioniert sein, dass bei den vorgegebenen Verschiebungen eine Sicherheitsspanne von mindestens 25 mm in jeder Richtung vorhanden ist.
- Die Belastungen durch Reibung der Gleitflächen müssen bei der Auslegung des Tragwerks berücksichtigt werden. Unter normalen Bedingungen, wenn Gleitflächen aus Stahl verwendet werden, muss der Reibungskoeffizient 0,3 betragen. Unter außergewöhnlichen Bedingungen muss ein anderer Reibungskoeffizient vereinbart werden.

ANMERKUNG Wo geringere Reibungskräfte erforderlich sind, können Materialien mit geringerer Reibung, z. B. PTFE, verwendet werden.

13.8 Festpunkte

Festpunkte stellen eine starre Verbindung zwischen Rohrleitung und Tragwerk dar. Festpunkte müssen alle berechneten Kräfte und Momente aufnehmen.

13.9 Dokumentation von Rohrhalterungen

Der Hersteller muss dem Käufer eine Erklärung übergeben, der zu entnehmen ist, dass die gelieferten Halterungen den Anforderungen von Abschnitt 13 und Anhang N entsprechen.

13.10 Kennzeichnung von Rohrhalterungen

Sämtliche Halterungen sind gemäß den Anforderungen des Käufers zu kennzeichnen. Werden die Halterungen nicht in zusammengebautem Zustand geliefert, so müssen alle Bauteile und Unterbaugruppen gekennzeichnet werden.

13.11 Herstellung von Rohrhalterungen

Die bei der Fertigung von Rohrhalterungen verwendeten Werkstoffe müssen für die Betriebs- und Umgebungsbedingungen der Rohrleitung zulässig sein. Rohrhalterungswerkstoffe mit unmittelbarem Kontakt mit der Rohroberfläche müssen mit dem Rohrwerkstoff verträglich sein und dürfen seine geforderten metallurgischen Eigenschaften nicht beeinträchtigen.

Werkstoffe für Rohrhalterungen müssen nach den entsprechenden EN-Normen ausgewählt werden.

Werkstoffe, welche an das Rohr geschweißt werden, müssen den Anforderungen der EN 13480-2 entsprechen.

13.11.2 Auslegungstemperaturen für Halterungsbauteile

13.11.2.1 Allgemeines

Die bei der Auslegung von Rohrhalterungen zu berücksichtigende Temperatur hängt von den Temperaturvorgaben für die Rohrleitung ab. Sämtliche Rohrhalterungsbauteile sind für einen Temperaturbereich von -20 °C bis 80 °C auszulegen; liegen die Betriebstemperaturen des Rohrleitungssystems außerhalb dieses Bereichs, so sind dem Hersteller der Rohrhalterungen die entsprechenden Werte anzugeben.

Teile, deren Funktion durch übermäßig hohe oder niedrige Rohrtemperaturen beeinträchtigt wird, z. B. Federn oder gleitende Teile, sind außerhalb der Isolierung anzubringen.

Die Auslegungstemperaturen der Rohrhalterungsbauteile müssen durch detaillierte Berechnung oder durch Versuche oder durch Verweis auf die Tabellen 13.11.2-1 und 13.11.2-2 bestimmt werden.

Die Temperatur ist bei der Auslegung oder Auswahl einzelner Komponenten der Rohrhalterung zu berücksichtigen.

13.11.2.2 Auslegungstemperaturen für Bauteile innerhalb der Isolierung

Die für die Auslegung zu verwendenden Temperaturen müssen Tabelle 13.11.2-1 und Bild 13.11.2-1 entsprechen.

Tabelle 13.11.2-1 — Auslegungstemperaturen für Bauteile innerhalb der Isolierung

Bauteilart	Auslegungstemperatur der Halterung <i>t</i>
An Rohr, Gurte und Schellen angeschweißte Bauteile (d. h. großflächiger Kontakt)	t_f
Bauteile ohne unmittelbaren Kontakt zur Rohrleitung	$t_f - 20\text{ }^\circ\text{C}$
Schrauben, Muttern, Bolzen und Stifte	$t_f - 30\text{ }^\circ\text{C}$
Dabei ist t_f die Temperatur des Fluids in der Rohrleitung.	

13.11.2.3 Auslegungstemperaturen für Bauteile außerhalb der Isolierung

Die für die Auslegung zu verwendenden Temperaturen müssen Tabelle 13.11.2-2 und Bild 13.11.2-1 entsprechen.

Tabelle 13.11.2-2 — Auslegungstemperaturen für Bauteile außerhalb der Isolierung

Bauteilart	Temperatur des Fluids in der Rohrleitung t_f	Auslegungstemperatur der Halterung t
Unmittelbar mit dem Rohr verbundene Bauteile	> 80 °C	$0,5 t_f$ jedoch nicht geringer als 80 °C
	≤ 80 °C	80 °C
Bolzen, Schrauben, Muttern und Stifte	> 80 °C	$0,33 t_f$ jedoch nicht geringer als 80 °C
	≤ 80 °C	80 °C

Dabei ist t_f die Temperatur des Fluids in der Rohrleitung.

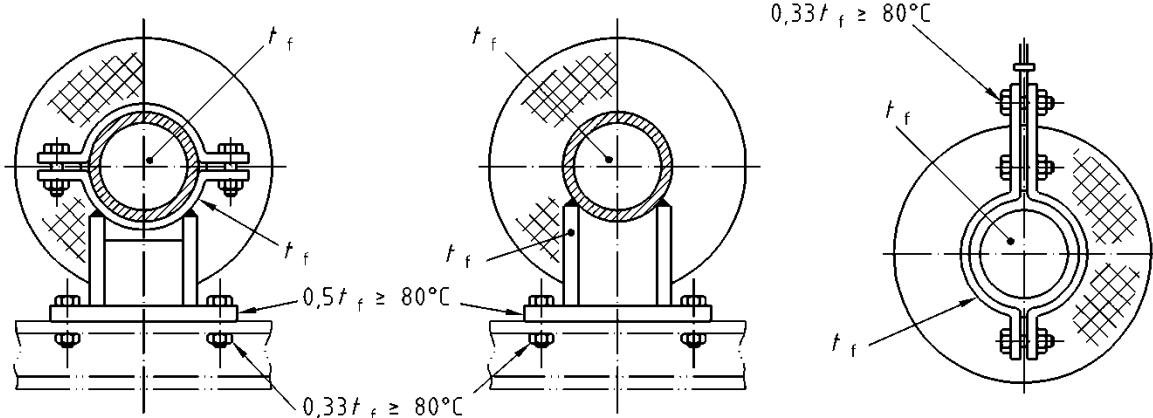


Bild 13.11.2-1 — Auslegungstemperaturen für Halterungen innerhalb und außerhalb der Isolierung

13.11.2.4 Sonstige Bauteile

Für alle sonstigen Halterungsbauteile, einschließlich Zwischenträgerwerkskonstruktionen gilt eine Auslegungstemperatur t von 80 °C.

13.11.3 Konstruktionsdetails

Die Bauteile sind so zu konstruieren, dass Ansammlungen von Wasser oder Schmutz vermieden werden.

Die Bauteile sind so zu konstruieren, dass Biegelasten an Gewindeteilen auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Wenn das Gewinde von Schrauben auf Schub belastet wird ist das in der Auslegungsberechnung zu berücksichtigen.

13.11.4 Bestimmung der Bauteilabmessungen

13.11.4.1 Allgemeines

Die Dimensionierung der Rohrhalterungsbauteile mit Auslegung durch Berechnungsverfahren beruht auf guter Ingenieurpraxis. Die Anforderungen in 13.11.4.2 sind zu berücksichtigen. Zusätzliche Hinweise sind den Anhängen I, J, K, L und M zu entnehmen.

13.11.4.2 Spannungsniveaus

Die Werte der einzelnen Spannungsarten oder der Vergleichsspannung dürfen die in Tabelle 13.11.4.3-1 angegebenen zulässigen Spannungen nicht überschreiten.

Der Wert der Vergleichsspannung σ_e ist definiert als:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \quad (13.11.4.2-1)$$

dabei ist

σ_a die berechnete Axial-(Membran-)spannung;

σ_b die berechnete Biegespannung;

τ die berechnete Schubspannung.

Für die maximal zulässige Spannung gilt:

$$f = \min \left(\frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ oder } \frac{R_{p0,2t}}{1,5} ; \frac{R_m}{2,4} ; f_{cr} \right) \quad (13.11.4.2-2)$$

ANMERKUNG 1 Für Angaben zu gelegentlich auftretenden Betriebsbedingungen siehe 4.2.5.2.

ANMERKUNG 2 Zeitstandfestigkeitswerte für andere Betriebszeiten als 200 000 h siehe 5.3.2.

13.11.4.3 Zulässige Spannungen

Die zulässigen Spannungen müssen der Tabelle 13.11.4.3-1 entsprechen.

Tabelle 13.11.4.3-1 — Zulässige Spannungen für Rohrhalterungen

Spannung	Normale Betriebsbedingungen	Gelegentlich auftretende Betriebsbedingungen	Schadensfall
σ_a	$< 1,0f$	$< 1,2f$	$< 1,5f$
σ_b	$< 1,0f$	$< 1,2f$	$< 1,5f$
τ	$< 0,6f$	$< 0,7f$	$< 0,9f$
σ_e	$< 1,0f$	$< 1,2f$	$< 1,5f$

ANMERKUNG 1 Die zulässigen Spannungen für Rohrhalterungen, die nicht im Zeitstandbereich eingesetzt werden, sind:

- für Rohrhalterungen, die nach der Platten- oder Schalentheorie analysiert werden:
 - normale Betriebsbedingungen: $\sigma_b \leq 1,5f; \sigma_e \leq 1,5f$
 - gelegentlich auftretende Betriebsbedingungen: $\sigma_b \leq 1,8f; \sigma_e \leq 1,8f$
 - Schadensfall: $\sigma_b \leq 2,25f; \sigma_e \leq 2,25f$
- Zweiachsige Biegung von doppelt symmetrischen, massiven Querschnitten:
 - normale Betriebsbedingungen: $\sigma_b \leq 1,1f; \sigma_e \leq 1,1f$
 - gelegentlich auftretende Betriebsbedingungen: $\sigma_b \leq 1,3f; \sigma_e \leq 1,3f$
 - Schadensfall: $\sigma_b \leq 1,65f; \sigma_e \leq 1,65f$

ANMERKUNG 2 Für zulässige Spannungen für geschweißte Verbindungen siehe 13.11.5.

ANMERKUNG 3 Für Schraubverbindungen siehe 13.11.6.

ANMERKUNG 4 Wenn die Lasten das Niveau des Schadensfalls erreichen, kann die Streckgrenze der Komponenten erreicht werden. In diesem Fall wird eine Erneuerung empfohlen.

13.11.5 Geschweißte Verbindungen

13.11.5.1 Allgemeines

Das Schweißgut muss in seiner Zusammensetzung mit dem Grundwerkstoff verträglich sein, und seine Streckgrenze und minimale Zugfestigkeit dürfen nicht unterhalb des niedrigsten Kennwertes der zu verschweißenden Bauteile liegen.

13.11.5.2 Durchgeschweißte Nähte

Eine durchgeschweißte Naht weist eine Verbindung von Schweißgut und Bauteilen über die Dicke der Verbindung auf.

Die zulässige Spannung einer durchgeschweißten Naht muss gleich der zulässigen Spannung des schwächeren der beiden verbundenen Bauteile sein (siehe Tabelle 13.11.4.3-1).

Die folgenden Schweißnahtfaktoren sind anzuwenden:

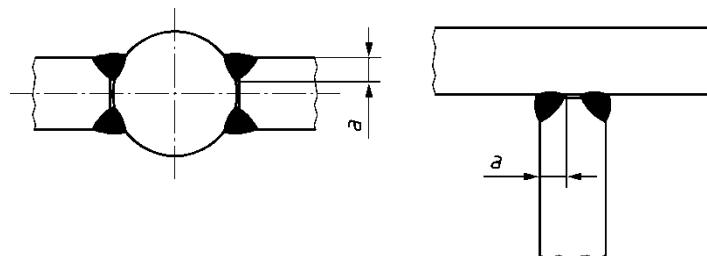
- Bei Schweißverbindungen, die lediglich Sichtprüfungen unterzogen werden, $z = 0,7$;
- Bei Schweißverbindungen, die zufälligen zerstörungsfreien Prüfungen unterzogen werden, $z = 0,85$;
- Bei Schweißverbindungen, die zu 100 % durch zerstörungsfreie Prüfungen untersucht werden, $z = 1,0$.

13.11.5.3 Teilweise durchgeschweißte Nähte

Eine teilweise durchgeschweißte Naht wird als Schweißnaht definiert, bei der die Verschweißung geringer ist als die gesamte Dicke des Grundmaterials.

Die zulässigen Spannungen einer teilweise durchgeschweißten Naht sind wie für Kehlnähte zu bestimmen.

Die Schweißnahtdicke einer teilweise durchgeschweißten Naht darf nicht größer sein als die Tiefe der Durchschweißung, die konsistent erreicht werden kann (siehe Bild 13.11.5.3-1).



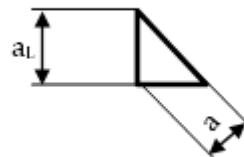
Legende

a Schweißnahtdicke

Bild 13.11.5.3-1 — Schweißnahtdicke einer teilweise durchgeschweißten Naht

13.11.5.4 Kehlnähte

Eine Kehlnaht verfügt über Schweißnahtflanken, die einen Winkel zwischen 60° und 120° bilden. Für Winkel kleiner als 60° sollte, die Naht als teilweise durchgeschweißte Naht ausgeführt werden. Eine Kehlnaht muss durch ihre Nahtdicke a oder ihre Schenkeldicke a_L definiert werden (siehe Bild 13.11.5.4-1).



Legende

a Nahtdicke

a_L Schenkeldicke

Bild 13.11.5.4-1 — Abmessungen einer Kehlnaht

Einseitige Kehlnähte müssen, soweit praktikabel, vermieden werden. Wenn der Einsatz einer einseitigen Kehlnaht notwendig ist, dann müssen die Auswirkungen einer Biegung berücksichtigt werden.

Kehlnähte, die an Enden der Seiten von Teilen fertiggestellt werden, sollten durchgängig und in voller Größe um die Ecke mit einer Länge von mindestens dem Zweifachen der Schweißnahtdicke a der Naht weitergeführt werden, sofern die Zugänglichkeit oder die Konfiguration der Verbindung dies nicht undurchführbar macht.

Die effektive Länge der Naht l_{eff} muss als jene Länge betrachtet werden, über welche die Kehlnaht in voller Größe vorliegt. Dies kann aus der Gesamtlänge der Naht reduziert um das Zweifache der effektiven

Schweißnahtdicke a ($= a_L/\sqrt{2}$) bestimmt werden. Wenn die Naht für die gesamte Länge in voller Größe vorliegt, ist keine Reduzierung der Länge notwendig.

Die Spannung in der Schweißnaht, berechnet mit der Schweißnahtdicke a , muss gemäß Gleichung (13.11.5.4-1) bestimmt werden.

$$\sigma_{weld} = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + \tau^2} \quad (13.11.5.4-1)$$

Die zulässige Spannung einer Kehlnaht muss in Übereinstimmung mit der Tabelle 13.11.5.4-1 ermittelt werden. Darüber hinaus darf die Schubspannung des Grundwerkstoffs nicht überschritten werden.

Tabelle 13.11.5.4-1 — Zulässige Spannung einer Kehlnaht

Kehlnaht unterliegt	Normale Betriebsbedingungen	Gelegentlich auftretende Betriebsbedingungen	Schadensfall
Inspektion ausschließlich durch Sichtprüfung	$0,7\sigma_{w,per}$	$0,84\sigma_{w,per}$	$1,05\sigma_{w,per}$
Inspektion durch zufällige zerstörungsfreie Prüfungen	$0,85\sigma_{w,per}$	$1,02\sigma_{w,per}$	$1,275\sigma_{w,per}$
Inspektion durch 100 % zerstörungsfreie Prüfungen	$\sigma_{w,per}$	$1,2\sigma_{w,per}$	$1,5\sigma_{w,per}$
Dabei ist $\sigma_{w,per} = \min(0,3079 R_{mt}; 0,6 f)$.			
ANMERKUNG 1 Die obigen Werte beinhalten den in 4.5 definierten Schweißnahtfaktor.			
ANMERKUNG 2 $(0,3079 R_{mt})$ ist aus den Anforderungen nach 4.5.3.3 der EN 1993-1-8 abgeleitet.			
ANMERKUNG 3 In Fällen, in denen die Werkstoffnorm die Zugfestigkeit bei Berechnungstemperatur nicht definiert, kann R_{mt} durch $R_{mt} = R_m (R_{eHt} / R_{eH})$ ersetzt werden			

13.11.6 Gewindeverbindungen

Gewindeverbindungen müssen nach den entsprechenden Europäischen Normen ausgeführt sein. Dabei ist Temperatureinflüssen besondere Beachtung zu widmen.

Für:

- handelsübliche Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8 und 10.9;
- Schraubverbindungen aus anderen ferritischen Werkstoffen;
- Zug- und Gewindestangen sowie Rohrbügeln;

Die zulässigen Spannungen im Gewinde sind in Tabelle 13.11.6-1 definiert, die Spannungen werden mit dem Kernquerschnitt berechnet.

Tabelle 13.11.6-1— Zulässige Spannung in Gewindebaueteilen

Spannung	Normale Betriebsbedingungen	Gelegentlich auftretende Betriebsbedingungen	Schadensfall
Schubspannung (je Scherfläche) $\frac{\tau_{b,per}}{R_{mbt}}$	0,242	0,291	0,364
Zugspannung $\frac{\sigma_{b,per}}{R_{mbt}}$	0,436	0,524	0,655
Kombinierte Schub- und Zugspannung	$\frac{\tau}{\tau_{b,per}} + \frac{\sigma}{1,4\sigma_{b,per}} \leq 1$		
Lochleibung $\frac{p_{b,per}}{\min(R_{mbt}; R_{mt})}$	0,600	0,720	0,900
Zusätzlich müssen die Spannungen im Schraubenschaft oder in der Zug- und Gewindestange die Anforderungen nach 13.11.4.3 erfüllen.			
Abhängig von der Lage des Schubbereichs, muss der Kern- oder Schaftbereich zur Berechnung der Schubspannung herangezogen werden.			
Dabei ist:			
R_{mbt} : die Zugfestigkeit der Schraube bei Betriebstemperatur. Falls R_{mbt} nicht verfügbar ist, kann der folgende Wert verwendet werden: $R_{mbt} = R_{mb} (R_{eHbt} / R_{eHb})$.			
R_{mt} : die Zugfestigkeit des verschraubten Werkstoffes bei Betriebstemperatur. Falls R_{mt} nicht verfügbar ist, kann der folgende Wert verwendet werden: $R_{mt} = R_m (R_{eHt} / R_{eH})$.			
ANMERKUNG 1 Schub im Gewindegelenk der Schrauben sollte vermieden werden.			
ANMERKUNG 2 Die oben genannten Werte wurden zur Erfüllung der Anforderungen von 3.6.1 der EN 1993-1-8 abgeleitet.			

13.11.7 Zusätzliche Anforderungen an Federn

Federn in Federhängern oder Federstützen, Konstanthängern und Konstantstützen müssen die eingestellte Last für die Auslegungsliebensdauer des Rohrleitungssystems aufnehmen, und der Lastverlust aufgrund von Alterung darf 2,5 % nicht übersteigen.

13.11.8 Auslegungsdetails für Gelenkstreben

Gelenkstreben müssen so ausgelegt sein, dass sie das folgende Lastwechselkollektiv (Tabelle 13.11.8-1) unter Druck und Zug bei 80 °C abdecken.

Tabelle 13.11.8-1 — Lastwechselkollektiv für Gelenkstreben

Last	Anzahl der Lastspiele
1,5 F_N	25
1,0 F_N	3 300
0,5 F_N	47 000
0,1 F_N	330 000

Mit F_N als Nennlast, bei der das Spannungsniveau die zulässigen Spannungen in der Tabelle 13.11.4.3-1 bei normalen Betriebsbedingungen nicht übersteigt.

Die obigen Lastspiele entsprechen 1,0 F_N bei 10 000 Lastspielen (für weitere Informationen, siehe [22] in den Literaturhinweisen).

13.11.9 Auslegungsdetails für Stoßbremsen

Hydraulische Stoßbremsen müssen mit einem Flüssigkeitsstandanzeiger sowie mit Hydraulikflüssigkeit und Dichtungen, die für die erwarteten Umgebungsbedingungen geeignet sind, ausgestattet sein.

Stoßbremsen müssen so ausgelegt sein, dass sie das folgende Lastwechselkollektiv abdecken (Tabelle 13.11.9-1). Dabei ist F_N die Nennlast, bei der das Spannungsniveau die zulässigen Spannungen in der Tabelle 13.11.4.3-1 bei normalen Betriebsbedingungen nicht übersteigt (für weitere Informationen, siehe [22] in den Literaturhinweisen).

Tabelle 13.11.9-1 — Lastwechselkollektiv für Stoßbremsen

Last	Anzahl der Lastspiele	
	bei 80 °C	bei 150 °C
1,5 F_N	25	25
1,0 F_N	3 300	1 800
0,5 F_N	47 000	18 000
0,1 F_N	$1,8 \times 10^6$	72 000

Die Stoßbremsen müssen die in Tabelle 13.11.9-2 angegebenen Betriebsparameter aufweisen.

Tabelle 13.11.9-2 — Betriebsparameter für Stoßbremsen

Parameter	Werte (bei Raumtemperatur)
Ansprechgeschwindigkeit	2 mm/s bis 6 mm/s
Nachlaufgeschwindigkeit nach Ansprechen der Stoßbremse (falls zutreffend)	0,2 mm/s bis 2 mm/s
Betriebsfrequenzbereich	0,5 Hz bis 33 Hz
Steuerventilauslösung (sofern zutreffend)	das größere von 200 N oder 2 % der Nennlast
Maximaler Verstellwiderstand (bei 0,5 mm/s)	das größere von 200 N oder 2 % der Nennlast

ANMERKUNG Der Leerweg bei Lastumkehr (durch das Spiel in den Lagern und als Folge der physikalischen Wirkungsweise) sollte 0,5 mm nicht überschreiten.

13.11.10 Schellen für Stoßbremsen, Gelenkstreben

Schellen für dynamisch belastete Rohrhalterungen, wie zum Beispiel Stoßbremsen und Gelenkstreben, müssen nach 13.11.4.3 ausgelegt werden. Im Zeitstandbereich kann bei der Bestimmung von f für ausschließlich dynamisch belastete Halterungen der Wert für die Auslegungsspannung im Zeitstandbereich f_{cr} durch die 1 % Zeitdehngrenze $S_{1\%10\,000t}$ bei 10 000 h gemäß folgender Gleichung (13.11.10-1) ersetzt werden:

$$f_D = \min \left(\frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ or } \frac{R_{p0,2t}}{1,5} ; \frac{R_m}{2,4} ; S_{1\%10\,000t} \right) \quad (13.11.10-1)$$

dabei ist

f_D die maximal zulässige Spannung für dynamisch belastete Schellen;

$S_{1\%10\,000t}$ der Mittelwert der Spannung, welcher zu einer 1 % Zeitdehngrenze in 10 000 h bei der berücksichtigten Temperatur t führt.

Anhang A (informativ)

Dynamische Analyse

A.1 Allgemeines

Zusätzlich zu den in 4.2 behandelten statischen Beanspruchungen und den zyklischen Druck- und Temperaturbelastungen können Rohrleitungen verschiedenen dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt sein. Dynamische Ereignisse sollten bereits bei der Auslegung der Rohrleitung berücksichtigt werden. Eine eingehende Analyse ist jedoch nicht in jedem Fall, sondern nur bei ausdrücklicher Festlegung erforderlich. Die Auswirkungen signifikanter dynamischer Beanspruchungen sollten bei der Auslegung der Rohrleitung zu den Spannungen infolge ständig wirkender Beanspruchung addiert werden. Kontinuierlich auftretende dynamische Lasten sollten in einer Ermüdungsanalyse untersucht werden.

Verursachen dynamische Ereignisse entgegengesetzt wirkende Kräfte, so ist es zulässig, die Höchstlasten durch Kombination der Kräfte abzuleiten, die sich aufgrund ihrer Wirkrichtung zu den statischen Lasten addieren. Bei Verschiebungen ist jedoch besondere Sorgfalt geboten, da für Planung und Auslegung der Rohrhalterungen sowohl die positiven wie auch die negativen Bewegungen von Bedeutung sein können.

Für die Berechnung der Auswirkungen dynamischer Ereignisse steht eine ganze Reihe von Verfahren zur Verfügung, dazu gehören z. B.:

- a) vereinfachte statische Ersatzanalyse;
- b) quasistatische Ersatzanalyse;
- c) Modalanalyse der Stoßreaktionsspektren;
- d) Kraftverlaufsanalyse.

Erfahrungen haben gezeigt, dass bei ordnungsgemäß unterstützten Rohrleitungssystemen die vereinfachten Verfahren im Allgemeinen zu annehmbaren technischen Lösungen zur Schadensverhütung bei dynamischen Ereignissen führen. Ist eine komplexe Analyse erforderlich, so sollte die Auswahl geeigneter Programme und konsistenter Daten für die Ableitung der Kräfte und zulässigen Lasten mit Bedacht erfolgen.

Eine Analyse von Rohrleitungen und ihren Bauteilen kann auch mit vollmaßstäblichen oder maßstäblich verkleinerten Modellen durchgeführt werden, die Schwingungszuständen ausgesetzt werden, die den erwarteten dynamischen Beanspruchungen vergleichbar sind.

A.2 Analyse durch Berechnung

A.2.1 Seismische Ereignisse

A.2.1.1 Allgemeines

Seismische Ereignisse erzeugen Schwingungsbewegungen im Boden, die durch das Tragwerk auf Rohrleitungen und andere Anlagenteile übertragen werden. In der Folge erfahren Tragwerk und Anlagenteile Beschleunigungen und Verschiebungen, deren Betrag von ihrer Steifigkeit und ihren Eigenfrequenzen abhängt.

Die Analyse der Wechselwirkung von Tragwerken und seismischen Kräften ist nicht Bestandteil der Auslegung von Rohrleitungen; entsprechende Angaben zu den betreffenden Reaktionen werden üblicherweise vom Käufer oder Anlagenbetreiber nach einer Untersuchung der Erdbebengefährdung und der Auslegungsanalyse des vorgeschlagenen Tragwerks vorgelegt.

Die Analyse der Rohrleitung sollte die größten Kräfte und Momente aufzeigen, die als Folge der Tragwerksreaktion auf die voraussichtliche Beanspruchung durch Erdbeben in der Rohrleitung entstehen können.

Form und Umfang der dem Rohrleitungskonstrukteur vorzulegenden seismischen Daten hängen vom jeweiligen Berechnungsverfahren ab.

A.2.1.2 Vereinfachte statische Ersatzanalyse

Bei diesem Analyseverfahren wird die Schwankungsbreite der Tragwerksreaktion bei unterschiedlichen Frequenzen und Dämpfungen vernachlässigt, und die Verschiebungen und Kräfte in der Rohrleitung werden durch eine einzige äquivalente statische Beschleunigungskraft in jeder Hauptrichtung der seismischen Bewegungen berechnet. Der Wert dieser Beschleunigung beruht auf dem durch das Erdbeben verursachten höchsten Beschleunigungswert. Die Angabe für den Konstrukteur kann entweder in Form eines Reaktionsspektrums in Bodenhöhe, als Berechnung für jede Ebene des Tragwerks oder als Angabe eines Satzes von Reaktionen erfolgen, der als Einhüllende sämtlicher verschiedenen Reaktionen der Rohrleitung angesehen wird.

Stehen keine Beschleunigungswerte für das betreffende Tragwerk zur Verfügung, so sollte der Konstrukteur den Spitzenwert der Bodenbeschleunigung als maximale Beschleunigung a_i verwenden.

Die äquivalente statische Beschleunigung, a_{cqi} , für die Richtung i wird wie folgt berechnet:

$$a_{cqi} = k_i \times a_i \quad (\text{A.2.1-1})$$

Dabei ist

a_i die maximale Beschleunigung für die jeweilige Ebene in Richtung i ;

k_i ein Beiwert, für den gilt:

$k_i = 1$, wenn die Eigenfrequenzen der Rohrleitung nachweislich zu weniger als 10 % mit den Schwingungsfrequenzspitzen im Reaktionsspektrum des Tragwerks übereinstimmen

$k_i = 1,5$, wenn keine Überprüfung für die Übereinstimmung des Schwingverhaltens von Rohrleitung und Tragwerk vorgenommen wurde

A.2.1.3 Quasistatische Ersatzanalyse

Bei diesem Berechnungsverfahren wird eine einzige statische Beschleunigung in jeder Richtung der Bodenschwingung verwendet, die gleich der größten Beschleunigung im Reaktionsspektrum des Tragwerks ist, die die Rohrleitung in Schwingung versetzen kann. Für dieses Verfahren sollten die signifikanten Eigenfrequenzen der Rohrleitung berechnet werden.

Die äquivalente quasistatische Beschleunigung $a_{qe i}$ in Richtung i wird wie folgt berechnet:

$$a_{qe i} = \bar{k}_i \times a_{fi} \quad (\text{A.2.1-2})$$

Dabei ist

a_{fi} die größte Beschleunigung im Schwingungsspektrum am Boden oder in der darüberliegenden Ebene bei Frequenzen größer oder gleich der ersten Eigenfrequenz der Rohrleitung;

\bar{k}_i ein Faktor zur Berücksichtigung der Einflüsse von mehreren Eigenfrequenzen auf die Gestaltung der Rohrleitung.

Der Faktor \bar{k}_i sollte Tabelle A.2.1-1 entnommen werden. Sofern ihre Zulässigkeit nachgewiesen wurde, können auch niedrigere Werte für diesen Faktor verwendet werden.

Tabelle A.2.1-1 — Werte für \bar{k}_i

Modell	\bar{k}_i
Mehrfach in gleichen Abständen aufgelagerter gerader Träger	1,0
Einseitig aufgelagerter Träger	1,0
Beidseitig aufgelagerter Träger (Höchstkräfte müssen an jedem Querschnitt angreifen können)	1,0
Ebene Systeme, z. B. Rahmen, Flächentragwerk, Rohrleitung in einer Ebene	1,2
Dreidimensionale Systeme mit komplexen Formen	1,5

Bei starren Rohrleitungen (d. h. Rohrleitungssystemen, deren niedrigste Eigenfrequenz größer oder gleich der Grenzfrequenz des Bodenschwingungsspektrums ist) kann für \bar{k}_i der Wert 1,0 verwendet werden.

Für die Ermittlung der Reaktionen von Rohrhalterungen kann für \bar{k}_i der Wert 1,0 verwendet werden, gleichgültig welches der in Tabelle A.2.1-1 angegebenen Modelle betrachtet wird.

A.2.1.4 Modalanalyse der Reaktionsspektren

Für eine Modalanalyse der Reaktionsspektren benötigt der Rohrleitungskonstrukteur die Angabe der Reaktionsspektren in jeder Ebene bzw. jedem Punkt des Tragwerks oder eines Spektrums, das als Einhüllende aller Tragwerksreaktionen betrachtet werden kann. Dieses Schwingungsreaktionsspektrum wird aus den durch das Erdbeben bei unterschiedlichen Frequenzen über einen entsprechenden Zeitraum verursachten Höchstbeschleunigungen und ihren Wechselwirkungen mit dem Tragwerk abgeleitet. Durch eine Schwingungsanalyse der Rohrleitung sollten die Verschiebungen, Momente und Kräfte für die eintretenden Beschleunigungen bei jeder signifikanten Frequenz im Schwingungsspektrum ermittelt werden.

Die Gesamtreaktion der Rohrleitung (Verschiebungen, Momente, Kräfte) in jeder Richtung sollte durch Kombination aller Spitzenwerte der Schwingungsreaktion nach dem SRSS-Verfahren (Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate) ermittelt werden, d. h.:

$$R_i = \pm \sqrt{\sum_{m=1}^n R_{mi}^2} \quad (\text{A.2.1-3})$$

Dabei ist

R_i die Gesamtreaktion in der Hauptrichtung i;

R_{mi} die Spitzenreaktion aufgrund des Eigenvektors m;

n die Anzahl signifikanter Eigenvektoren.

Bei der Kombination der Reaktionen der Rohrleitung in den drei Hauptrichtungen sollten die folgenden Annahmen zugrunde gelegt werden:

- Die Rohrleitungsreaktionen auf verschiedene Schwingungsspitzen des Tragwerks treten nicht gleichzeitig ein;
- Reaktionsspitzen treten nicht gleichzeitig in den drei Hauptrichtungen ein;
- Spannungsspitzen aufgrund der verschiedenen Eigenvektoren treten im Allgemeinen nicht im gleichen Punkt der Rohrleitung auf.

Aus diesen Annahmen folgt, dass es für die Berechnung der maximalen Reaktion des Systems nicht erforderlich ist, das SRSS-Verfahren auf die Maxima in den drei orthogonalen Richtungen anzuwenden.

A.2.1.5 Analyse des Kraftverlaufs über die Zeit

Sind seismisch bedingte Verschiebungen des Tragwerks über die Zeit bekannt, so kann das dynamische Reaktionsverhalten des Rohrleitungssystems ermittelt werden. Dazu wird ein geeignetes Modell der Rohrleitung, das die Steifigkeit und Massen der Rohrleitung sowie entsprechende dynamische Dämpfungsfaktoren enthält, an den Stütz- und Endpunkten mit den Beschleunigungen bzw. Verschiebungen nach einem vorgegebenen Muster beaufschlagt. Die resultierenden Spannungen aus den Verschiebungen der Rohrleitung lassen sich durch eine Reihe von Berechnungen in diskreten Zeitabständen ermitteln.

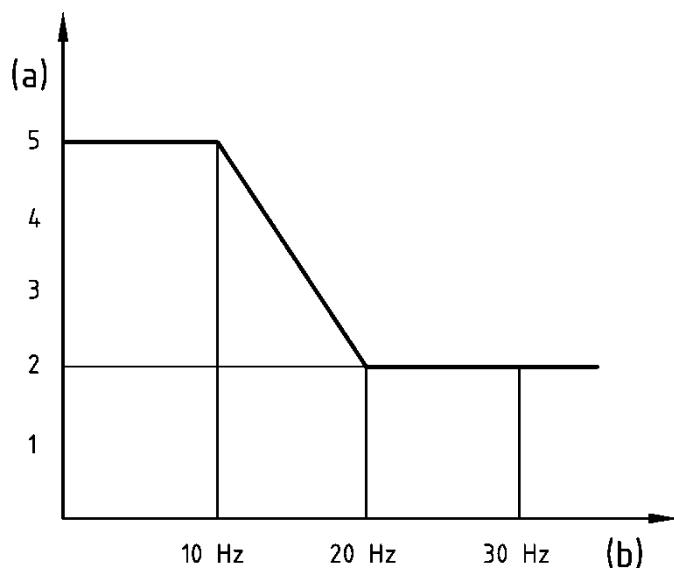
Für die Lösung dynamischer Probleme stehen verschiedene Rechenprogramme zur Verfügung, und der Konstrukteur sollte sicherstellen, dass die gewählten Modelle und Analyseverfahren geeignet sind.

Durch geeignete Wahl der Zeitintervalle sollte vermieden werden, dass signifikante kurzzeitige Erregungen nicht erfasst werden, und durch eine entsprechende Anzahl der Stufen sollte sichergestellt werden, dass alle wesentlichen Verschiebungen in der Analyse berücksichtigt werden.

Die seismischen Spannungen in jeder der drei Hauptrichtungen sollten nach dem SRSS-Verfahren für jedes Zeitintervall kombiniert werden, und die daraus resultierenden Höchstwerte des seismischen Ereignisses sollten dann zu den ständig wirkenden Lasten addiert werden, um die Gesamtspannungen für die Auslegung zu ermitteln.

A.2.1.6 Dämpfungen

Schwingungen in Rohrleitungen und Tragwerken unterliegen einem Energieverlust bzw. einer Dämpfung. Ursachen dieser Dämpfung sind u. a. innere Reibung des Werkstoffs, mangelhafte Verbindung zwischen Bauteilen, Gleitreibung usw. Da eine quantitative Untersuchung der Dämpfung komplex und fallspezifisch ist, sollte, sofern keine anderen geeigneten und gesicherten Daten vorliegen, für die nach diesem Anhang erfolgenden Berechnungen das in Bild A.2.1-1 wiedergegebene Diagramm für die dynamischen Analyseverfahren zugrunde gelegt werden, bei denen Dämpfung berücksichtigt wird.



Legende

Für alle Rohrgrößen:
(a) kritische Dämpfung in %
(b) Frequenz in Hz

Bild A.2.1-1 — Dämpfung bei seismischen Ereignissen

A.2.1.7 Verschiebung von Rohrhalterungen durch seismische Einflüsse

Die Auswirkungen der relativen Bewegungen von Rohrhalterungen und Festpunkten bei seismischen Ereignissen sollten bei der Berechnung der Gesamtspannungen berücksichtigt werden. Für Rohrleitungshalterungen, die in derselben Ebene eines Gebäudes liegen, mögen diese Auswirkungen zwar nur gering sein; die relativen Verschiebungen können jedoch erheblich sein, wenn Teile des Tragwerks nicht miteinander verbunden sind.

In solchen Fällen sollte der Konstrukteur die Absolutwerte der Summe der Verschiebungen an den Festpunkten in jeder der drei Hauptrichtungen (ungeachtet der Vorzeichen) verwenden. Alternativ können die maximalen relativen Verschiebungen und die resultierenden Spannungen durch eine eingehende Analyse des Kraftverlaufs im Tragwerk über die Zeit ermittelt werden. Dabei ist anzumerken, dass es sich bei diesen Spannungen aufgrund relativer Bewegungen um selbstbegrenzende Sekundärspannungen handelt.

A.2.2 Schlagartiges Schließen von Ventilen

A.2.2.1 Allgemeines

Wenn der Fluidstrom in einem Rohrleitungssystem durch das schlagartige Schließen eines Ventils in Fließrichtung hinter der Quelle unterbrochen wird, kann darin eine Druckwelle entstehen, die vom Ventil zur Quelle zurückwandert. Eine derartige Welle tritt in Wechselwirkung mit der Rohrleitung, wird von der Quelle reflektiert und erzeugt dadurch ein komplexes Druckwellenmuster im Rohrleitungssystem. In verzweigten Rohrleitungssystemen werden diese Druckwellenmuster darüber hinaus dadurch beeinflusst, dass in den Rohren wandernde Wellen phasenverschoben aufeinandertreffen. Durch Druckunterschiede der Wellen werden Schwingungen im System erzeugt, die wiederum ungleichgewichtige Kräfte in der Rohrleitung verursachen, die erst nach mehreren Sekunden abgebaut sind. Dieses Phänomen wird als Wasserschlag bezeichnet.

Es tritt nur auf, wenn das Schließen des Ventils in kürzerer Zeit erfolgt, als eine Welle benötigt, um im Fluid mit Schallgeschwindigkeit vom Ventil zur Quelle zu wandern und von dort zum Ventil reflektiert zu werden. Diese Art des Ventilschließvorgangs wird als „schlagartig“ bezeichnet.

Der Schließvorgang selbst hängt vom Ventiltyp ab. Es wird allgemein angenommen, dass die Geschwindigkeit, mit der der Durchflussquerschnitt reduziert wird, über einen großen Teil des Ventilhubes konstant ist und dann in der Endphase des Schließvorgangs abnimmt, um Schäden am Ventilsitz zu minimieren. Ein derartiges Auslaufen der Schließkurve erhöht die Gesamtschließzeit, wodurch die Wirkung des Wasserschlags im Allgemeinen herabgesetzt wird.

Es sollte jedoch beachtet werden, dass der Fluiddurchsatz nicht den gleichen charakteristischen Verlauf aufweist, sondern proportional höher als die Querschnittsabnahme zum selben Zeitpunkt ist. Das bedeutet, dass das Ventil über einen großen Teil seines Querschnitts schließen kann, ohne den Fluiddurchsatz erheblich zu verringern. Folglich erfordern die Berechnungen zur modellmäßigen Darstellung der Schließcharakteristik des Ventils besondere Beachtung dieses Aspekts.

Der Druckanstieg sollte berechnet werden, so dass die Rohrleitung der Summe aus kontinuierlichen und druckstoßinduzierten Spannungen sicher standhält. Darüber hinaus muss der Betrag der ungleichgewichtigen Kräfte ermittelt und bei der Auslegung der Rohrleitung berücksichtigt werden, um die Spannungen in den Rohren und Stutzen sowie an den Verbindungen zu Rohrhalterungen und Tragwerk zu berechnen.

Zusätzlich zur Berechnung der Kräfte im System sollte der Konstrukteur die Bewegungen der Rohrleitung durch die erzwungene Schwingung ermitteln, um ausreichendes Spiel sicherzustellen.

Es sollte beachtet werden, dass zusätzlich zur Druckwelle entgegen der Strömungsrichtung hinter dem schließenden Ventil eine Verdünnungswelle erzeugt werden kann, deren Unterdruckwirkung untersucht werden sollte.

ANMERKUNG Außerdem sind die Auswirkungen von schlagartigem Ventilöffnen zu beachten. In Fließrichtung vor dem Ventil lassen sich aufgrund einer Front niedrigeren Drucks, die sich in der Rohrleitung rückwärts bewegt, ähnliche Effekte feststellen wie beim Schließen des Ventils. Aufgrund dessen wirken in der Rohrleitung in Fließrichtung hinter dem Ventil mit der Bewegung des Fluids bzw. seiner Druckfront ungleichgewichtige Momente und Druckkräfte auf jeden geraden Rohrleitungsabschnitt ein.

A.2.2.2 Vereinfachte statische Ersatzanalyse schlagartiger Ventilschließvorgänge

Bei diesem Verfahren wird nur der anfängliche Druckanstieg im System nach dem Schließen des Ventils betrachtet und angenommen, dass die dadurch verursachten Spannungen die Maximalspannungen sind, die im System auftreten. Wechselwirkungen und Dämpfung der Wellen sowie die dynamische Reaktion des Systems auf die Schwingungen bleiben unbeachtet. Diese Analyse führt zu konservativen Ergebnissen und damit gegebenenfalls zu einer Überdimensionierung der Rohrleitung, die mit den thermischen oder anderen Auslegungskriterien nicht vereinbar ist.

a) Untersuchung des Druckanstiegs

Der Schließvorgang ist als schlagartig anzusehen, wenn die folgende Gleichung erfüllt ist:

$$T < \frac{2L}{v_s} \quad (\text{A.2.2-1})$$

Dabei ist

L die Länge des Rohrleitungssystems;

T die effektive Ventilschließzeit;

v_s die Schallgeschwindigkeit im Fluid.

Der anfängliche Druckanstieg dP wird wie folgt berechnet:

$$dP = v_s v \rho \quad (\text{A.2.2-2})$$

Dabei ist

- v die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids;
- ρ die Dichte des Fluids unter den Berechnungsbedingungen.

ANMERKUNG Die Berechnung erfolgt nach der Joukowsky-Formel.

Die Schallgeschwindigkeit lässt sich wie folgt berechnen:

$$v_s = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \quad (\text{A.2.2-3})$$

Dabei ist

- k der Kompressionsmodul des Fluids.

Für Rohrleitungen mit hoher Elastizität kann die Gleichung wie folgt abgewandelt werden:

$$v_s = \sqrt{\frac{1}{\rho \left(\frac{1}{k} + \frac{D_o}{e E} \right)}} \quad (\text{A.2.2-4})$$

Der Konstrukteur sollte sicherstellen, dass die Rohrleitung hinsichtlich der Mindestwanddicke so bemessen ist, dass sie der Summe aus Betriebsdruck und maximalem dynamischen Druckanstieg dP standhält.

b) Statische Untersuchung dynamischer Beanspruchungen

Auswirkungen von Ungleichgewichten oder Druckstößen auf das Rohrleitungssystem lassen sich untersuchen, indem gerade Rohrabschnitte an den Böden oder an Abbiegungen mit einem berechneten Differenzdruck beaufschlagt werden. Dieser Differenzdruck ist der Anteil des über die betrachtete Rohrlänge entwickelten Spitzendrucks und wird als auf den inneren Rohrquerschnitt wirkend angenommen. Bei der Berechnung der resultierenden Kräfte sollten die Änderung der Schließgeschwindigkeit über den Ventilhub und der dynamische Verlauf der tatsächlichen Belastungen durch entsprechende Faktoren berücksichtigt werden.

Die größte unausgeglichene Kraft F in einem Rohr der Länge L kann wie folgt berechnet werden:

— Für starre Rohrleitungen gilt:

$$F = 2 \frac{M}{A} \frac{L}{\lambda} dP \pi \frac{D_i^2}{4} \quad (\text{A.2.2-5})$$

— Für elastische Rohrleitungen gilt:

$$F = 4 \frac{M}{A} \frac{L}{\lambda} dP \pi \frac{D_i^2}{4} \quad (\text{A.2.2-6})$$

$$\lambda = v_s T \quad (\text{A.2.2-7})$$

$$L/\lambda M/A \leq 1 \quad (\text{A.2.2-8})$$

Dabei ist

- λ die Wellenlänge der Druckwelle;
- M die maximale Verringerungsgeschwindigkeit des Ventilquerschnitts;
- A die aus der Gesamtschließzeit ermittelte mittlere Schließgeschwindigkeit.

A.2.2.3 Verbesserte Berechnungsverfahren

Merkmale und Auswirkungen der durch schlagartige Ventilschließvorgänge erzeugten Druckwelle können auch durch eine Analyse des Kraftverlaufs über die Zeit oder eine Modalanalyse ermittelt werden.

Die Entwicklung des Druckstoßes im Rohrleitungssystem kann durch mathematische Modelle der Ereignisse wiedergegeben werden; werden diese Drücke in einer hohen Anzahl von Zeitintervallen betrachtet, so können die Kräfte an Rohrenden oder Richtungsänderungen ermittelt werden. Die so ermittelten Kräfte können als wesentlicher Faktor in einer Analyse der aus diesen Kräften resultierenden Schwingungen der Rohrleitung verwendet werden.

Im Fall einer Modalanalyse sollte der Konstrukteur sicherstellen, dass keine signifikant höheren Eigenvektoren aufgrund der Wechselwirkung von Wellen in der Rohrleitung über der oberen Grenzfrequenz liegen, da sich das System bei diesen Frequenzen verhältnismäßig unelastisch verhalten kann.

Diese verbesserten Verfahren können Kopplungswirkungen zwischen dem Fluid und der Rohrleitung einschließen und damit die Dämpfung der Druckwelle durch die Energieübertragung auf die relativ starre Rohrleitung berücksichtigen. Bei Dampf oder ähnlichen Fluiden, bei denen die Fluidmasse im Verhältnis zur Masse der Rohrleitung vernachlässigt werden kann, sind die Vorteile dieser Analyse gegenüber herkömmlichen Verfahren gering.

Während diese Verfahren unter Umständen genauere und damit weniger konservative Lösungen für das Problem schlagartiger Ventilschließvorgänge ergeben, lassen sich mit Hilfe der verbesserten Verfahren zur Analyse des Ventilschließvorgangs sehr genaue Ergebnisse für die Modelldarstellung der Fluidquelle, die Ventilmerkmale, die Rohrhalterungen und das Strömungsverhalten des Fluids erzielen. Der Konstrukteur sollte Eignung und Genauigkeit der mathematischen Modelle für alle aufgeführten Aspekte sorgfältig prüfen.

A.2.2.4 Dämpfungen

Schwingungen in Rohrleitungen und Tragwerken unterliegen einem Energieverlust bzw. einer Dämpfung. Ursachen dieser Dämpfung sind u. a. innere Reibung des Werkstoffs, mangelhafte Verbindung zwischen Bauteilen, Gleitreibung usw. Da eine quantitative Untersuchung der Dämpfung komplex und fallspezifisch ist, sollte, sofern keine anderen geeigneten und gesicherten Daten vorliegen, für die nach diesem Anhang erfolgenden Berechnungen das in Bild A.2.1-1 wiedergegebene Diagramm für die dynamischen Analyseverfahren zugrunde gelegt werden, bei denen Dämpfung berücksichtigt wird.

A.2.3 Strömungsinduzierte Schwingungen

A.2.3.1 Allgemeines

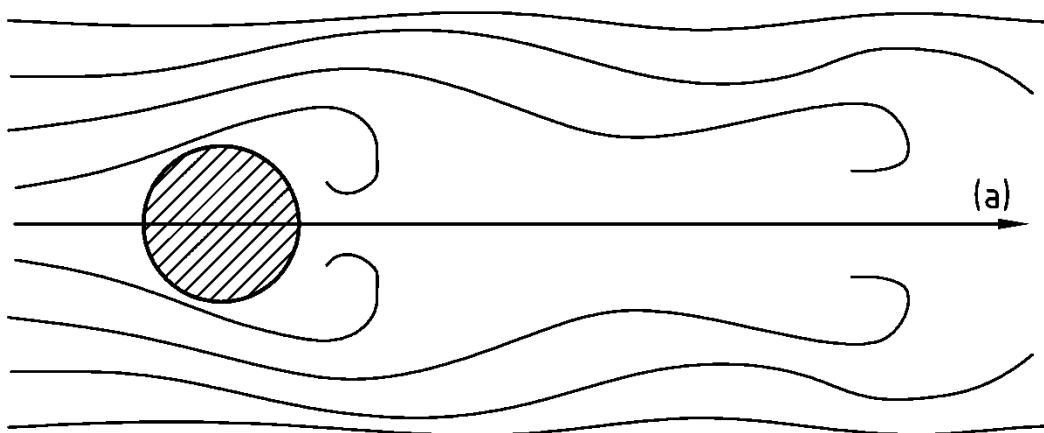
Störungen des kontinuierlichen Fluidstroms in Rohrleitungssystemen können Schwingungen im Fluid hervorrufen. Diese Fluidschwingungen können auf die Rohrleitung übertragen werden, und unter bestimmten Umständen können so Schwingungen mit großer Amplitude erzeugt werden.

Ein Rohrleitungssystem kann gleichzeitig der Einwirkung verschiedener Schwingungserreger ausgesetzt sein, deren Auswirkungen und Einflüsse auf die Rohrleitung nur durch eine komplexe Analyse ermittelt werden können. Ein Großteil der für eine Voraussage der Rohrbewegungen benötigten Daten stammt aus Experimenten und Versuchen und gilt nur für bestimmte Bedingungen und Rohrgeometrien.

Wenn keine zuverlässigen und geeigneten Daten und mathematischen Modelle zur Verfügung stehen, sollte der Konstrukteur bei der Auslegung der Rohrleitung die allgemeinen Mechanismen und Probleme durch die wichtigsten Erreger strömungsrelevanter Schwingungen berücksichtigen und darauf vorbereitet sein, Änderungen vorzunehmen, wenn im Betrieb Schwierigkeiten auftreten.

A.2.3.2 Wirbelablösung

Wird in ein strömendes Fluid ein Körper eingebracht, entstehen hinter diesem Körper Wirbel, die auf beiden Seiten des Körpers in Form regelmäßiger Muster ausgebildet werden. Dieses Phänomen tritt sowohl im Innern durch die Rohrleitung selbst als auch an der Außenseite durch an der Rohrleitung vorbeiströmende Fluide (einschließlich Wind) auf. Bild A.2.3-1 zeigt das typische Wirbelmuster, das von einem zylindrischen Körper im Fluidstrom erzeugt wird. Ein derartiges Muster kann durch einen in die Strömung eingebrachten rohrförmigen Körper, z. B. ein Thermometer oder ein anderes Messinstrument, hervorgerufen werden. Ähnliche Wirbelmuster können durch mehrere in der Strömung angeordnete Gruppen rohrförmiger Körper oder Objekte mit anderen Formen, z. B. Platten (in Absperrklappen), entstehen.



Legende

(a) Strömung

Bild A.2.3-1 — Typisches Wirbelmuster

Diese Wirbel erzeugen am Körper eine schwingende Kraft senkrecht zur Strömung und eine kleinere oszillierende Kraft in Richtung der Strömung.

Die Frequenz f_F der Hauptkraft F lässt für einen zylindrischen Körper nach folgender Gleichung berechnen:

$$f_F = S \frac{v}{D} \quad (\text{A.2.3-1})$$

Dabei ist

- v die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids;
- D der Durchmesser des Zylinders;
- S die geeigneten Quellen zu entnehmende Strouhal-Zahl.

$S = 0,2$ kann für Fluide mit einer Reynolds-Zahl zwischen 10^3 und 2×10^5 verwendet werden.

Die Größe der Kraft F lässt sich wie folgt berechnen:

$$F = C J \frac{1}{2} v^2 D L \sin(2\pi f_F T) \quad (\text{A.2.3-2})$$

Dabei ist

L die Länge des Systems

C, J und f_F sind Funktionen der Reynolds-Zahl, die für die Fluideigenschaften aus der entsprechenden Literatur oder durch Versuche ermittelt werden müssen.

Stimmt die Frequenz der Wirbelkraft zu etwa $\pm 25\%$ mit der Eigenfrequenz des Körpers in der Strömung überein, so können sich die beiden Frequenzen synchron überlagern und eine Resonanzschwingung mit großer Amplitude erzeugen. Die Stärke der Übertragung dieser Schwingungen auf die Rohrleitung hängt von der Verbindung des Körpers mit dem Fluid und der Rohrwand ab.

In der Praxis wird die Stärke der Auswirkungen der Wirbelablösung durch Turbulenzen um den Körper, durch eine die gleichmäßige Fluidströmung beeinträchtigende Oberflächenrauheit, durch kegelförmige Gestaltung des Körpers oder durch Anstellen des Körpers in der Strömung reduziert. Auch durch Einbringen anderer Körper in die Strömung in der Nähe des ersten kann die Ausbildung starker Schwingungen unterbunden werden.

A.2.3.3 Pumpeninduzierte Pulsation des Fluids

Pumpen erzeugen in der Regel keinen völlig gleichmäßigen Förder- oder Saugdruck. Die Art der Druckschwankungen im Fluid hängt von den Merkmalen der Pumpe und den Betriebsbedingungen ab.

Der Konstrukteur sollte Rohrleitungen im Bereich von Pumpen möglichst so auslegen, dass die Energie der Druckimpulse abgebaut und scharfe Richtungsänderungen und Schwingungsübertragungen in der Rohrleitung vermieden werden.

Ist das Frequenzspektrum der Fluidpulsation am Pumpenaustritt bekannt, so lässt sich die Reaktion der Rohrleitung auf diese Erregung im Modell nachbilden und nach einem der angegebenen dynamischen Analyseverfahren untersuchen. Bei diesen Berechnungen muss der Konstrukteur sicherstellen, dass die Daten und mathematischen Modelle die tatsächlichen Bedingungen genau wiedergeben.

A.2.4 Öffnen von Sicherheitsventilen

A.2.4.1 Allgemeines

Die Druckentlastung beim Öffnen eines Sicherheitsventils bewirkt eine Reaktionslast an der angeschlossenen Rohrleitung. Das anfängliche schlagartige Öffnen des Ventils erzeugt eine unter Umständen beträchtliche dynamische Kraftkomponente.

Dieser Effekt sollte als örtlich begrenztes Ereignis betrachtet werden, das an dem Stutzen, der das Ventil mit der Rohrleitung verbindet, eine Punktlast erzeugt, und er sollte bei der Auslegung von Rohrleitung und Rohrhalterung berücksichtigt werden. Enthält ein Hauptrohr mehrere Ventile, so sollte der Konstrukteur auch die Reaktionswirkungen der Kombination mehrerer Ventilöffnungsvorgänge berücksichtigen.

Es ist zwar möglich, die Charakteristik des Öffnungsvorgangs in ein mathematisches Modell von Ventil und Ablassrohr zur Ermittlung der Reaktionskraft aufzunehmen, im Allgemeinen genügt aber bei Ventilen, die in die Atmosphäre öffnen, eine einfache statische Analyse für den stationären Zustand, in der die dynamische Belastung durch einen entsprechenden Faktor berücksichtigt wird.

A.2.4.2 Einfache statische Analyse

Die ständig wirkende Reaktionskraft F_r beim Ablassvorgang in ein Ablassrohr oder in die Atmosphäre lässt sich wie folgt berechnen:

$$F_r = R v_e + (p_e - p_a) A \quad (\text{A.2.4-1})$$

Dabei ist

- p_e der berechnete Druck am Austrittspunkt;
 p_a der atmosphärische Druck;
 A die Querschnittsfläche der Austrittsöffnung;
 R der Durchsatz der abgelassenen Fluidmasse;
 v_e die berechnete Austrittsgeschwindigkeit.

Die anfängliche dynamische Kraft F_{dr} sollte wie folgt berechnet werden:

$$F_{dr} = F_r DLF \quad (\text{A.2.4-2})$$

Dabei ist

- DLF der dynamische Lastfaktor.

Der dynamische Lastfaktor DLF sollte auf die Öffnungszeit des Ventils bezogen werden; zu seiner Ermittlung wird zunächst eine Sicherheitsventilperiode T wie folgt berechnet:

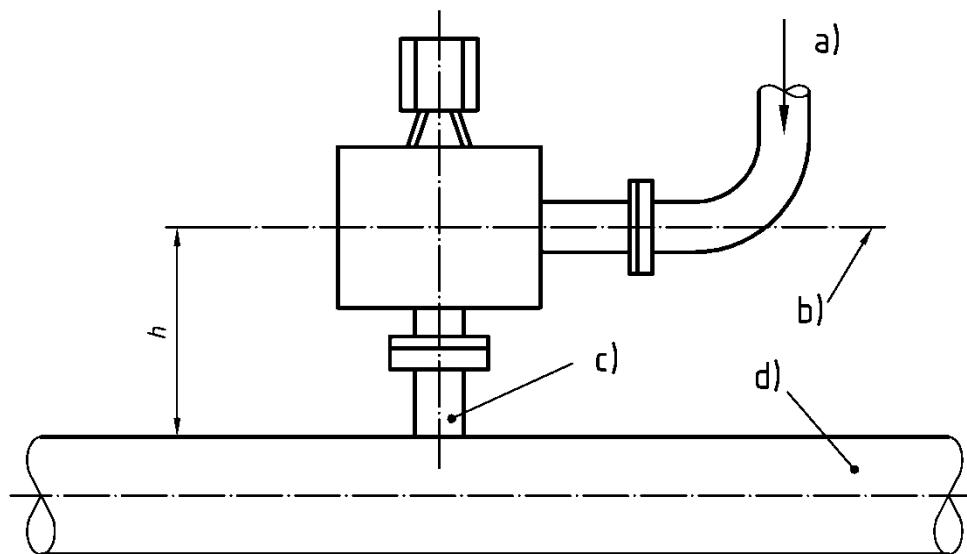
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{W h^3}{E I}} \quad (\text{A.2.4-3})$$

Dabei ist

- h der Abstand in mm zwischen der Oberfläche des Hauptrohrs und der Mittellinie des Ventilaustrittsrohrs, siehe Bild A.2.4-1;
 I das Flächenträgheitsmoment der Querschnittsfläche des Ventileintrittsrohrs;
 W die Masse von Sicherheitsventil, Flanschen usw.

Aus dem Verhältnis von Sicherheitsventil-Öffnungszeit (von ganz geschlossen bis ganz geöffnet) und berechneter Sicherheitsventilperiode sollte in Verbindung mit Bild A.2.4-2 der dynamische Lastfaktor ermittelt werden.

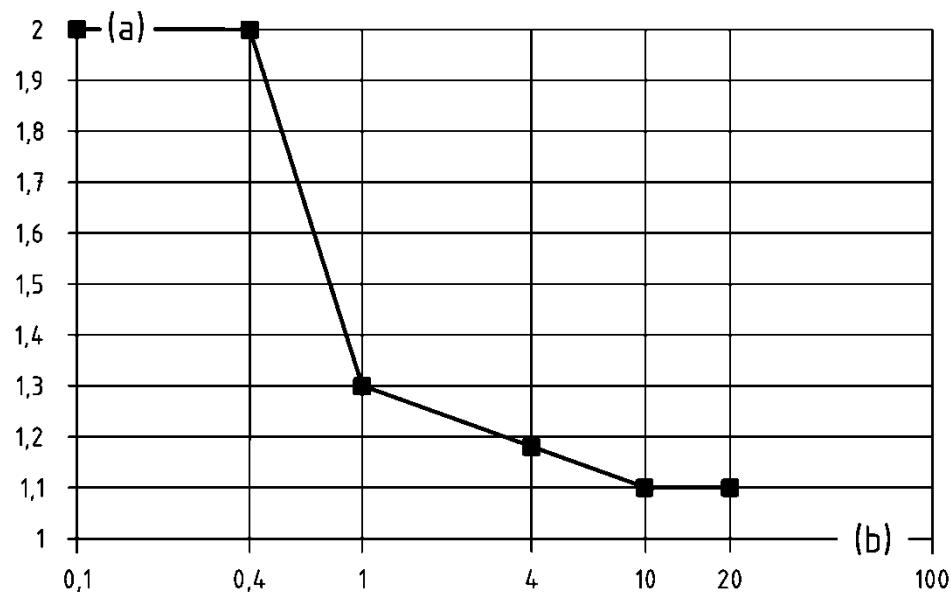
Andere Werte für den dynamischen Lastfaktor können verwendet werden, wenn sie durch experimentelle Daten ausreichend gestützt sind.



Legende

- (a) Reaktionslast
- (b) Mittellinie des Ventilaustrittsrohrs
- (c) Ventileintrittsstutzen
- (d) Haupstrohr

Bild A.2.4-1 — Typische Anordnung eines Sicherheitsventils



Legende

- (a) Dynamischer Lastfaktor
- (b) Verhältnis Ventilöffnungszeit/Ventilperiode

Bild A.2.4-2 — Dynamischer Lastfaktor

A.2.5 Zulässige Spannungen

A.2.5.1 Während dynamischer Ereignisse auftretende Druckspitzen sollten durch die in den Abschnitten 6 bis 10 angegebenen druckrelevanten Auslegungsanforderungen abgedeckt sein.

A.2.5.2 Bei Anwendung der einfachen und quasistatischen Analyseverfahren sollten die in 12.3 angegebenen Grenzwerte für Primär- und Sekundärspannungen verwendet werden.

A.2.5.3 Für die eingehende dynamische Analyse sollten die Primärspannungen auf den Wert der Mindeststreckgrenze des Werkstoffs bei Betriebstemperatur und die Summe aus Primär- und Sekundärspannung auf das Doppelte dieses Wertes begrenzt werden.

A.3 Alternative Nachweisverfahren

A.3.1 Vergleichende Untersuchungen

Der Nachweis für die Auslegung eines Rohrleitungssystems kann durch Vergleich mit einem bereits bestehenden Rohrleitungssystem geführt werden, für das durch Berechnung, Prüfung oder Betriebsnachweis gezeigt wurde, dass es den vorgeschlagenen Auslegungsbedingungen standhalten kann. Wird dieser Ansatz gewählt, so sollte jedoch sorgsam darauf geachtet werden sicherzustellen, dass die verglichenen Rohrleitungssysteme in allen wesentlichen Merkmalen übereinstimmen. Besondere Aufmerksamkeit sollte der Konstrukteur der Form der Rohrleitungen, den Eingangserregungen, den mechanischen Verbindungen sowie Druck, Temperatur und Strömungsverhältnissen widmen.

A.3.2 Prüfung am vollmaßstäblichen Modell

Der Nachweis der Auslegung kann auch durch eine Prüfung des vollmaßstäblichen Modells geführt werden. Dies mag zwar bei großen Rohrleitungssystemen nicht zweckmäßig sein, eine Prüfung nach dem Einbau oder unter Laborbedingungen kann jedoch für Auslegungen in Betracht gezogen werden, die für eine Serienfertigung vorgesehen sind.

Der Konstrukteur sollte sicherstellen, dass die Prüfbedingungen mit den vorgesehenen Auslegungsbedingungen übereinstimmen. Werden künstlich Schwingungen des Systems hervorgerufen, so sollten sie alle wesentlichen Frequenzen und Amplituden enthalten.

Werden Prüfungen nur an Bauteilen oder Abschnitten des Rohrleitungssystems vorgenommen, so sollte der Konstrukteur sicherstellen, dass die Gültigkeit der Prüfergebnisse nicht aufgrund von unterschiedlichen Endbedingungen in der Prüfung und im Einbauzustand beeinträchtigt wird.

A.3.3 Prüfung am maßstäblich verkleinerten Modell

Die Prüfung am maßstäblich verkleinerten Modell kann dazu dienen, die Verhaltensmerkmale eines Systems zu ermitteln oder die Richtigkeit der für die Auslegungsberechnungen verwendeten mathematischen Modelle nachzuweisen.

Der Modellmaßstab sollte nicht kleiner als 1:10 sein, und die Regeln zum Nachweis der Ähnlichkeit sollten genau festgelegt sein. Die Merkmale der überlagerten Schwingungen sind so zu wählen, dass die Gültigkeit der ermittelten Daten zum Reaktionsverhalten der Rohrleitung sichergestellt ist.

Anhang B (normativ)

Genauere Berechnung von Rohrbiegungen und Bögen

B.1 Allgemeines

Dieser Anhang B legt ein im Vergleich zu dem in 6.2.3.1 angegebenen weniger konservativen Verfahren zur Berechnung von Rohrbiegungen und Bögen fest.

ANMERKUNG Diese Berechnungsregeln berücksichtigen, [1] und [2], dass bei Rohrbiegungen und Bögen unter Innendruck an der Wandinnenseite höhere Spannungen (und an der Außenseite niedrigere Spannungen) auftreten, als an einem geraden Rohr mit gleicher Wanddicke.

B.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Anhangs gelten zusätzlich zu den Symbolen in 3.2 die in Tabelle B.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle B.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung von Anhang B

Symbol	Erläuterung	Einheit
B	Berechnungsbeiwert zur Ermittlung der Wanddicke von Rohrbiegungen und Bögen mit konstanter Wanddicke	—
B_{ext}	Berechnungsbeiwert zur Ermittlung der Wanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogenaußenseite	—
B_{int}	Berechnungsbeiwert zur Ermittlung der Wanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogeninnenseite	—
e	Nach 6.2.1 zu berechnende geforderte Mindestwanddicke von geraden Rohren	mm
$e_{\text{a ext}}$	Berechnungswanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogenaußenseite	mm
$e_{\text{a int}}$	Berechnungswanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogeninnenseite	mm
e_{ext}	Geforderte Mindestwanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogenaußenseite ohne Zuschläge und Toleranzen	mm
e_{int}	Geforderte Mindestwanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogeninnenseite ohne Zuschläge und Toleranzen	mm
$e_{\text{ord,ext}}$	Bestellte Wanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogenaußenseite	mm
$e_{\text{ord,int}}$	Bestellte Wanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogeninnenseite	mm
$e_{\text{r ext}}$	Geforderte Mindestwanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogenaußenseite einschließlich Zuschlägen und Toleranzen	mm
$e_{\text{r int}}$	Geforderte Mindestwanddicke von Rohrbiegungen und Bögen an der Bogeninnenseite einschließlich Zuschlägen und Toleranzen	mm
$f_m \text{ ext}$	Mittelspannung an der Bogenaußenseite	MPa (N/mm ²)
$f_m \text{ int}$	Mittelspannung an der Bogeninnenseite	MPa (N/mm ²)
r	Krümmungsradius der Rohrbiegung, wie mit Bild B.2-1 festgelegt	mm

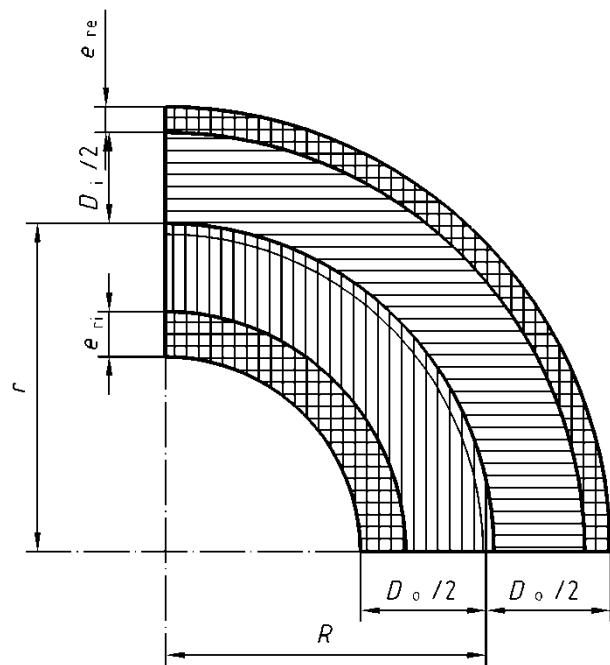


Bild B.2-1 — Abmessungen bei Rohrbiegungen

B.3 Geforderte Wanddicke

Die geforderte Mindestwanddicke einschließlich Zuschlägen und Toleranzen ist wie folgt zu berechnen:

- für die Bogeninnenseite gilt:

$$e_{r \text{ int}} = e_{\text{int}} + c_0 + c_1 + c_2 \quad (\text{B.3-1})$$

- für die Bogenaußenseite gilt:

$$e_{r \text{ ext}} = e_{\text{ext}} + c_0 + c_1 + c_2 \quad (\text{B.3-2})$$

Die Berechnungswanddicke für die Berechnung der Spannungen an bearbeiteten Rohrbiegungen mit der bestellten Wanddicke $e_{\text{ord,int}}$ bzw. $e_{\text{ord,ext}}$ ist nach den nachstehenden Gleichungen zu berechnen:

- für die Bogeninnenseite gilt:

$$e_{a \text{ int}} = e_{\text{ord int}} - c_0 - c_1 - c_2 \quad (\text{B.3-3})$$

- für die Bogenaußenseite gilt:

$$e_{a \text{ ext}} = e_{\text{ord ext}} - c_0 - c_1 - c_2 \quad (\text{B.3-4})$$

ANMERKUNG Kantenabschrägungen an den Enden von Rohrbiegungen oder Bögen brauchen bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt zu werden.

B.4 Berechnung

B.4.1 Berechnung der Wanddicke

B.4.1.1 Wanddicke an der Bogeninnenseite

Die geforderte Mindestwanddicke von Rohrbiegungen oder Bögen an der Bogeninnenseite ohne Zuschläge und Toleranzen ist wie folgt zu berechnen:

$$e_{\text{int}} = e B_{\text{int}} \quad (\text{B.4.1-1})$$

Dabei ist B_{int} nach einer der nachstehenden Gleichungen zu berechnen:

- Für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Innendurchmesser gilt:

$$B_{\text{int}} = \frac{r}{e} - \frac{D_i}{2e} - \sqrt{\left(\frac{r}{e} - \frac{D_i}{2e}\right)^2 - 2\frac{r}{e} + \frac{D_i}{2e}} \quad (\text{B.4.1-2})$$

ANMERKUNG Der Beiwert B_{int} als Funktion von r/D_i kann Bild B.4.1-1 entnommen werden.

- Für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Außendurchmesser gilt:

$$B_{\text{int}} = \frac{D_o}{2e} + \frac{r}{e} - \left(\frac{D_o}{2e} + \frac{r}{e} - 1 \right) \sqrt{\frac{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \left(\frac{D_o}{2e}\right)^2}{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \frac{D_o}{2e} \left(\frac{D_o}{2e} - 1\right)}} \quad (\text{B.4.1-3})$$

ANMERKUNG Der Beiwert B_{int} als Funktion von r/D_o kann Bild B.4.1-2 entnommen werden.

Das Verhältnis r/e ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$\frac{r}{e} = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{D_o}{2e}\right)^2 + \left(\frac{R}{e}\right)^2 \right\} + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\left(\frac{D_o}{2e}\right)^2 + \left(\frac{R}{e}\right)^2 \right)^2 - \frac{D_o}{2e} \left(\frac{D_o}{2e} - 1\right) \left(\frac{R}{e}\right)^2}} \quad (\text{B.4.1-4})$$

Die Ergebnisse der Gleichungen (B.4.1-2) und (B.4.1-3) sind nur dann identisch, wenn die nachstehenden Gleichungen erfüllt sind:

$$D_o = D_i + e_{\text{int}} + e_{\text{ext}} \quad (\text{B.4.1-5})$$

und

$$R = r - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{2} \quad (\text{B.4.1-6})$$

B.4.1.2 Wanddicke an der Bogenaußenseite

Die geforderte Mindestwanddicke von Rohrbiegungen oder Bögen an der Bogenaußenseite ohne Zuschläge und Toleranzen ist wie folgt zu berechnen:

$$e_{\text{ext}} = e B_{\text{ext}} \quad (\text{B.4.1-7})$$

Dabei ist B_{ext} nach einer der nachstehenden Gleichungen zu berechnen:

- Für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Innendurchmesser gilt:

$$B_{\text{ext}} = \sqrt{\left(\frac{r}{e} + \frac{D_i}{2e}\right)^2 + 2 \frac{r}{e} + \frac{D_i}{2e} - \frac{D_i}{2e} - \frac{r}{e}} \quad (\text{B.4.1-8})$$

ANMERKUNG Der Beiwert B_{ext} als Funktion von r/D_i kann Bild B.4.1-1 entnommen werden.

- Für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Außendurchmesser gilt:

$$B_{\text{ext}} = \frac{D_o}{2e} - \frac{r}{e} - \left(\frac{D_o}{2e} - \frac{r}{e} - 1 \right) \sqrt{\frac{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \left(\frac{D_o}{2e}\right)^2}{\left(\frac{r}{e}\right)^2 - \frac{D_o}{2e} \left(\frac{D_o}{2e} - 1\right)}} \quad (\text{B.4.1-9})$$

ANMERKUNG Der Beiwert B_{ext} als Funktion von r/D_o kann Bild B.4.1-2 entnommen werden.

Das Verhältnis r/e ist nach Gleichung (B.4.1-4) zu berechnen:

Die Ergebnisse der Gleichungen (B.4.1-8) und (B.4.1-9) sind nur dann identisch, wenn die Gleichungen (B.4.1-5) und (B.4.1-6) erfüllt sind.

B.4.1.3 Rohrbiegungen und Bögen mit konstanter Wanddicke

Für Rohrbiegungen und Bögen mit konstanter Wanddicke an Bogenaußen- und -innenseite ist die geforderte Mindestwanddicke nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$e_{\text{int}} = e_{\text{ext}} = e B \quad (\text{B.4.1-10})$$

Dabei ist B wie folgt zu berechnen:

- Für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Innendurchmesser gilt, dass der Beiwert $B = B_{\text{int}}$ und aus Gleichung (B.4.1-2) zu berechnen ist:

ANMERKUNG Der Beiwert B als Funktion von R/D_i kann Bild B.4.1-1 entnommen werden.

- Für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Außendurchmesser gilt:

$$B = \frac{D_o}{2e} - \frac{R}{e} + \sqrt{\left(\frac{D_o}{2e} - \frac{R}{e}\right)^2 + 2 \frac{R}{e} - \frac{D_o}{2e}} \quad (\text{B.4.1-11})$$

ANMERKUNG Der Beiwert B als Funktion von R/D_o kann Bild B.4.1-3 entnommen werden.

Die Ergebnisse der Gleichung (B.4.1-2) in Verbindung mit Gleichung (B.4.1-10) und Gleichung (B.4.1-11) sind nur identisch, wenn folgende Gleichungen erfüllt sind.

$$D_0 = D_i + 2e_{int} \quad (\text{B.4.1-12})$$

und

$$R = r \quad (\text{B.4.1-13})$$

B.4.2 Spannungsberechnung

B.4.2.1 Die mittlere Spannung an der Bogeninnenseite ist wie folgt zu berechnen:

- für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Innendurchmesser gilt:

$$f_{m\ int} = \left(\frac{p_c D_i}{2 z e_{a\ int}} \quad \frac{2r - 0,5 D_i}{2r - D_i - e_{a\ int}} \right) + \frac{p_c}{2} \leq f \quad (\text{B.4.2-1})$$

- für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Außendurchmesser gilt:

$$f_{m\ int} = \left\{ \frac{p_c (D_o - e_{a\ int} - e_{a\ ext})}{2 z e_{a\ int}} \quad \frac{2R - 0,5 D_o + 1,5 e_{a\ int} - 0,5 e_{a\ ext}}{2R - D_o + e_{a\ int}} \right\} + \frac{p_c}{2} \leq f \quad (\text{B.4.2-2})$$

B.4.2.2 Die mittlere Spannung an der Bogenaußenseite ist wie folgt zu berechnen:

- für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Innendurchmesser gilt:

$$f_{m\ ext} = \left(\frac{p_c D_i}{2 z e_{a\ ext}} \quad \frac{2r + 0,5 D_i}{2r + D_i + e_{a\ ext}} \right) + \frac{p_c}{2} \leq f \quad (\text{B.4.2-3})$$

- für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Außendurchmesser gilt:

$$f_{m\ ext} = \left\{ \frac{p_c (D_o - e_{a\ int} - e_{a\ ext})}{2 z e_{a\ ext}} \quad \frac{2R + 0,5 D_o + 0,5 e_{a\ int} - 1,5 e_{a\ ext}}{2R + D_o - e_{a\ ext}} \right\} + \frac{p_c}{2} \leq f \quad (\text{B.4.2-4})$$

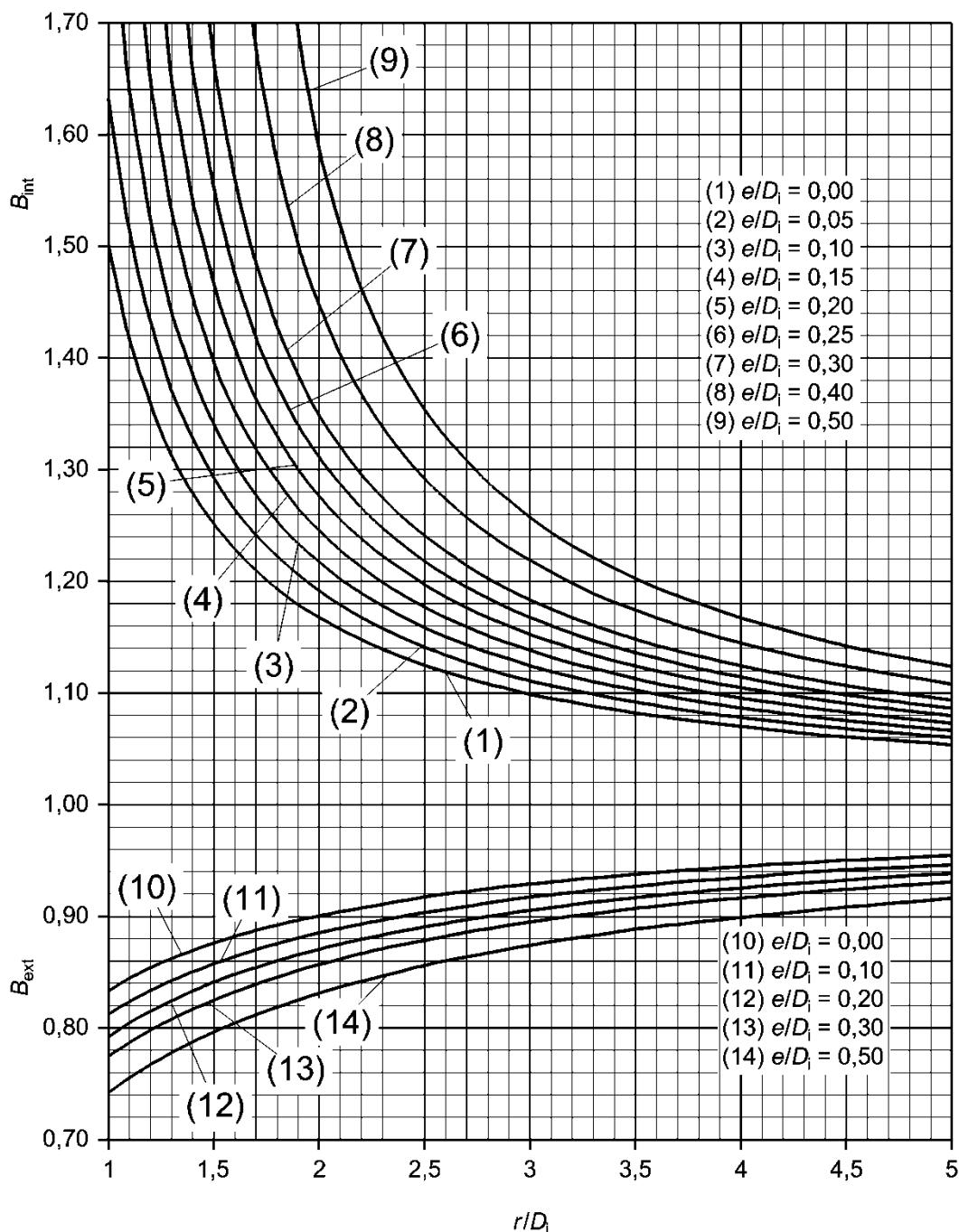


Bild B.4.1-1 — Berechnungsbeiwerte B_{int} und B_{ext} für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Innendurchmesser nach Gleichung (B.4.1-2) für B_{int} und (B.4.1-8) für B_{ext}

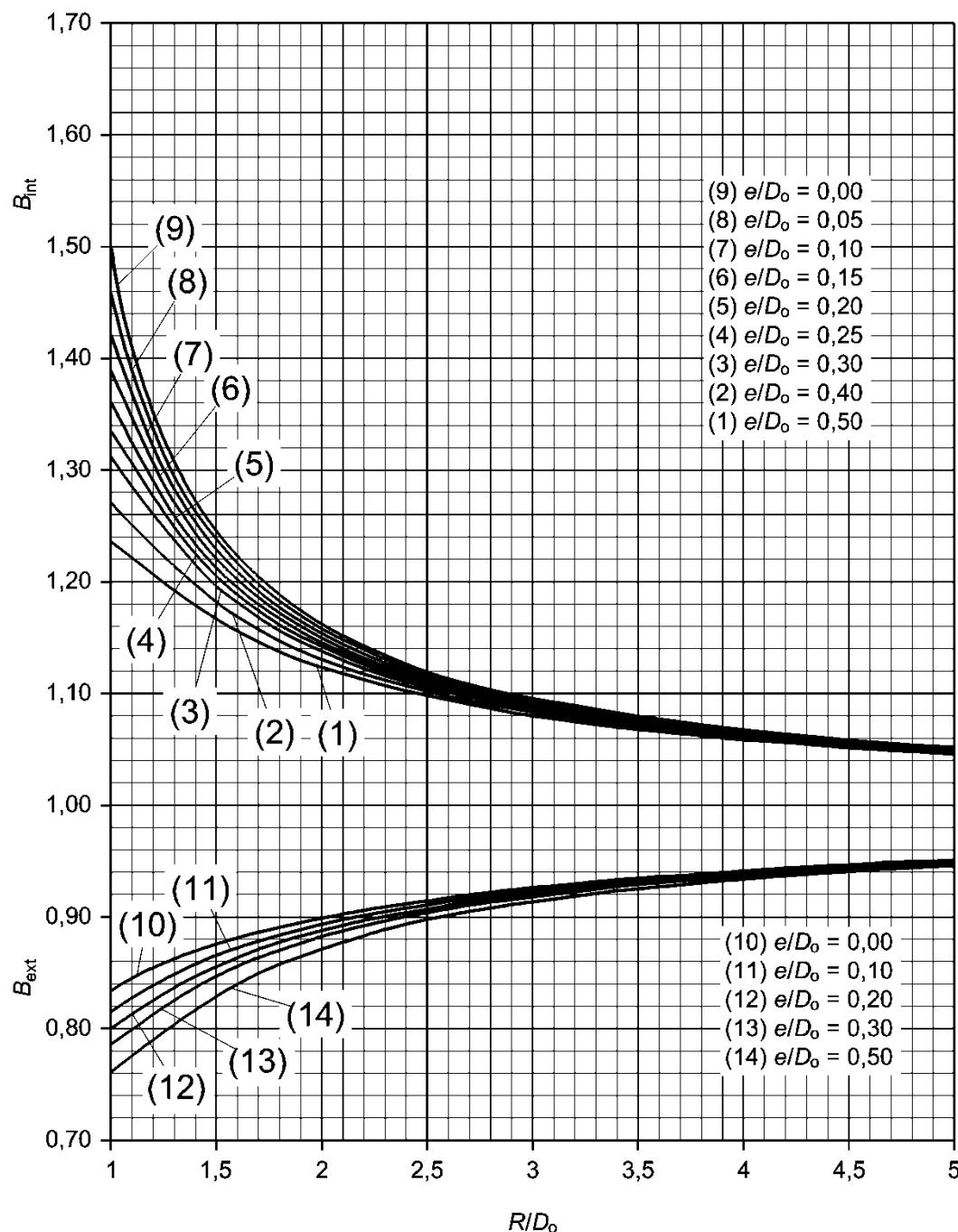


Bild B.4.1-2 — Berechnungsbeiwerte B_{int} und B_{ext} für Rohrbiegungen und Bögen mit festgelegtem Außendurchmesser nach Gleichung (B.4.1-3) für B_{int} und (B.4.1-9) für B_{ext}

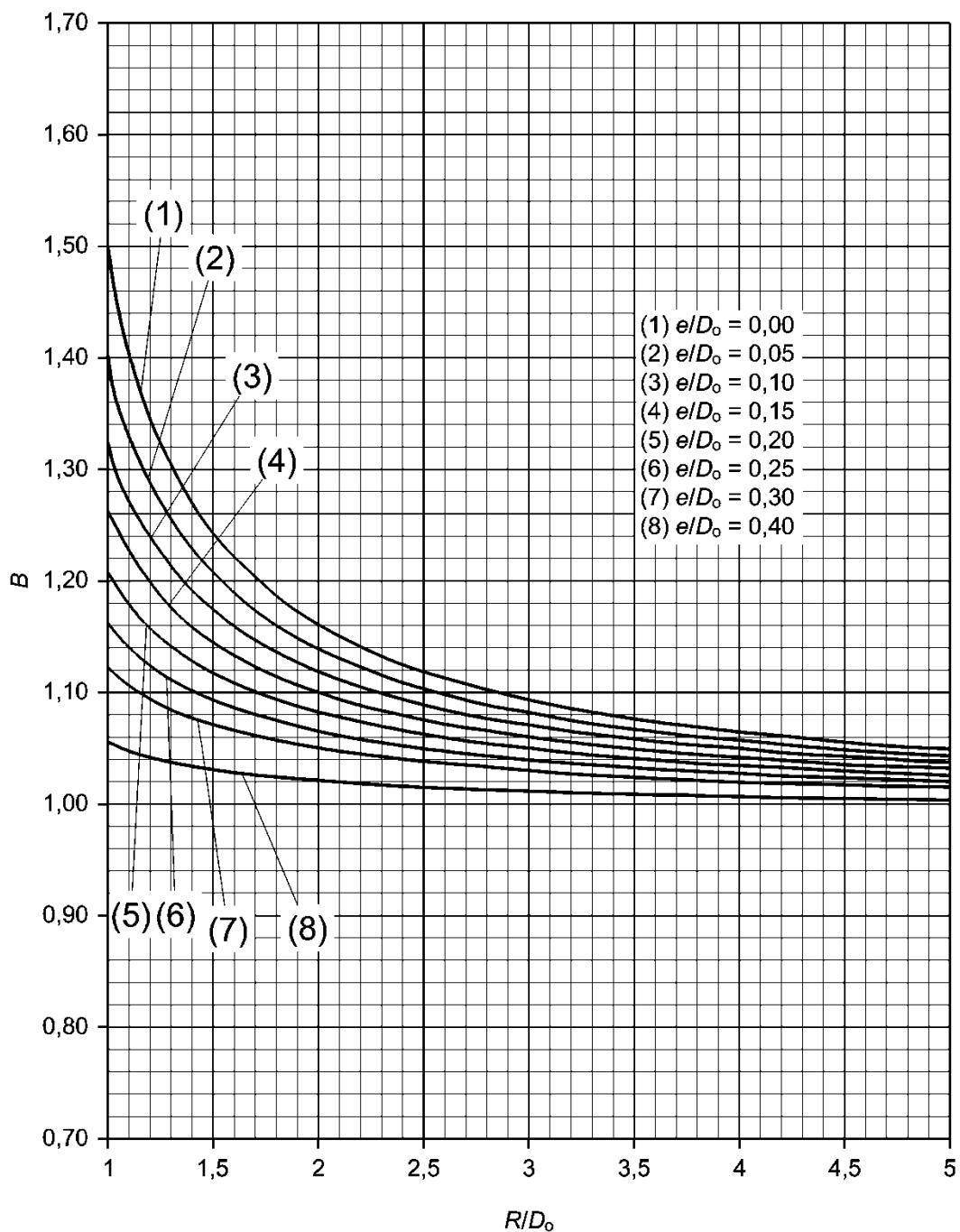


Bild B.4.1-3 — Berechnungsbeiwerte B für Rohrbiegungen und Bögen mit gleichen Wanddicken ($e_{int} = e_{ext}$) und festgelegtem Außendurchmesser

Anhang C (informativ)

Kompensatoren

C.1 Einbau von Kompensatoren in Rohrleitungssysteme

C.1.1 Allgemeines

Bewegungen innerhalb eines Rohrleitungssystems können durch Ausnutzung der Eigenelastizität des Systems nach den Regeln nach Abschnitt 12 aufgenommen werden. Zusätzlich können in die Auslegung spezielle Bauteile einbezogen werden, wie z. B. Kompensatoren, Schläuche usw., die sowohl dem Innen- oder Außendruck standhalten als auch die Bewegungen kompensieren, indem sie dem System insgesamt die für die Auslegung erforderliche Flexibilität verleihen.

Kompensatoren bestehen üblicherweise aus Bälgen mit einer oder mehreren Wellen, die in axialer Richtung gestreckt oder gestaucht werden können und deren Enden sich zueinander abwinkeln oder seitlich versetzen lassen.

Die flexiblen Bälge werden aus Werkstoffen, wie z. B. Metall, Gummi oder ähnlichen Elastomeren gefertigt. Bälge aus metallischen Werkstoffen können ein- oder mehrwandig ausgeführt sein, und die Vielzahl von Elastomerwerkstoffen und zugehörigen Geweben ermöglicht die unterschiedlichsten Ausführungen von Elastomer-Kompensatoren. Für die Bauart von Kompensatoren siehe EN 14917.

Die Bewegungen können durch Wärmeausdehnung, durch Setzungen oder durch sonstige Bewegungen an den Endpunkten, sowie durch Schwingungen und andere äußere Lasten verursacht werden. Kompensatoren können so ausgelegt werden, dass sie axiale, angulare und laterale Bewegungen der damit verbundenen Bauteile aufnehmen; durch Festpunkte können die Relativbewegungen sicher kontrolliert und gleichzeitig die axialen Druckkräfte aufgenommen werden.

Mehrere Kompensatoren, an einer Stelle des Systems angeordnet, können erforderlich sein, um die gesamten Bewegungen des betreffenden Rohrleitungssystems aufzunehmen.

Kompensatoren aus Metall können für hohe Temperaturen und Drücke ausgelegt werden. Bei ihnen ist die Werkstoffermüdung zu berücksichtigen.

Elastomer-Kompensatoren haben dagegen keine so hohen Temperatur- und Druckfestigkeiten. Ein Versagen aufgrund von Ermüdung ist bei diesen jedoch unwahrscheinlich, ihre Lebensdauer wird durch Alterung begrenzt.

Kompensatoren können mit inneren Leitrohren ausgestattet oder ihre Wellen können ausgefüllt werden als Vorkehrung gegen abrasive Medien oder wenn durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten Schwingungsprobleme zu befürchten sind. Gegen Korrosionsangriffe sind Innenliner möglich. Diese Maßnahmen können jedoch die Funktion der Kompensatoren beeinträchtigen, und es sollte daher in jedem Fall der spezielle Rat des Herstellers eingeholt werden.

Kompensatoren können mit vielfältigen speziellen Leistungsmerkmalen versehen werden; nähere Angaben dazu macht ISO 15348.

C.1.2 Kompensatortypen

C.1.2.1 Allgemeines

Kompensatoren zur Aufnahme von verschiedenen Bewegungsarten, wie z. B. axiale, angulare oder laterale Bewegung oder zur Aufnahme von axialen Druckkräften können in verschiedensten Bauformen ausgeführt sein. Die am häufigsten verwendeten Kompensatoren sind im Folgenden beschrieben.

C.1.2.2 Axialkompensatoren

Dieser Kompensatortyp wird in gerade Rohrleitungen eingebaut, um hauptsächlich axiale Bewegungen durch Streckung oder Stauchung der Bälge aufzunehmen. Axialkompensatoren können die durch den Druck des Mediums in den Rohren hervorgerufenen axialen Drückkräfte nicht aufnehmen, daher muss solchen Kräften durch Festpunkte an anderer Stelle im Rohrleitungssystem entgegengewirkt werden. Bei langen Rohrleitungen oder großen Bewegungen können mehrere Kompensatoren erforderlich sein, die jeweils durch Zwischenfestpunkte voneinander zu trennen sind.

C.1.2.3 Angularkompensatoren

Dieser Kompensatortyp dient zur Aufnahme von angularen Bewegungen. Ist der Kompensator mit einfachen Gelenken ausgerüstet, so gestattet er die Bewegung in nur einer Ebene. Ist er mit Kardanringen ausgerüstet, so gestattet er Bewegungen in allen Ebenen. Er nimmt außerdem die axiale Druckkraft auf.

Um die Bewegungen von Rohrleitungssystemen auszugleichen ist in der Regel ein System aus mindestens zwei Angularkompensatoren erforderlich.

C.1.2.4 Lateralkompensatoren

Dieser Kompensatortyp dient zur Aufnahme von seitlichem Versatz (Lateralbewegung).

Die Enden des Kompensators werden durch eine Verspannung, bestehend aus mindestens zwei starren Zugstangen (häufig in Kugelscheibe und Kugelpfanne gelagert) oder einem Paar Zugankern mit Gelenkbolzen, fest miteinander verbunden. Die axiale Druckkraft wird durch diese Verspannung aufgenommen.

C.1.2.5 Universalkompensatoren

Dieser Kompensatortyp dient zur Aufnahme aller denkbaren Bewegungskombinationen und besteht aus zwei über ein kurzes Rohrstück miteinander verbundenen Bälgen. Er ist nicht in der Lage, die axiale Druckkraft aufzunehmen.

C.1.2.6 Druckentlastete Kompensatoren

Dieser Kompensatortyp dient zur Aufnahme von axialen und/oder seitlichen Bewegungen und wirkt außerdem der axialen Druckkraft entgegen.

C.1.3 Auslegung von Kompensatoren

Kompensatoren arbeiten zwar stets nach demselben Funktionsprinzip, werden aber im Allgemeinen je nach Hersteller unterschiedlich ausgelegt und gefertigt. Dadurch ergeben sich herstellerspezifische Eigenschaften dieser Bauteile, so dass gegebenenfalls detaillierte technische Angaben vom jeweiligen Hersteller zu erfragen sind.

Von wesentlicher Bedeutung ist die Auslegung der Bälge, sie sollte nach dem in diesem Anhang C angegebenen Verfahren oder einem anderen anerkannten Berechnungsverfahren oder durch experimentellen Nachweis erfolgen. Lasttragende Bauteile sollten unter Hinzuziehung Europäischer oder sonstiger anerkannter Normen so ausgelegt werden, dass sie allen zu erwartenden Belastungen standhalten.

Die Elastizität eines Balges steigt mit der Anzahl der Wellen, da bei einer gegebenen Gesamtbewegung jede einzelne Welle geringer verformt wird. Hohe Auslegungsdrücke erfordern eine große Balgwanddicke, die wiederum eine höhere Anzahl von Wellen oder eine mehrwandige Ausführung bedingt, damit eine ausreichende Elastizität erhalten bleibt.

Ein zusätzlicher Effekt bei Verwendung von mehrwandigen Ausführungen ist, dass die Balgwellen für eine gegebene Elastizität kleiner sein können und dass die verringerte Querschnittsfläche zu kleineren axialen Druckkräften führt.

C.1.4 Konstruktion von Rohrleitungen unter Verwendung von Kompensatoren

C.1.4.1 Allgemeines

Die Verwendung von Kompensatoren ist kein Ersatz für eine Spannungsanalyse. Kompensatoren sollten als Elemente einer Rohrleitung betrachtet werden, und der Konstrukteur sollte alle unter Auslegungsbedingungen zu erwartenden Belastungen in Betracht ziehen, um sicherzustellen, dass das Rohrleitungssystem zu jeder Zeit in zulässigen, berechenbaren und sicheren Grenzen betrieben werden kann.

C.1.4.2 Anordnung von Kompensatoren im Rohrleitungssystem

Der Konstrukteur der Rohrleitung sollte Kompensatoren als zweckmäßige oder kostengünstige Möglichkeit ansehen, die Anforderungen dieser Norm zu erfüllen, wenn für bestimmte Stellen im Rohrleitungssystem die berechneten Verschiebungen und Kräfte nicht mehr durch die Elastizität der Rohrleitung allein kompensiert werden können oder an angeschlossenen Geräten unzulässig hohe Belastungen verursacht würden.

Zur Minimierung von Komplexität und Kosten sollten Kompensatoren in der Regel an den Stellen im Rohrleitungssystem eingebaut werden, an denen mit ihnen die Rohrbewegungen einfach aufzunehmen sind. Dazu sollte das Gesamtsystem in Abschnitte unterteilt werden, die danach zu unterscheiden sind, ob Kompensatoren erforderlich sind oder die Elastizität des Rohrleitungssystems ausreicht.

Kompensatoren neigen bei Beanspruchung durch Torsion über die zulässigen Grenzwerte hinaus zur Instabilität, und der Konstrukteur sollte die Kompensatoren deshalb an geeigneten Stellen der Rohrleitung einbauen, wo sie keiner Torsion ausgesetzt sind oder diese durch andere Maßnahmen begrenzt.

Welche Kompensatorausführung verwendet wird, hängt von Durchmesser und Verlauf der betreffenden Rohre im Rohrleitungssystem, den aufzunehmenden Bewegungen und den Betriebsbedingungen ab. Die Verwendungsmöglichkeiten von Axialkompensatoren werden durch die Größe der axialen Druckkraft beschränkt.

Kompensatoren werden üblicherweise eingesetzt, um die axialen Bewegungen langer Rohrleitungen nicht zu behindern, während die Bewegungen kürzerer Absätze und Abzweige entweder durch die Elastizität der Rohrleitung aufgenommen werden oder durch Kompensatoren, die entsprechend der aufzunehmenden Bewegung gewählt werden.

Bei Rohrleitungen mit annehmbaren axialen Druckkräften kann die Bewegung des Hauptstrangs durch einen oder mehrere Axialkompensatoren aufgenommen werden, jeweils mit Festpunkten, an den Richtungsänderungen der Rohrleitung. Zur Aufnahme von Dehnungen bzw. Bewegungen angeschlossener Rohre sind erforderlichenfalls zusätzliche Kompensatoren zu verwenden, deren Verstellkräfte diese Festpunkte ebenfalls belasten.

Sind die axialen Druckkräfte zu groß, um von den Festpunkten aufgenommen werden zu können, so können die Bewegungen des Hauptstrangs alternativ auch durch laterale Verformung in abbiegenden Leitungssträngen bei Verwendung von verspannten Kompensatoren aufgenommen werden.

Auch bei großen Rohrleitungsbewegungen müssen unter Umständen verspannte Kompensatoren in abbiegenden Leitungssträngen verwendet werden. Durch den Einbau von einem Lateralkompensator oder zwei Angularkompensatoren in dem betreffenden abbiegenden Leitungsstrang können erhebliche seitliche Verschiebungen dieses Strangs aufgenommen werden. Diese seitlichen Verschiebungen führen zu einer Schrägstellung des Zwischenrohres, wodurch wiederum seitliche Verschiebungen des Hauptstrangs hervorgerufen werden. Das Ausmaß dieser Verschiebung und der Belastung an den Rohrführungen hängt von der Geometrie und Auslegung des jeweiligen Kompensators ab; daher sollten für die Konstruktion und Auslegung geeigneter Rohrhalterungen und Führungen der Rohrleitungen die spezifischen Angaben des Herstellers herangezogen werden.

Unterliegt der Hauptstrang großen Bewegungen und ist der abbiegende Leitungsstrang kurz, so sollte ein System aus drei Gelenkkompensatoren verwendet werden. Der dritte Kompensator dient dann dazu, Biegung im Hauptstrang zu vermeiden.

C.1.4.3 Festpunkte

Da Axial- oder Universalkompensatoren die axialen Druckkräfte in die Festpunkte ableiten, sollte das Gesamtsystem in einzelne Abschnitte mit Festpunkten an den Enden unterteilt werden, um die einzelnen Abschnitte mit Kompensatoren voneinander zu trennen. Der Konstrukteur sollte sicherstellen, dass geeignete Tragwerke für die Aufnahme der Festpunktlasten zur Verfügung stehen, da schon bei normalen Drücken und üblichen Rohrdurchmessern nicht akzeptable Werte erreicht werden können.

Wenn die axialen Druckkräfte nicht durch Festpunkte im Kompensator aufgenommen werden, sollten die Festpunkte so ausgelegt werden, dass die axiale Druckkraft aus dem wirksamen Querschnitt des Balges plus der Federkraft des Balges aufgenommen wird. Zusätzlich müssen die Reibkräfte in Rohrführungen oder an Teilfestpunkten berücksichtigt werden. Da sich die axialen Druckkräfte in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser ändern, müssen an Punkten mit Durchmessersprüngen Zwischenfestpunkte vorgesehen werden. Diese Zwischenfestpunkte sind der Differenz der axialen Druckkräfte ausgesetzt. Gleiches gilt für Punkte, an denen sich der Druck ändert.

Bei der Auslegung von Festpunkten sollte beachtet werden, in welchen Richtungen Bewegungen behindert werden müssen. Gegebenenfalls sind Festpunkte mit teilweiser Behinderung (Teilfestpunkte) erforderlich, um Axialkräfte im Hauptstrang aufzunehmen, seitliche Bewegungen in Abwinkelungen oder Abzweigungen dagegen zuzulassen.

C.1.4.4 Rohrführungen

Kompensatoren sind in der Regel für die Aufnahme von Bewegungen in bestimmten Richtungen oder Ebenen ausgelegt. Deshalb sollte der Konstrukteur Rohrführungen im Rahmen seiner Stützkonstruktion vorsehen, die die Bewegungen am Übergang zum Kompensator führt. Kompensatornahe Führungen werden gewöhnlich in einem Abstand von den Kompensatoren eingebaut, der dem Drei- bis Vierfachen des Durchmessers entspricht; durch weitere Führungen entlang der Rohrleitung werden Biegemomente verhindert.

Bei angularer oder lateraler Kompensation wird die projizierte Länge des betreffenden Rohrstrangs verändert, was eine Verschiebung des Hauptrohrstrangs zur Folge hat. Rohrführungen müssen diesem Aspekt durch Verwendung von Lagern mit nur teilweiser Führung, Loslagern oder Führungslagern mit entsprechendem Spiel, das die Aufnahme der erwarteten Bewegung zulässt, Rechnung tragen.

Der sichere Betrieb von Rohrleitungssystemen mit Kompensatoren hängt von der einwandfreien Funktion der Unterstützungen ab, und der Zweck der Auslegung wird verfehlt, wenn die Reibung in den Führungen zu groß ist. Deshalb ist der Auslegung oder Auswahl der Rohrführungen, ihrem Einbau und ihrer Wartung besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Der Konstrukteur sollte Differenzbewegungen in den Tragwerkkonstruktionen oder Anlagenteilen berücksichtigen, an denen Rohrhalterungen und -führungen befestigt sind.

Die Lasten, die auf nahe an Kompensatoren befindliche Rohrführungen wirken, können hoch sein; der Konstrukteur sollte daher die Verwendung von zwei oder mehr Paaren von Rollenlagern als Rohrführungen anstelle von Platten oder U-Bügeln in Betracht ziehen.

C.1.5 Analyse und Berechnung

Streckung bzw. Stauchung, angulare und laterale Bewegung von Kompensatoren erfordern das Aufbringen von Kräften bzw. Momenten und speichern Energie zur Wiederherstellung des Gleichgewichts nach dem Wegfall der Belastung. In dieser Hinsicht verhalten sich Kompensatoren wie Federn, deren Federrate von ihrer Ausführung und dem jeweiligen Hersteller abhängt. Für jede Bewegungsform gibt es eine spezifische Federrate, und der Hersteller sollte die Federraten in Form von Federkraft je mm für die axiale bzw. laterale Bewegung oder durch Drehmoment je Winkelgrad für die angulare Bewegung angeben.

Bei angularer Auslenkung des Balges kann durch die Wirkungsweise des Kompensators ein zusätzliches Biegemoment erzeugt werden. Die Größenordnung dieser Beanspruchung hängt von der Ausführung des Kompensators ab; bei der Beurteilung der Bedeutung dieses Momentes sollten die Herstellerangaben herangezogen werden.

Das Elastizitätsmodell, in dem die am Kompensator wirkenden Kräfte und Momente dargestellt werden, sollte die Anforderungen und Möglichkeiten des Analyseprogramms sowie den unter den gegebenen Umständen zu gewährleistenden Genauigkeitsgrad berücksichtigen.

Der Konstrukteur kann einen Kompensator als einzelnes Bauteil betrachten, das durch eine oder mehrere äquivalente Federn abgebildet wird. Eine höhere Zuverlässigkeit wird erreicht, wenn jeder Balg eines aus mehreren Bälgen bestehenden Kompensators gesondert abgebildet wird, verbunden durch die dazwischen liegenden Rohrlängen. Dazu sind für jedes Balgelement Steifigkeitsmatrizen erforderlich; die im Allgemeinen, aber nicht in jedem Falle identisch sind.

Es sollte beachtet werden, dass bei einem Kompensator mit zwei identischen und symmetrisch angeordneten Bälgen jeder einzelne Balg im Modell mit dem doppelten Wert der Federrate des gesamten Kompensators darzustellen ist.

Treten Rohrbewegungen nur selten auf, so kann sich eventuell, bei Elastomer-Kompensatoren ein „Setzen“ auf die Länge im ruhenden Betrieb zeigen. Gegebenenfalls muss jede weitere Bewegung dann als von dem entlasteten Zustand ausgehend betrachtet werden.

Im Allgemeinen reicht es aus, die Zugstangen im Modell als Dehnungsbegrenzer über der Länge des Kompensators darzustellen und deren Reibungswirkung bei der Bewegung des Kompensators zu vernachlässigen. Wenn eine eingehendere Berechnung erforderlich ist, sollte der Konstrukteur die Ergebnisse für jedes Einzelement auf seine Übereinstimmung mit dem Verhalten des Kompensators als Ganzes überprüfen.

Lateralkompensatoren erzeugen Verschiebungen in der angrenzenden Rohrleitung, die sowohl in der gleichen Ebene als auch räumlich auftreten können. Diese Verschiebungen sollten ebenso in der Analyse des Rohrleitungssystems berücksichtigt werden wie Lasten (einschließlich der Reibung) an Festpunkten und Rohrführungen.

Gewöhnlich verwenden Rohrleitungskonstrukteure „typische“ Werte für äquivalente Federn in den ersten Rechnungsläufen, um die Effektivität der vorgesehenen Kompensatorkonfiguration zu bewerten und nachzuweisen, dass alle Bauteile des Systems, einschließlich der Gelenke, Zugstangen und Rohrhalterungen, die zu erwartenden Lasten aufnehmen können.

Die abschließende Analyse sollte jedoch unter Verwendung der herstellerspezifischen und für den tatsächlich eingebauten Kompensatortyp geltenden Werte erfolgen.

C.1.6 Kaltvorspannung

Da die Bewegung eines Kompensators Verstellkräfte und/oder Momente proportional zur Verschiebung aus der neutralen Stellung erzeugt, kann die Kaltvorspannung dazu geeignet sein, die Belastung an empfindlichen Anschlusspunkten zu minimieren. Durch die Vorspannung der Kompensatoren auf die Hälfte der zu erwartenden Verschiebung/Abwinklung können die Reaktionskräfte und -momente im Betrieb reduziert werden.

Basiert die Analyse der Rohrleitung auf diesem Verfahren, so sollte der Hersteller der Rohrleitung darüber unterrichtet werden.

C.2 Maximale Führungsabstände für gerade Rohrleitungen mit unverspannten Axialkompensatoren

C.2.1 Allgemeines

Werden gerade Rohrleitungen durch unverspannte Axial- oder Universalkompensatoren kompensiert, so tendieren diese Rohrleitungen unter der Wirkung von Innendruck und/oder axialen Kräften dazu, auszuknicken. Dieses Verhalten gleicht dem eines geraden Stabes unter axialem Druckkraft. Durch eine angemessene Führung der Rohrleitung lässt sich das Ausknicken vermeiden. Im Folgenden sind Regeln für die Berechnung der maximalen Abstände der Führungen angegeben.

C.2.2 Berechnungsregeln

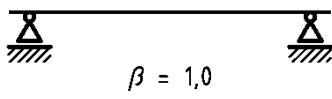
Die maximalen Abstände L_G für Rohrleitungen mit unverspannten Kompensatoren werden für die jeweils zutreffende Situation nach folgender Gleichung berechnet:

$$L_G = \frac{\pi}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{F_i \cdot S}} \quad (\text{C.2.2-1})$$

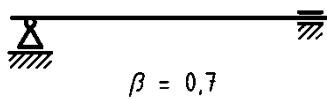
Dabei ist

- β der Führungsfaktor für den betrachteten Rohrleitungsabschnitt
- $\beta = 1,0$, falls beide Seiten einfach abgestützt sind,
 - $\beta = 0,7$, falls eine Seite einfach abgestützt, die andere aber axial geführt ist,
 - $\beta = 0,5$, falls beide Seiten axial geführt sind.

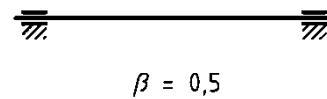
Zur Ausführung der Führungen siehe auch die Bilder C.2.2-1 bis C.2.2-3.



$\beta = 1,0$



$\beta = 0,7$



$\beta = 0,5$

Bild C.2.2-1

Bild C.2.2-2

Bild C.2.2-3

E der Elastizitätsmodul;

J das Trägheitsmoment des Rohrleitungsquerschnitts, zu berechnen wie folgt:

$$J = \frac{\pi}{8} \cdot e \cdot D_{\text{mp}}^3 \quad (\text{C.2.2-2})$$

Dabei ist D_{mp} der mittlere Durchmesser der Rohrleitung und e deren Wanddicke.

S der Sicherheitsfaktor (empfohlen: $S = 3$);

F_i die Knickkraft, bestehend aus den gegebenenfalls gleichzeitig wirkenden und wie folgt zu berechnenden Komponenten:

$$F_i = F_p + F_B + F_F \quad (\text{C.2.2-3})$$

Dabei ist

— die axiale Druckkraft:

$$F_p = p \cdot a \quad (\text{C.2.2-4})$$

(Der effektive Balgquerschnitt a wird üblicherweise vom Hersteller zur Verfügung gestellt.)

— die axial auf den Balg einwirkende Verstellkraft:

$$F_B = \pm x \cdot K_B \quad (\text{C.2.2-5})$$

(Der Wert der Axialverschiebung x des Kompensators beginnt in der neutralen Stellung und wird für die Einwirkung von Druck positiv berechnet; die Balgsteifigkeit K_B wird vom Hersteller zur Verfügung gestellt.)

— die Reibungskraft der Rohrführungen:

$$F_F = \pm \sum \mu \cdot F_N \quad (\text{C.2.2-6})$$

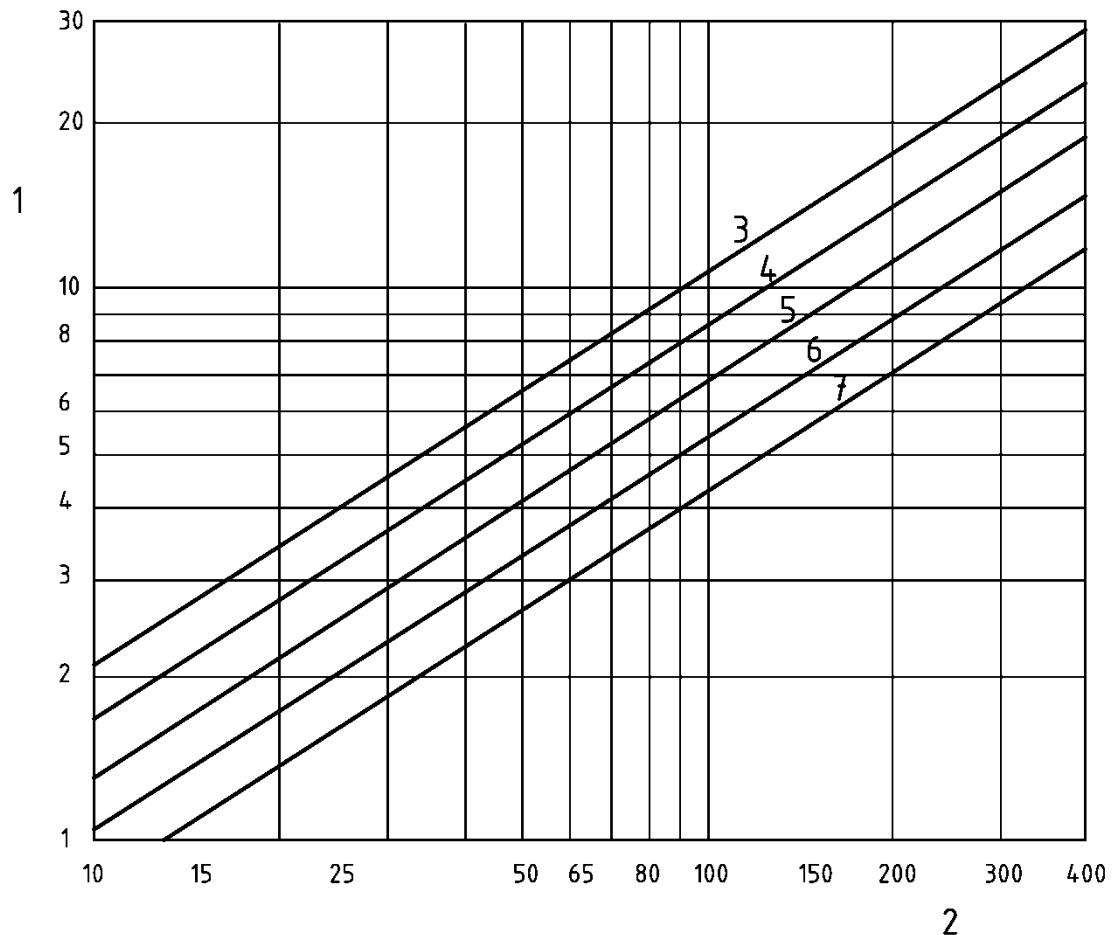
Zur Bestimmung der Reibungskraft sollten alle an jeder einzelnen Führung im Rohrleitungsabschnitt zwischen einem Kompensator und dem zugehörigen Festpunkt wirkenden Kräfte berücksichtigt werden. Diese Kräfte ergeben sich aufgrund von Temperaturänderungen und sind bei Temperaturanstiegen positiv zu berechnen (wobei der Reibungsbeiwert μ der Führungen vom Hersteller der Rohrhalterung und die an den Rohrhalterungen vertikal wirkende Stützkraft F_N vom Systemanalytiker zur Verfügung gestellt werden.)

C.2.3 Maximale Führungsabstände für festgelegte Bedingungen

Die für gerade Rohrleitungen mit unverankerten Axialkompensatoren geltenden maximalen Abstände können für festgelegte übliche Bedingungen dem Bild C.2.3-1 entnommen werden, das auf den folgenden Bedingungen basiert:

- Die Rohrleitung ist in den Führungen einfach unterstützt;
- Die Rohrleitung besteht aus Stahl ($E = 210\,000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$);
- Der Außendurchmesser D_a und die genormte Wanddicke e_n (geschweißte Rohre);

- Es wird berücksichtigt, dass $PN = p_c p_{\text{test}} = 1,43 p_c$;
- Der Kompensator befindet sich während der Druckprüfung in neutraler Stellung;
- Für den Sicherheitsfaktor gilt: $S = 3$.



Legende

- 1 Maximaler Abstand L_G in m
- 2 Nennweite (DN)
- 3 PN 6: $L_G = 0,407 \times DN^{0,71}$
- 4 PN 10: $L_G = 0,324 \times DN^{0,71}$
- 5 PN 16: $L_G = 0,257 \times DN^{0,71}$
- 6 PN 25: $L_G = 0,204 \times DN^{0,71}$
- 7 PN 40: $L_G = 0,162 \times DN^{0,71}$

Bild C.2.3-1

C.3 Angaben zur Auslegung von Kompensatoren

C.3.1 Allgemeines

Die detaillierte Auslegung von Kompensatoren sollte vom Hersteller nach EN 14917:2009+A1:2012 und auf Grundlage der Auslegungsdaten nach 6.5 vorgenommen werden.

C.3.2 Angaben für den Systemanalytiker

Der Konstrukteur des Kompensators sollte dem Systemanalytiker die nach 6.5 geforderten Angaben zur Verfügung stellen. Die Einflüsse von Druck, Temperatur, Bewegung und Verdrehung auf die Verstellraten sollten berücksichtigt werden.

Anhang D
(normativ)

Flansche

D.1 Zweck

Dieser Anhang beschreibt Anforderungen an die Auslegung von runden Flanschverbindungen. Glatte Flansche mit schmaler Dichtung, beaufschlagt mit Innen- und Außendruck sind berücksichtigt, ebenso innenliegende Flansche und dichtgeschweißte Flansche. Die Anforderungen in diesem Abschnitt basieren auf den anerkannten Taylor-Forge-Regeln.

D.2 Spezielle Begriffe

Für die Anwendung dieses Anhangs gelten die folgenden Begriffe und die Begriffe nach EN 13480-1.

D.2.1

Montagezustand

Zustand, der zutrifft, wenn die Dichtung oder die Verbindungskontaktfläche während der Montage bei Umgebungstemperatur befestigt wird und die einzige Belastung von den Schrauben herrührt

D.2.2

Betriebszustand

Zustand, wenn die durch den Auslegungsdruck (Innen- oder Außendruck) gegebene Kraft des Mediendruckes (Deckelkraft) auf den Flansch einwirkt

D.2.3

schmaler Flansch

Flansch, bei dem die Dichtung vollständig innerhalb des von den Schrauben beschriebenen Kreises liegt und es keinen Kontakt außerhalb des von den Schrauben beschriebenen Kreises gibt

D.2.4

breiter Flansch

Flansch, bei dem die Kontaktfläche entweder direkt oder mittels einer Dichtung bzw. eines Abstandsstücks über den von den Schrauben beschriebenen Kreis hinausragt

D.2.5

Gegenflansch

Flansch, der an seinem Außendurchmesser mit der Schale bzw. dem Rohr verbunden ist

D.2.6

Schale

Rohr, Kesselwand oder sonstiger Zylinder, der mit dem Flansch verbunden ist und diesen abstützt

D.2.7

Losflansch mit Vorschweißbund

Flanschbaugruppe, bei der die Schraubenlast über einen Losflansch auf einen Vorschweißbund übertragen wird

ANMERKUNG Der Vorschweißbund enthält die Dichtungskontaktfläche.

D.3 Spezielle Symbole und Abkürzungen

Zusätzlich zu 3.1 gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

A	Außendurchmesser des Flansches oder, falls Schlitzlöcher bis zur Außenseite des Flansches durchgehen, der Durchmesser am untersten Teil der Schlitze
A_B	Gesamtquerschnittsfläche der Schrauben im Abschnitt der kleinsten Schraubendurchmesser
$A_{B,\min}$	Geforderte Gesamtquerschnittsfläche der Schrauben
A_2	Außendurchmesser der Kontaktfläche zwischen Losflansch und Vorschweißbund in einem Überlappungsstoß, siehe Bild D.5-9 (typische Ausführung)
B	Innendurchmesser des Flansches
B_2	Innendurchmesser der Kontaktfläche zwischen Losflansch und Vorschweißbund in einem Überlappungsstoß, siehe Bild D.5-9 (typische Ausführung)
b	Breite der wirksamen Dichtungs- oder Verbindungsfläche
b_0	Breite der Dichtungs- oder Verbindungsgrundfläche
C	Durchmesser des Schraubenlochkreises
C_F	Korrekturfaktor für die Schraubenabstände
D	Schaleninnendurchmesser
d_b	Schraubenaußendurchmesser
e	Mindestdicke des Flansches bei Messung am dünntesten Abschnitt
f_B	Auslegungsspannung der Schrauben bei Betriebstemperatur (siehe D.4.3)
$f_{B,A}$	Auslegungsspannung der Schrauben bei Montagetemperatur (siehe D.4.3)
f_H	Auslegungsspannung des Flanschhalses – siehe D.5.4.2
G	Durchmesser der Belastungsreaktion der Dichtung, entsprechend den Anforderungen von D.5.2
G_1	Angenommener Durchmesser der Belastungsreaktion zwischen Block- und Vorschweißbund in einem Überlappungsstoß
g_0	Dicke des Flanschhalses am schmalen Ende
g_1	Dicke des Flanschhalses an der Flanschrückseite
H	Gesamte Kraft des Mediendruckes (Deckelkraft)
H_D	Über die Schale auf den Flansch übertragene Kraft des Mediendruckes (Deckelkraft)
H_G	Auf die Dichtung zur Sicherstellung der Dichtigkeit einwirkende Drucklast
H_T	Kraft des Mediendruckes (Deckelkraft) aufgrund des auf die Stirnfläche des Flansches einwirkenden Drucks
h	Flanschhalslänge
h_D	Radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den H_D einwirkt
h_G	Radialer Abstand des von der Belastungsreaktion der Dichtung betroffenen Bereichs zu dem von den Schrauben beschriebenen Kreis
h_L	Radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den die Belastungsreaktion für den Blockflansch in einem Überlappungsstoß einwirkt
h_T	Radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den H_T einwirkt
K	Verhältnis der Flanschdurchmesser – siehe Gleichungen D.5-21 und D.9-13
k	Spannungsfaktor, definiert in D.5.4.2
l_0	Längenparameter, der durch Gleichung (D.5-22) bestimmt wird
M	Auf den Flansch einwirkendes Torsionsmoment je Längeneinheit, definiert in D.5.4.1
M_A	Gesamtmoment, das auf den Flansch im Montagezustand einwirkt
M_{op}	Gesamtmoment, das auf den Flansch im Betriebszustand einwirkt
m	Dichtungsfaktor
P	Berechnungsdruck (Innendruck)
P_e	Äußerer Überdruck, als positive Zahl anzugeben
W	Auslegungsschraubenlast für den Montagezustand
W_A	Geforderte Mindestschraubenlast für den Montagezustand
W_{op}	Geforderte Mindestschraubenlast für den Betriebszustand

w	Breite der Kontaktfläche der Dichtung, wird durch die Breite der Dichtung und die Stirnfläche des Flansches bestimmt
y	Mindestdichtungs- oder Verbindungsflächendruck
β_F	Faktor für das in Bild D.5-4 angegebene Integralverfahren zur Flanschauslegung
β_{FL}	Faktor für Losflansche mit Ansatz nach Bild D.5-7
β_T	Faktor, der durch Gleichung (D.5-23) bestimmt wird
β_U	Faktor, der durch Gleichung (D.5-24) bestimmt wird
β_V	Faktor für das Integralverfahren, aus Bild D.5-5 zu entnehmen
β_{VL}	Faktor für Losflansche mit Ansatz, aus Bild D.5-8 zu entnehmen
β_Y	Faktor, der durch Gleichung (D.5-25) bestimmt wird
δ	Nennabstand zwischen der Schale und dem Losflansch in einem Überlappungsstoß
δ_b	Abstand zwischen den Mittelachsen benachbarter Schrauben
λ	Faktor, definiert in D.5.4.1
σ_b	Berechnete Auflagerspannung in einem Überlappungsstoß
σ_H	Berechnete Längsspannung im Flanschhals
σ_r	Berechnete Radialspannung im Flansch
σ_θ	Berechnete Tangentialspannung im Flansch
φ	Korrekturfaktor für die Ansatzspannung für das in Bild D.5-6 angegebene Integralverfahren zur Flanschauslegung

D.4 Allgemeines

D.4.1 Einleitung

Runde Flanschverbindungen, abdichtend durch eine Dichtung oder Dichtschweißung, die bei der Konstruktion von Druckgeräten nach dieser Europäischen Norm verwendet werden, müssen einer der folgenden Anforderungen entsprechen:

- einer entsprechenden Europäischen Norm über Rohrleitungsflansche und den Anforderungen nach D.4.2; oder
- den Anforderungen an geschraubte Flanschverbindungen nach diesem Abschnitt.

Alternative Regeln für verschraubte Flanschverbindungen sind in EN 1591-1 beschrieben.

Beide Flansche eines Flanschpaars müssen nach derselben Norm ausgelegt sein, oder denselben Anforderungsprofilen entsprechen. Dieses gilt auch, wenn einer der Flansche des Flanschpaars ein verschraubter Boden oder Deckel ist. Die Anforderungen an geschraubte Böden nach Abschnitt 10 und geschraubte gewölbte Böden nach Abschnitt 12 werden als demselben Anforderungsprofil entsprechend angesehen.

Aus Blech hergestellte Flansche dürfen verwendet werden, wenn es eine Sicherheit gegen Lamellenrisse (Reduzierung der Fläche in der Dicke) gibt. Das beinhaltet, dass Dehnbarkeitsanforderungen in Dickenausrichtung für das zu verwendende Blech angegeben werden muss.

D.4.2 Verwendung von genormten Flanschen ohne Berechnung

Flansche, die Europäischen Normen zu Rohrleitungsflanschen entsprechen, können ohne jede Berechnung verwendet werden, sofern sämtliche nachstehenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Unter normalen Betriebsbedingungen überschreitet der für den betrachteten Flansch und den betreffenden Werkstoff für die Berechnungstemperatur berechnete Druck nicht den in den Tabellen der einschlägigen Europäischen Norm angegebenen maximal zulässigen Druck.
- b) Unter Prüfbedingungen oder ausnahmsweise auftretenden Bedingungen übersteigt der Berechnungsdruck bei entsprechender Temperatur nicht das 1,5fache des in diesen Tabellen angegebenen maximal zulässigen Drucks.
- c) Die Dichtung gehört zu den nach Tabelle D.4-1 für die entsprechende PN- oder Class-Serie zulässigen Dichtungen.
- d) Die Schrauben gehören zu einer Festigkeitsklasse (siehe Tabelle D.4-2), die in Abhängigkeit von dem in der Verbindung verwendeten Dichtungstyp mindestens der nach Tabelle D.4-1 erforderlichen Klasse entspricht.
- e) Die Differenz zwischen den mittleren Temperaturen von Schrauben und Flansch wird unter keinen Umständen größer als 50 °C.
- f) Die Wärmeausdehnungsbeiwerte der Werkstoffe von Schrauben und Flansch für 20 °C weichen um mehr als 10 % voneinander ab (z. B. Flansche aus austenitischem Stahl mit Schrauben aus ferritischem Stahl), jedoch ist die Berechnungstemperatur kleiner als 120 °C, oder die Wärmeausdehnungsbeiwerte der Werkstoffe von Schrauben und Flansch bei 20 °C weichen um nicht mehr als 10 % voneinander ab.

D.4.3 Verschraubung

Es müssen mindestens vier Schrauben verwendet werden.

Werden Schrauben geringen Durchmessers verwendet, so müssen gegebenenfalls Drehmomentschlüssel oder sonstige Werkzeuge benutzt werden, um die Schrauben nicht übermäßig zu beanspruchen.

Gegebenenfalls sind besondere Maßnahmen erforderlich, um sicherzustellen, dass beim Anziehen von Schrauben mit einem Nenndurchmesser von mehr als 38 mm eine angemessene Vorspannung erzielt wird.

Die Auslegungsspannungen für Schrauben zur Bestimmung der Mindestverschraubungsfläche nach D.5.2 müssen die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Für Kohlenstoffstähle und andere nichtaustenitische Stähle gilt entweder $R_{p0,2}/3$, zu messen bei Auslegungstemperatur, oder $R_m/4$, gemessen bei Raumtemperatur, je nachdem, welcher der kleinere der beiden Werte ist;
- Für austenitische Stähle gilt $R_m/4$, gemessen bei Raumtemperatur.

Tabelle D.4-1 — Dichtungen für genormte Flansche

PN-Serie^a	Class-Serie^a	Dichtungstyp	Geforderte Klasse der Mindestfestigkeit der Schraube (siehe Tabelle D.4-2)
2,5 bis 16		— Flache nichtmetallische Dichtung mit oder ohne Überzug	Geringe Festigkeit
25	150	— Flache nichtmetallische Dichtung mit oder ohne Überzug	Geringe Festigkeit
		— Spiraldichtung aus Metall mit Füllstoff	Mittlere Festigkeit
		— Wellblechummantelt mit Füllstoff	
		— Wellblech mit oder ohne Füllstoff	
40	-	— Flache nichtmetallische Dichtung mit oder ohne Überzug	Geringe Festigkeit
		— Spiraldichtung aus Metall mit Füllstoff	Mittlere Festigkeit
		— Wellblechummantelt mit Füllstoff	
		— Wellblech mit oder ohne Füllstoff	
		— Flache Metalldichtung mit Füllstoff	Hohe Festigkeit
		— Gerilltes oder massives Flachmetall	
63	300	— Flache nichtmetallische Dichtung mit oder ohne Überzug	Geringe Festigkeit
		— Spiraldichtung aus Metall mit Füllstoff	Mittlere Festigkeit
		— Wellblechummantelt mit Füllstoff	
		— Wellblech mit oder ohne Füllstoff	
		— Flache Metalldichtung mit Füllstoff	Hohe Festigkeit
		— Gerilltes oder massives Flachmetall	
		— R-Ring aus Metall	
100	600	— Flache nichtmetallische Dichtung mit oder ohne Überzug	Mittlere Festigkeit
		— Spiraldichtung aus Metall mit Füllstoff	
		— Wellblechummantelt mit Füllstoff	
		— Wellblech mit oder ohne Füllstoff	
		— Flache Metalldichtung mit Füllstoff	Hohe Festigkeit
		— Gerilltes oder massives Flachmetall	
		— R-Ring aus Metall	

^a Die in dieser Tabelle angegebenen PN-(oder Klassen-)Werte sind auf die in Europäischen Normen für Stahlflansche enthaltenen bis PN 100 (oder Class 600) beschränkt.

Tabelle D.4-2 — Festigkeitsklassen von Schrauben

	Geringe Festigkeit	Mittlere Festigkeit	Hohe Festigkeit
$\frac{R_p, \text{Schraube}}{R_p, \text{Flansch}}$	≥ 1	$\geq 1,4$	$\geq 2,5$
ANMERKUNG	R_p ist für nichtaustenitische Stähle gleich $R_{p0,2}$ und für austenitische Stähle gleich $R_{p1,0}$.		

Für die Bestimmung der Auslegungsspannungen gelten sowohl der Montagezustand als auch der Betriebszustand als normale Auslegungsbedingungen.

Diese zulässigen Spannungen dürfen für Prüfbedingungen oder ausnahmsweise auftretende Bedingungen mit dem Faktor 1,5 multipliziert werden.

ANMERKUNG Diese Spannungen sind insofern nominell, als sie in der Praxis gegebenenfalls überschritten werden müssen, um Vorkehrungen für alle Fälle zu treffen, in denen Undichtigkeiten an einer Verbindung hervorgerufen werden können. Es besteht jedoch genügend Spielraum, um ein zufrieden stellendes Schließen sicherzustellen, ohne die Schrauben übermäßig beanspruchen oder wiederholt anziehen zu müssen.

D.4.4 Flanschkonstruktion

Es werden zwei Gruppen von Flanschen unterschieden, einerseits solche, bei denen die Bohrung mit der Bohrung der Schale bzw. des Rohrs übereinstimmt (z. B. bei den in Tabelle A.7 aufgeführten Schweißnähten F1, F2, F4 und F5) und andererseits solchen, die am Boden der Schale eine Kehlnaht (z. B. Schweißnaht F3) und unterschiedlich ausgeführte Bohrungen aufweisen. Sie werden auch als glatte Bohrung (siehe Bild D.5-1) bzw. abgestufte Bohrung (siehe Bild D.5-2) bezeichnet.

Weiterhin wird zwischen Überschiebeflanschen mit Ansatz (siehe Bild D.5-3), bei denen ein geschmiedeter Flansch einschließlich des konischen Ansatzes über eine Schale geschoben und an beiden Seiten mit dieser verschweißt wird, und sonstigen geschweißten Typen unterschieden.

Der Radius der Hohlkehle zwischen Flansch und Ansatz oder Schale darf an keinem Punkt weniger als $0,25 g_0$ und nicht mehr als 5 mm betragen.

Die Ansätze von Flanschen mit Ansatz dürfen nicht ohne besonderen Grund direkt aus dem Blech herausgearbeitet werden.

Für Auslegungstemperaturen über 370 °C dürfen keine Kehlnähte verwendet werden.

D.4.5 Maschinelle Bearbeitung

Die lasttragende Oberfläche für die Muttern muss mit einer Abweichung von höchstens 1° parallel zur Stirnseite des Flansches sein. Weder die Flanschdicke noch die Ansatzdicke darf durch hierfür durchgeführtes Plandrehen oder -senken so verringert werden, dass sie unter den Auslegungswerten liegt. Der Durchmesser des durch Plansenken bearbeiteten Bereiches darf nicht kleiner sein als die Abmessungen über die Ecken der Mutter plus 3 mm. Der Radius zwischen der Rückseite des Flansches und dem Ansatz oder der Schale muss beibehalten werden.

Die Oberflächenbeschaffenheit der Dichtungskontaktfläche sollte den Empfehlungen des Dichtungsherstellers entsprechen oder auf Erfahrungswerten beruhen.

D.4.6 Dichtungen

Die Werte der Dichtungsfaktoren m und y sollten üblicherweise vom Dichtungshersteller zur Verfügung gestellt werden, in Tabelle 7.2.4-1 sind jedoch ebenfalls Werte angegeben, die als Vorschlag zu betrachten sind.

Außerdem enthält Anhang K vorgeschlagene Mindestwerte für die Montagebreite w .

ANMERKUNG In den meisten europäischen Ländern ist die Verwendung asbesthaltiger Dichtungen verboten.

D.5 Schmale Flansche mit Dichtung

D.5.1 Allgemeines

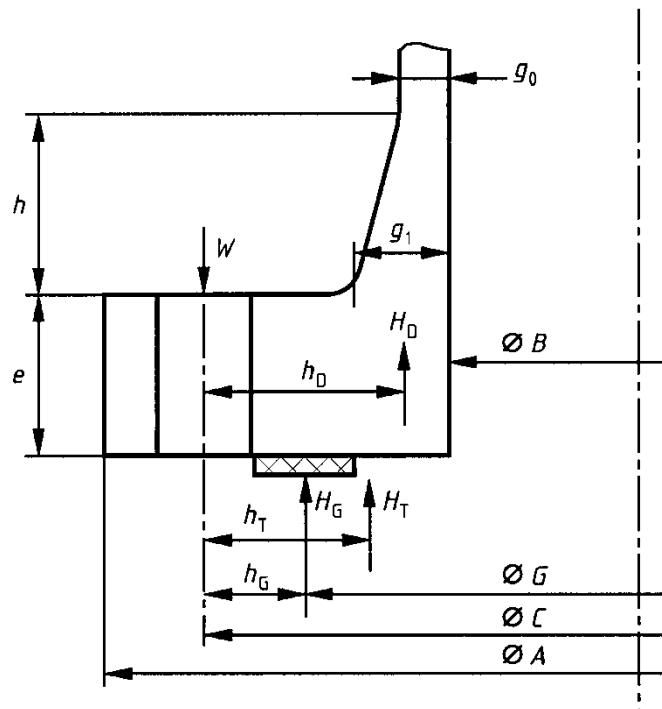


Bild D.5-1 — Schmaler Flansch, glatte Bohrung

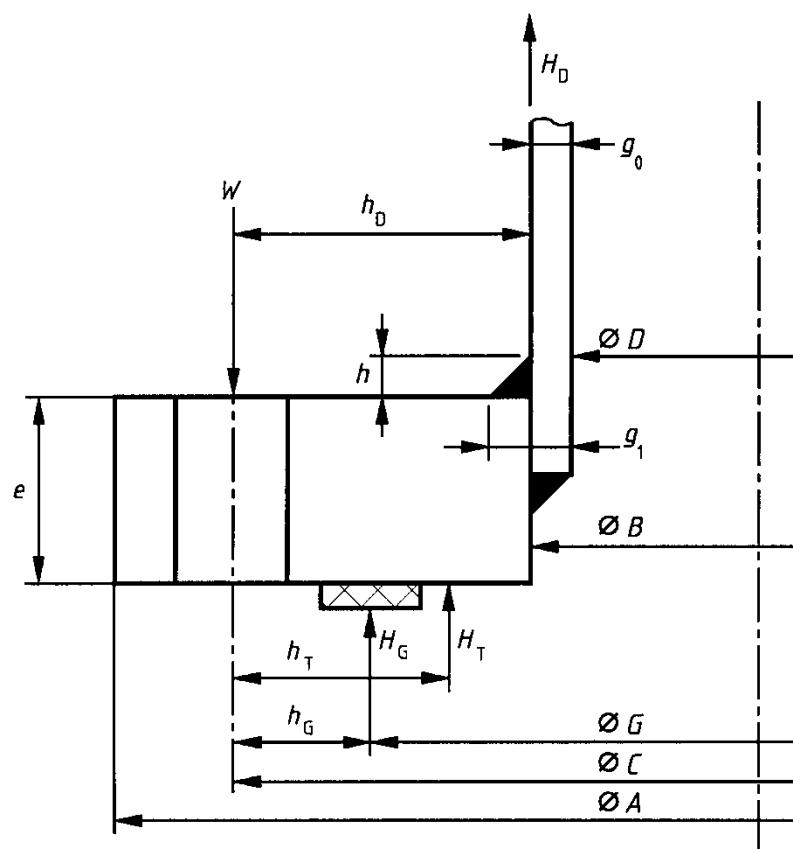


Bild D.5-2 — Schmaler Flansch, abgestufte Bohrung

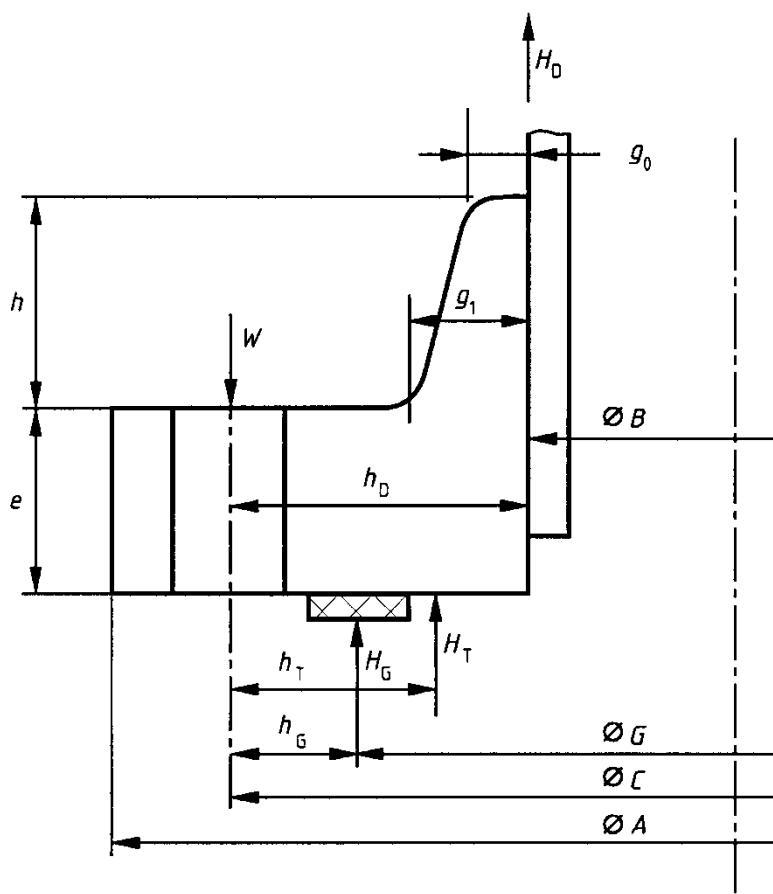


Bild D.5-3 — Schmaler Flansch, Überschiebeflansch mit Ansatz

Unter Berücksichtigung der angegebenen Ausnahmen ist eines der drei nachstehenden Verfahren für die nach D.5.4 erfolgende Berechnung der Spannungen von schmalen Flanschen mit Dichtungen oder Verbindungen unter Innendruck zu verwenden.

- Integralverfahren. Das Integralverfahren darf nicht auf Überschiebeflansche mit Ansatz oder auf Losflansche in einem Überlappungsstoß angewendet werden. Das Integralverfahren gilt auslegungsgemäß für konische Ansätze, die gegebenenfalls geschweißt sein können; die Abschrägung des für die Berechnung angenommenen Ansatzes darf nicht mehr als 1 : 1 betragen, d. h. $g_1 \leq h + g_0$;
- Losflanschverfahren. Das Losflanschverfahren darf mit Ausnahme von Losflanschen in Überlappungsstößen nur dann angewendet werden, wenn sämtliche nachstehenden Anforderungen erfüllt sind:
 - $g_0 \leq 16 \text{ mm}$;
 - $P \leq 2 \text{ N/mm}^2$;
 - $B/g_0 \leq 300$;
 - Betriebstemperatur $\leq 370^\circ\text{C}$.
- Verfahren für Überschiebeflansche mit Ansatz. Dieses Verfahren gilt für Überschiebeflansche mit Ansatz und für Losflansche in Überlappungsstößen.

ANMERKUNG 1 Beim Integralverfahren werden sowohl die Stützwirkung durch die Schale berücksichtigt als auch die darin auftretenden Spannungen berechnet, während für das Losflanschverfahren davon ausgegangen wird, dass der Flansch nicht von der Schale gestützt wird, weswegen die Spannungen in der Schale vernachlässigt werden.

ANMERKUNG 2 Bei eher selten auftretenden Ansatzformen müssen gegebenenfalls Werte für g_1 und h gewählt werden, die für einen einfachen konischen Ansatz gelten, der in das Profil der tatsächlich verwendeten Montagegruppe passt.

ANMERKUNG 3 Für Flansche mit aufgestecktem Ansatz gibt es keinen Mindestwert für h .

ANMERKUNG 4 Das Verfahren zur Berechnung des Wertes für M hängt nicht vom gewählten Auslegungsverfahren ab.

D.5.2 Schraubenlasten und -flächen

$$b_0 = w/2 \quad (\text{D.5-1})$$

mit Ausnahme von Ring-Nuten, für die Folgendes gilt:

$$b_0 = w/8 \quad (\text{D.5-2})$$

Wenn $b_0 \leq 6,3$ mm, gilt:

$$b = b_0 \quad (\text{D.5-3})$$

Wenn $b_0 > 6,3$ mm, so gilt:

$$b = 2,52 \sqrt{b_0} \quad (\text{D.5-4})$$

(Diese Gleichung gilt nur, wenn die Angabe der Maße in Millimeter erfolgt.)

Wenn $b_0 \leq 6,3$ mm, dann ist G = mittlerer Durchmesser der Dichtungskontaktfläche,

Wenn $b_0 > 6,3$ mm, dann ist G = Außendurchmesser der Dichtungskontaktfläche minus $2b$:

$$H = \pi/4 G^2 P \quad (\text{D.5-5})$$

$$H_G = 2\pi b G m P \quad (\text{D.5-6})$$

Die Schraubenlasten und -flächen sind wie folgt sowohl für den Montagezustand als auch für den Betriebszustand zu berechnen:

a) Montagezustand. Die Mindestschraubenlast ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$W_A = \pi b G y \quad (\text{D.5-7})$$

ANMERKUNG Die für eine zufriedenstellende Verbindung erforderlich Mindestschraubenlast ist von der Dichtung selbst und der wirksamen Dichtungsfläche abhängig.

b) Betriebszustand. Die Mindestschraubenlast ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$W_{\text{op}} = H + H_G \quad (\text{D.5-8})$$

Die geforderte Verschraubungsfläche $A_{B,\min}$ ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$A_{B,\min} = \max \left(\frac{W_A}{f_{B,A}} ; \frac{W_{\text{op}}}{f_B} \right) \quad (\text{D.5-9})$$

Die Verschraubung muss so gewählt werden, dass $A_B \geq A_{B,\min}$.

ANMERKUNG Der Innendruck neigt dazu, die Verbindung zu trennen, weswegen durch die Schraubenlast fortgesetzt genügend Druck auf die Dichtung ausgeübt werden muss, um die Dichtigkeit der Verbindung sicherzustellen. Die Mindestschraubenlast ist unter diesen Bedingungen vom Auslegungsdruck, dem Dichtungswerkstoff und der wirksamen Fläche der unter Druck dicht zu haltenden Dichtung abhängig. Gegebenenfalls müssen mehrere Betriebszustände berücksichtigt werden.

D.5.3 Flanschmomente

$$H_D = \frac{\pi}{4} B^2 P \quad (\text{D.5-10})$$

$$H_T = H - H_D \quad (\text{D.5-11})$$

$$h_D = (C - B - g_1)/2 \quad (\text{D.5-12})$$

Mit Ausnahme von Vorschweißflanschen mit Hals und Flanschen mit abgestufter Bohrung, für die gilt:

$$h_D = (C - B)/2 \quad (\text{D.5-13})$$

$$h_G = (C - G)/2 \quad (\text{D.5-14})$$

$$h_T = (2C - B - G)/4 \quad (\text{D.5-15})$$

$$W = 0,5 (A_{B,\min} + A_B) f_{B,A} \quad (\text{D.5-16})$$

a) Flansch-Montagezustand. Das Gesamtmoment des Flansches muss folgende Gleichung erfüllen:

$$M_A = W \cdot h_G \quad (\text{D.5-17})$$

b) Betriebszustand. Das Gesamtmoment des Flansches muss folgende Gleichung erfüllen:

$$M_{op} = H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G \quad (\text{D.5-18})$$

Für Flanschpaare mit anderen Auslegungsbedingungen, wie z. B. wenn sie einen Rohrboden enthalten, müssen die Schraubenlasten sowohl für Montage- wie für Betriebsbedingungen getrennt für jede Kombination aus Flansch und Dichtung berechnet werden. W_{op} und W_a sind als der größere der beiden berechneten Werte anzunehmen. Für den Flansch mit dem niedrigeren berechneten Wert für W_{op} muss der Wert von H_G wie folgt erhöht werden.

$$H_{G,\text{neu}} = H_G + W_{op,\max} - W_{op,\min} \quad (\text{D.5-19})$$

D.5.4 Flanschspannungen und Spannungsgrenzwerte

D.5.4.1 Flanschspannungen

$$C_F = \max \left(\sqrt{\frac{\delta_b}{2 d_b + \frac{6e}{m + 0,5}}}; 1 \right) \quad (\text{D.5-20})$$

$$K = A/B \quad (\text{D.5-21})$$

$$l_0 = \sqrt{B g_0} \quad (\text{D.5-22})$$

$$\beta_T = \frac{K^2 (1 + 8,552\,46 \log_{10}(K)) - 1}{(1,047\,2 + 1,944\,8 K^2) (K - 1)} \quad (\text{D.5-23})$$

$$\beta_U = \frac{K^2 (1 + 8,552\,46 \log_{10}(K)) - 1}{1,361\,36 (K^2 - 1) (K - 1)} \quad (\text{D.5-24})$$

$$\beta_Y = \frac{1}{K - 1} \left(0,668\,45 + 5,716\,9 \frac{K^2 \log_{10}(K)}{K^2 - 1} \right) \quad (\text{D.5-25})$$

Die Flanschspannungen sind wie folgt unter Verwendung des Moments, M , zu berechnen:

Für den Montagezustand gilt:

$$M = M_A \frac{C_F}{B} \quad (\text{D.5-26})$$

Für den Betriebszustand gilt:

$$M = M_{\text{op}} \frac{C_F}{B} \quad (\text{D.5-27})$$

a) Integralverfahren

β_F , β_V und φ sind den Bildern D.5-4, D.5-5 und D.5-6 zu entnehmen.

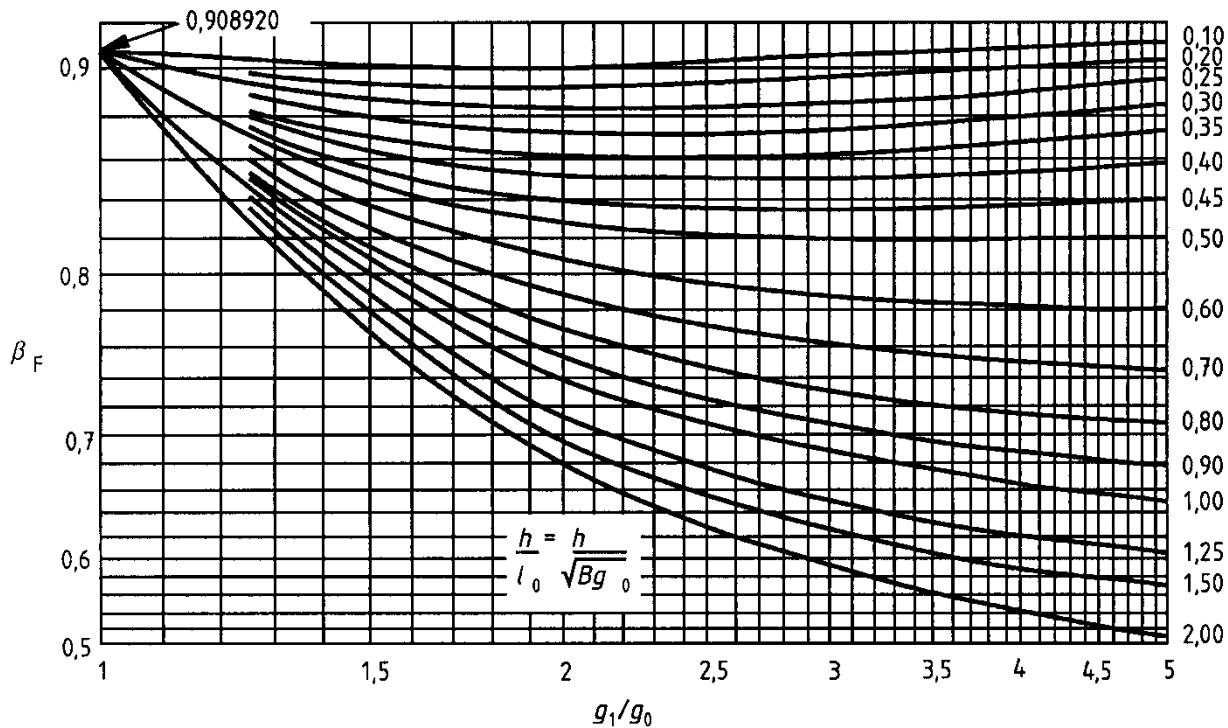


Bild D.5-4 — Werte für β_F (Faktor für das Integralverfahren)

$$\lambda = \left(\frac{e \beta_F + l_0}{\beta_T l_0} + \frac{e^3 \beta_V}{\beta_U l_0 g_0^2} \right) \quad (\text{D.5-28})$$

Für die Längsspannung des Ansatzes gilt:

$$\sigma_H = \frac{\varphi M}{\lambda g_1^2} \quad (\text{D.5-29})$$

Für die Radialspannung des Flansches gilt:

$$\sigma_r = \frac{(1,333 e \beta_F + l_0) M}{\lambda e^2 l_0} \quad (\text{D.5-30})$$

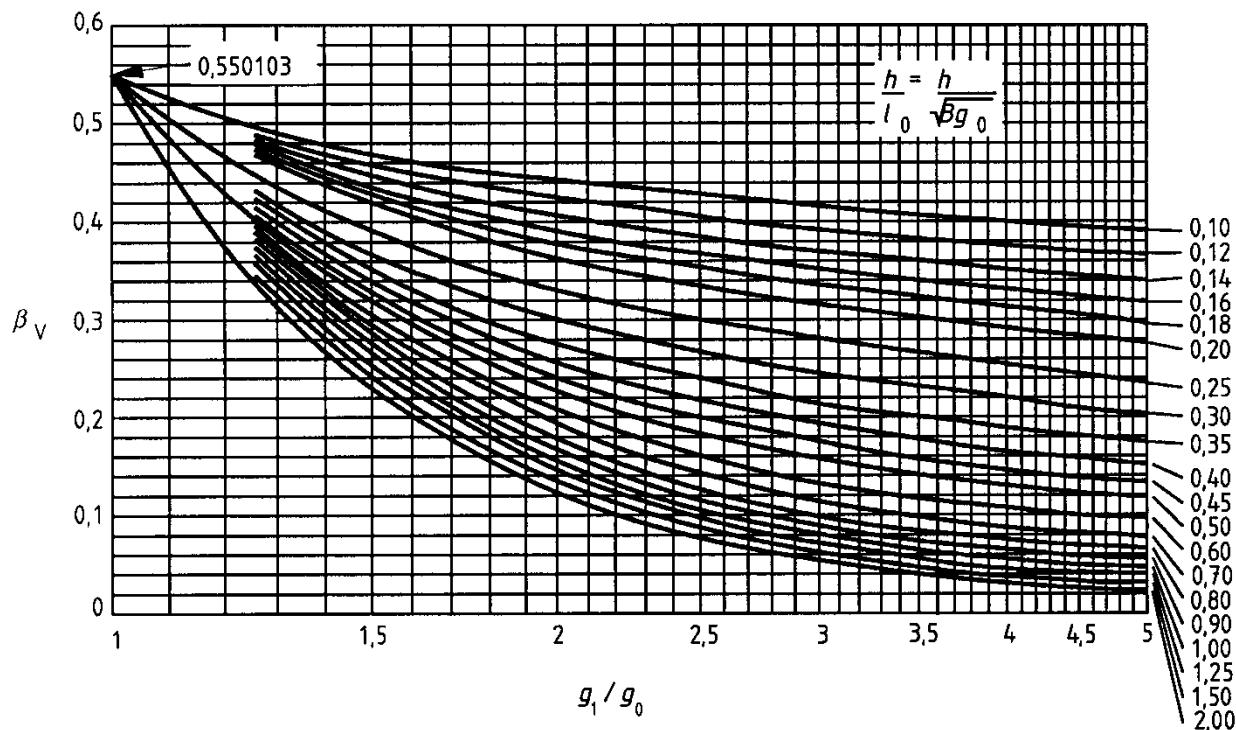
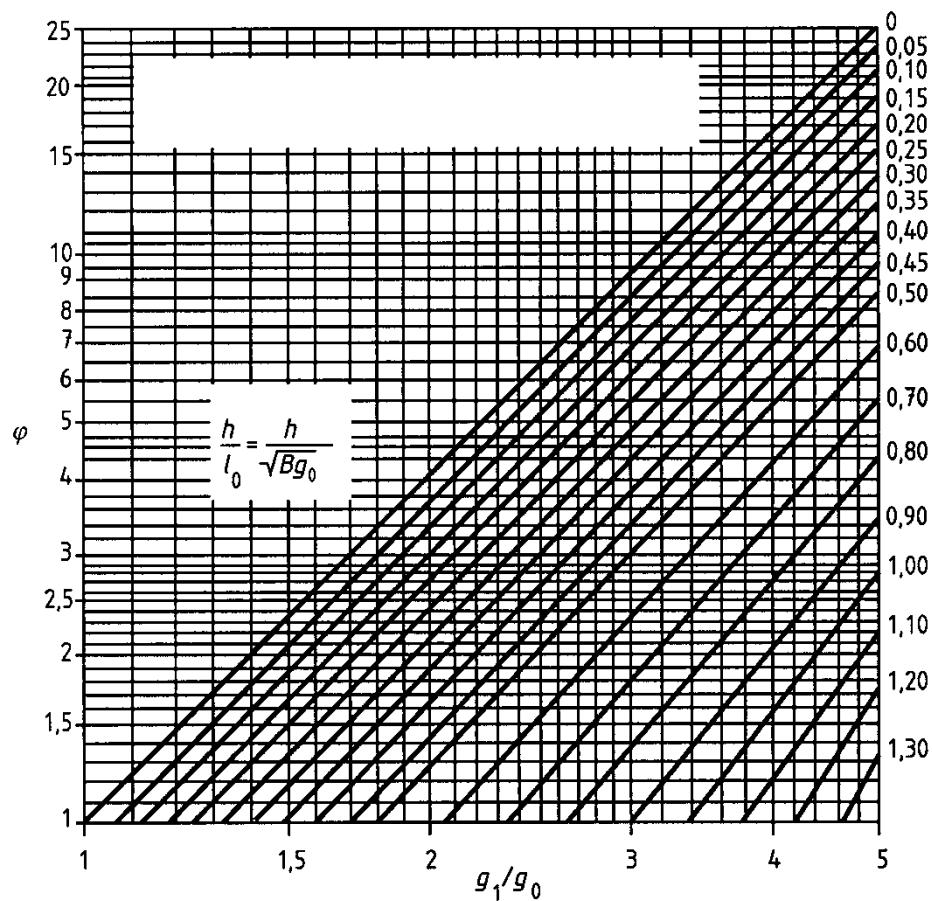


Bild D.5-5 — Werte für β_V (Faktor für das Integralverfahren)



$\varphi = 1$ (Mindestwert) für Ansätze mit gleichmäßiger Dicke ($g_1/g_0 = 1$)

Bild D.5-6 — Werte für φ (Korrekturfaktor für die Ansatzspannung)

Die tangentiale Flanschspannung ist wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_\theta = \frac{\beta_Y M}{e^2} - \sigma_r \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad (\text{D.5-31})$$

b) Blockflanschverfahren

Die tangentiale Flanschspannung ist wie folgt zu berechnen:

$$\sigma_\theta = \frac{\beta_Y M}{e^2} \quad (\text{D.5-32})$$

Für die Radialspannung im Flansch und die Längsspannung im Ansatz gilt:

$$\sigma_r = \sigma_H = 0 \quad (\text{D.5-33})$$

c) Verfahren für Blockflansche mit Ansatz

β_{FL} und β_{VL} sind den Bildern D.5-7 bzw. D.5-8 zu entnehmen.

$$\lambda = \left[\frac{e \beta_{FL} + l_0}{\beta_T l_0} + \frac{e^3 \beta_{VL}}{\beta l_0 g_0^2} \right] \quad (D.5-34)$$

Für die Längsspannung im Ansatz gilt:

$$\sigma_H = \frac{M}{\lambda g_1^2} \quad (D.5-35)$$

Für die Radialspannung im Flansch gilt:

$$\sigma_r = \frac{(1,333 e \beta_{FL} + l_0) M}{\lambda e^2 l_0} \quad (D.5-36)$$

Die tangentiale Flanschspannung ist wie folgt zu berechnen

$$\sigma_\theta = \frac{\beta_Y M}{e^2} - \sigma_r \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad (D.5-37)$$

D.5.4.2 Spannungsgrenzwerte

Für die Bestimmung der Auslegungsspannungen gelten sowohl der Montagezustand als auch der Betriebszustand als normale Auslegungsbedingungen.

Die Auslegungsspannung f ist nach Abschnitt 5 zu ermitteln, wobei jedoch zu beachten ist, dass die auf $R_m/3$ (siehe Abschnitt 5) beruhende Regel für austenitische Stähle hier nicht anwendbar ist.

f_H ist die Auslegungsspannung der Schale, bei Konstruktionen mit angeschweißtem Hals oder aufgestecktem Ansatz jedoch die Auslegungsspannung des Flansches.

Wenn $B \leq 1\,000$ mm, dann gilt: $k = 1,0$.

Wenn $B \geq 2\,000$ mm, dann gilt: $k = 1,333$.

Für Werte von B zwischen 1 000 mm und 2 000 mm gilt:

$$k = \frac{2}{3} \left(1 + \frac{B}{2\,000} \right) \quad (D.5-38)$$

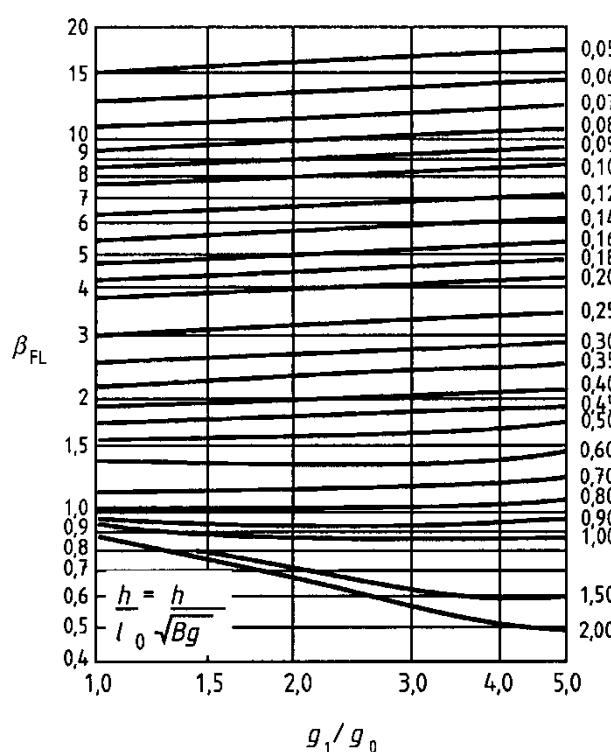


Bild D.5-7 — Wert für β_{FL} (Faktor für Losflansche mit Ansatz)

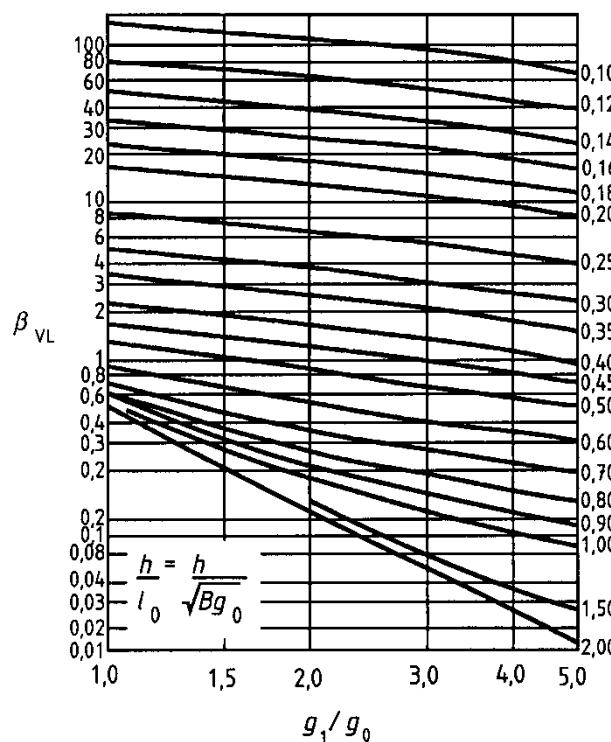


Bild D.5-8 — Wert für β_{VL} (Faktor für Losflansche mit Ansatz)

Die nach D.5.4.1 berechneten Flanschspannungen müssen folgende Anforderungen erfüllen:

$$k \sigma_H \leq 1,5 \min(f; f_H) \quad (\text{D.5-39})$$

$$k \sigma_r \leq f \quad (\text{D.5-40})$$

$$k \sigma_\theta \leq f \quad (\text{D.5-41})$$

$$0,5 k (\sigma_H + \sigma_r) \leq f \quad (\text{D.5-42})$$

$$0,5 k (\sigma_H + \sigma_\theta) \leq f \quad (\text{D.5-43})$$

D.5.5 Schmale Flansche unter Außendruck

Ist der Flansch sowohl Innen- wie Außendruck ausgesetzt, so muss er auch für beide Bedingungen ausgelegt sein, wobei der Außendruck außer Acht gelassen werden kann, wenn der berechnete Außendruck P_e niedriger als der berechnete Innendruck ist.

Die Auslegung von Flanschen für Außendruck muss D.5.4 entsprechen, wobei folgende Ausnahmen gelten:

- a) P_e ersetzt P ;

$$M_{op} = H_D (h_D - h_G) + H_T (h_T - h_G) \quad (\text{D.5-44})$$

und

- b) $W_{op} = 0$ (D.5-45)

ANMERKUNG Bei Außendruck können sich die Schrauben vollständig lösen, was zu $W_{op} = 0$ führt. Dies ist eine konservative Annahme, da jede Schraubenlast das auf den Flansch einwirkende Nettomoment verringert.

Wird ein Flansch für Außendruck ausgelegt und gelten für einen zu einem Paar gehörigen Flansch abweichende Auslegungsbedingungen, so muss W_{op} der für den anderen Flansch des Paares berechnete Wert und M_{op} der größere der beiden nach dem obigen Verfahren berechneten Werte M_{op} und $W_{op} h_G$ sein.

D.5.6 Überlappungsstöße

D.5.6.1 Allgemeines

Der Losflansch in einem Überlappungsstoß kann einen Ansatz haben. Der zugehörige Vorschweißbund kann in jeder beliebigen für verschraubte Flansche zulässigen Weise mit der Schale verbunden sein.

Die Schraubenlasten und -flächen müssen die Anforderungen von D.5.2 oder D.6.2 erfüllen, je nachdem, welches der in D.5.6.2 angegebenen Verfahren auf den Vorschweißbund angewendet wird.

Der Durchmesser G_1 der Lastreaktion zwischen dem Vorschweißbund und dem Losflansch muss so gewählt werden, dass sein Wert zwischen $(A_2 - \delta)$ und $(B_2 + \delta)$ liegt.

ANMERKUNG Falls keine guten Gründe für ein anderes Vorgehen vorliegen, sollte der nach Gleichung (D.5-46) berechnete Wert verwendet werden.

$$G_1 = (A_2 + B_2)/2 \quad (\text{D.5-46})$$

Die Kontaktfläche zwischen den beiden Flanschen ist wie folgt zu berechnen:

$$A_C = \frac{\pi}{2} \min \left[(A_2 - \delta)^2 - G_1^2; G_1^2 - (B_2 + \delta)^2 \right] \quad (\text{D.5-47})$$

Werden die Durchmesser A_2 und B_2 vom selben Bauteil bestimmt, wie z. B. bei dem in Bild D.5-9 dargestellten abgestuften Losflansch, so muss δ in Gleichung (D.5-47) gleich Null gesetzt werden.

Die Auflagerspannung σ_b an der Kontaktfläche muss nach folgender Gleichung sowohl für den Montage- wie für den Betriebszustand berechnet werden.

$$\sigma_b = \frac{W_{\text{op}} \text{ oder } W}{A_C} \quad (\text{D.5-48})$$

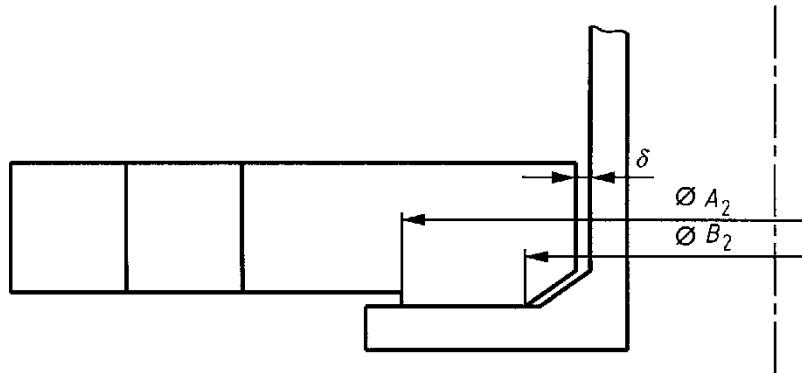


Bild D.5-9 — Abgestufter Losflansch

Die Auflagerspannung darf nicht über das 1,5fache der niedrigsten Auslegungsspannung der beiden Flansche ansteigen.

D.5.6.2 Vorschweißbund

Der Vorschweißbund muss eine der in D.4.4 aufgeführten Formen haben und entweder nach dem Verfahren für schmale Flansche (siehe D.5) oder dem für breite Flansche (siehe D.6) berechnet werden.

ANMERKUNG Ist G_1 größer als der Außendurchmesser der Dichtung, so ist das Verfahren für breite Flansche nicht anwendbar. Selbst, wenn G_1 kleiner als der Außendurchmesser der Dichtung ist, ist das Verfahren für schmale Flansche trotz gegebenenfalls geringerer Wirtschaftlichkeit anzuwenden.

Der Vorschweißbund muss die in D.5.4 oder D.6 angegebenen Anforderungen für einen direkt durch die Schrauben beanspruchten Flansch erfüllen, es sei denn, es wird angenommen, dass die Schraubenlast am Durchmesser G_1 einwirkt, der folglich in der Berechnung bei den an h_D , h_G und h_T einwirkenden Hebelarmen den Wert C ersetzt. Die in D.6 geforderten Durchmesser der Schraubenlöcher d_h sind gleich Null zu setzen.

D.5.6.3 Losflansch

Siehe Bilder D.5-10 und D.5-11.

$$h_L = (C - G_1)/2 \quad (\text{D.5-49})$$

Der für sämtliche Lastkomponenten auf den Losflansch wirksame Hebelarm ist als h_L anzunehmen, so dass gilt:

$$M_{op} = W_{op} h_L \quad (\text{D.5-50})$$

ANMERKUNG Für Außendruck, $W_{op} = 0$, siehe D.6.4.

$$M_A = W h_L \quad (\text{D.5-51})$$

Die für Blockflansche geltenden Spannungen und Spannungsgrenzwerte müssen die Anforderungen von D.5.4 erfüllen.

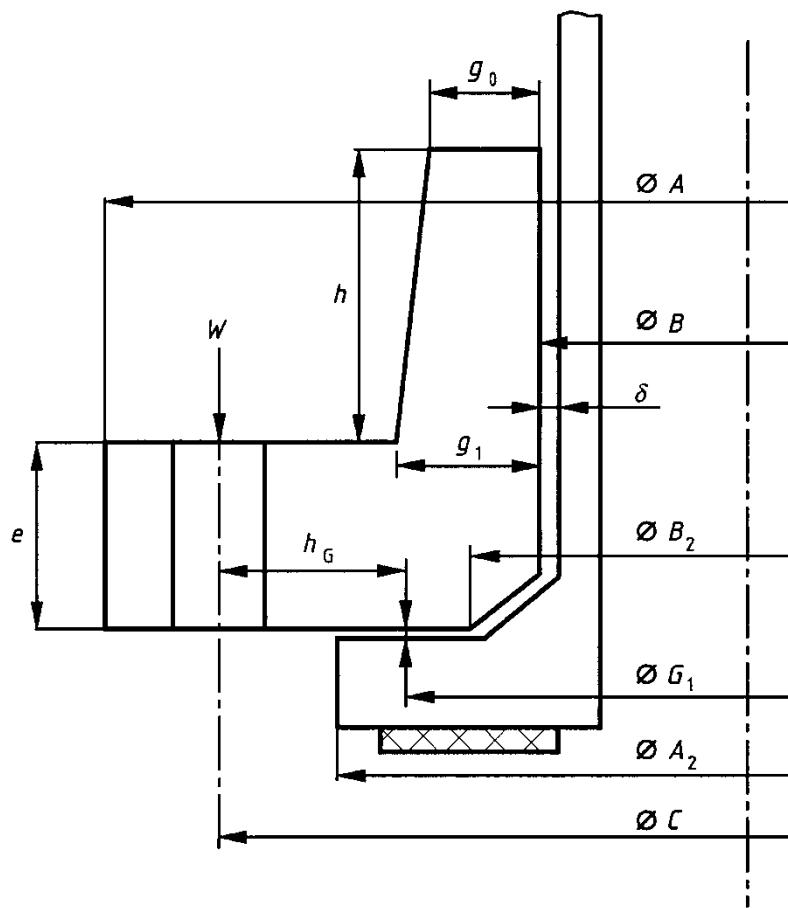


Bild D.5-10 — Überlappungsstoß, Losflansch mit Ansatz

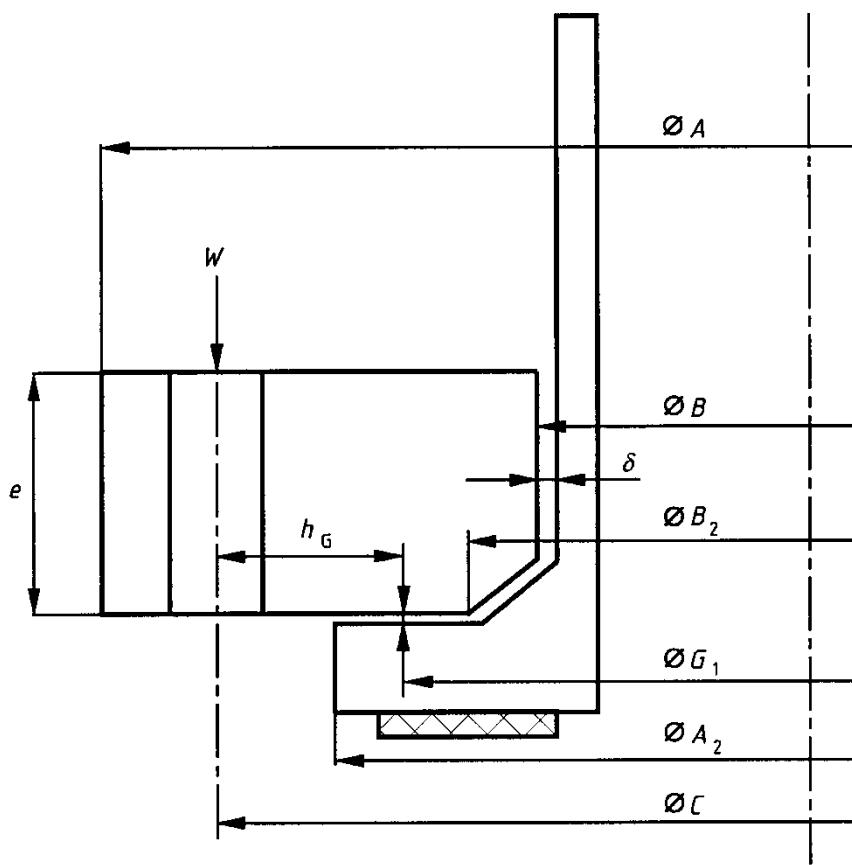


Bild D.5-11 — Überlappungsstoß, Losflansch ohne Ansatz

D.5.7 Geteilter Losflansch

Es ist zulässig, den Losflansch in einem Überlappungsstoß über den Durchmesser zu teilen, um ihn leicht vom Hals des Stutzens oder Kessels abnehmen zu können. Die Auslegung muss D.5.6.3 mit folgenden Modifikationen entsprechen.

Wird ein einziger geteilter Losflansch verwendet, so muss er wie ein massiver Flansch (ohne Trennfuge) ausgelegt werden, wobei 200 % des nach D.5.6.3 geforderten Moments M_{op} und/oder M_A anzusetzen sind.

Werden zwei geteilte Losflansche verwendet, so muss jeder der Ringe wie ein massiver Flansch (ohne Trennfuge) ausgelegt werden, wobei 75 % des nach D.5.6.3 geforderten Moments anzusetzen sind. Das Ringpaar muss so montiert werden, dass die Trennfuge in einem Ring im rechten Winkel (90°) zu der Trennfuge im zweiten Ring steht. Die Trennfugen müssen mittig zwischen den Schraubenlöchern angeordnet sein.

D.6 Breite Flansche mit ringförmigen Weichstoffdichtungen

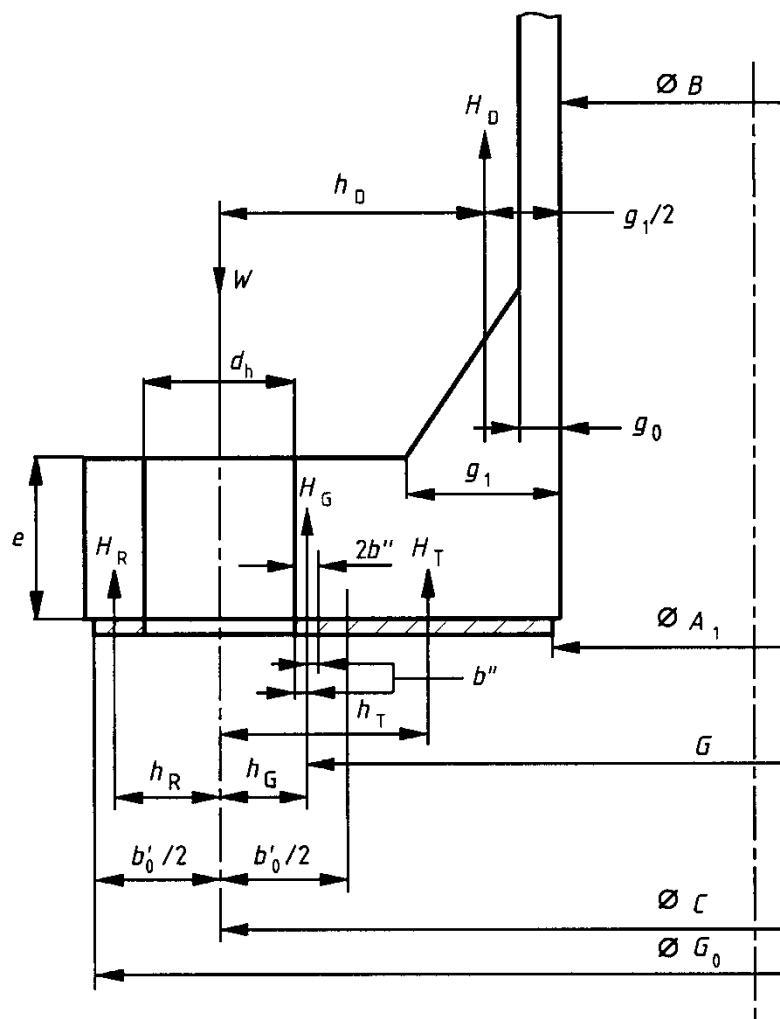


Bild D.6-1 — Breiter Flansch (Weichstoffdichtung)

D.6.1 Spezielle Symbole und Abkürzungen

Zusätzlich zu den in D.3 angegebenen gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

ANMERKUNG Für eine bildliche Darstellung der verschiedenen Abmessungen siehe Bild D.6-1.

A_1	Innendurchmesser der Dichtungskontaktfläche
b'	Wirksame Breite der Baugruppe
$2b''$	Wirksame Breite der Dichtungsdruckfläche, mit 5 mm anzusetzen
b_0'	Breite der beim ersten Anziehen wirksamen Baugruppengrundfläche
d_n	Durchmesser der Schraubenlöcher
G	Durchmesser des Bereiches der Belastungsreaktion der Dichtung
G_0	Außendurchmesser der Dichtung oder Außendurchmesser des Flansches, je nachdem, welches der kleinere Wert ist
H	Gesamte hydrostatische Endkraft
H_G	Auf die Dichtung zur Sicherstellung der Dichtigkeit einwirkende Drucklast
H_R	Reaktionskraft außerhalb des von den Schrauben beschriebenen Kreises zum Ausgleich der Momente aufgrund von innerhalb dieses Kreises angreifenden Lasten
h_R	Radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den H_R einwirkt
h_S	Radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den H_T einwirkt
h_T	Radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den H_G einwirkt
M_R	Radiales Ausgleichsmoment im Flansch entlang der Verbindungsleitung der Schraubenlöcher
n	Anzahl der Schrauben
δ	Abstand zwischen den Schrauben

D.6.2 Schraubenlasten und -flächen

Für $2b''$ ist der Wert mit 5 mm festgelegt.

$$b_0' = \min(G_0 - C; C - A_1) \quad (\text{D.6-1})$$

$$b' = 4 \sqrt{b_0'} \quad (\text{D.6-2})$$

(Diese Gleichung gilt nur, wenn die Angabe der Maße in Millimeter erfolgt.)

$$G = C - (d_n + 2b'') \quad (\text{D.6-3})$$

$$H = \pi/4 (C - d_n)^2 P \quad (\text{D.6-4})$$

$$H_D = \frac{\pi}{4} \times B^2 \times P \quad (\text{D.6-5})$$

$$H_T = H - H_D \quad (\text{D.6-6})$$

$$H_G = 2b'' \times \pi \times G \times m \times P \quad (\text{D.6-7})$$

$$h_D = (C - B - g_1)/2$$

$$h_T = (C + d_h + 2b'' - B)/4 \quad (\text{D.6-8})$$

$$h_G = (d_h + 2b'')/2 \quad (\text{D.6-9})$$

$$h_R = (G_0 - C + d_h)/4 \quad (\text{D.6-10})$$

$$M_R = H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G \quad (\text{D.6-11})$$

$$H_R = \frac{M_R}{h_R} \quad (\text{D.6-12})$$

Die Verschraubungsflächen sind nach D.5.2 zu berechnen, wobei Folgendes anzunehmen ist:

$$W_A = \pi C \times b' \times y \quad (\text{D.6-13})$$

$$W_{\text{op}} = H + H_G + H_R \quad (\text{D.6-14})$$

D.6.3 Flanschauslegung

Die Flanschdicke darf nicht geringer sein als der größte der nach den drei folgenden Gleichungen berechneten Werte für e :

$$e = \sqrt{\frac{6 M_R}{f (\pi C - n d_h)}} \quad (\text{D.6-15})$$

$$e = \frac{(m + 0,5)}{(E / 200\,000)^{0,25}} \frac{(\delta_b - 2d_b)}{6} \quad (\text{D.6-16})$$

wobei E in N/mm² anzugeben ist.

$$e = \frac{(A_1 + 2g_1) P}{2f} \quad (\text{D.6-17})$$

Sollen zwei nach den Anforderungen von D.6.4 ausgelegte Flansche mit unterschiedlichen Innendurchmessern miteinander zu einer Verbindung verschraubt werden, so müssen zusätzlich die folgenden Anforderungen erfüllt sein:

- a) Der Wert für beide Flansche zu verwendende Wert von M_R muss der für den kleineren der beiden Innendurchmesser berechnete Wert sein.
- b) Die Dicke des Flansches mit der kleineren Bohrung darf nicht geringer sein als:

$$e = \sqrt{\frac{3(M_1 - M_2)(A + B)}{\pi f \times B(A - B)}} \quad (\text{D.6-18})$$

wobei M_1 und M_2 die für die beiden Flansche berechneten Werte von M_R sind.

D.6.4 Breite Flansche unter Außendruck

Ist der Flansch sowohl Innen- wie Außendruck ausgesetzt, so muss er auch für beide Bedingungen ausgelegt sein, wobei der Außendruck außer Acht gelassen werden kann, wenn der berechnete Außendruck niedriger als der Innendruck ist.

Die Auslegung von Flanschen für Außendruck muss D.6 entsprechen, wobei folgende Ausnahmen gelten:

- a) P_e ersetzt P ;
- b) Gleichung (D.6-16) hat keine Gültigkeit;
- c) $W_{op} = 0$.

D.7 Dichtgeschweißte Flansche

Dichtgeschweißte Flansche (entsprechend der Darstellung in Bild D.7-1) müssen nach D.5 ausgelegt werden, wobei folgende Ausnahmen gelten:

- a) Es ist nur der Betriebszustand zu betrachten;
- b) $G = D_L$, dem Innendurchmesser der auf Bild D.7-1 dargestellten dichtgeschweißten Lippendichtung;
- c) $H_G = 0$;
- d) Die Flanschdicke e ist als mittlere Dicke des Flansches zu ermitteln.

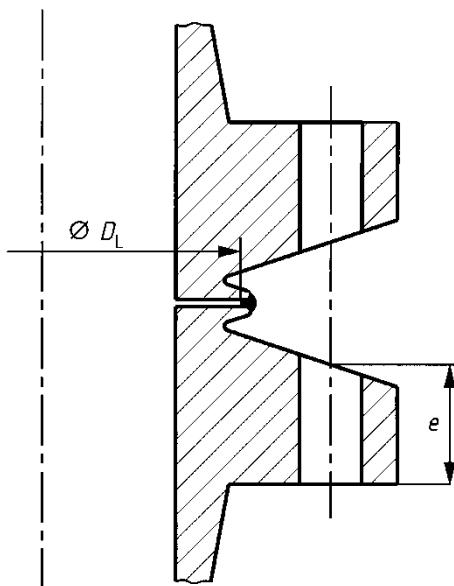


Bild D.7-1 — Dichtgeschweißter Flansch

D.8 Schmale Gegenflansche

D.8.1 Innendruck

Gegenflansche mit schmaler Dichtfläche (siehe Bild D.8-1 und D.8-2) unter Innendruck müssen nach D.5 ausgelegt werden, wobei folgende Modifikationen gelten.

Die im Berechnungsverfahren für Losflansche anzuwendenden Grenzwerte für g_0 und B/g_0 gelten nicht.

Die nachstehenden Symbole und Abkürzungen gelten zusätzlich zu den in D.3 angegebenen oder in Abänderung derselben.

A Innendurchmesser des Flansches;

B Außendurchmesser des Flansches;

H_T Nettodrucklast auf die Flanschstirnseiten.

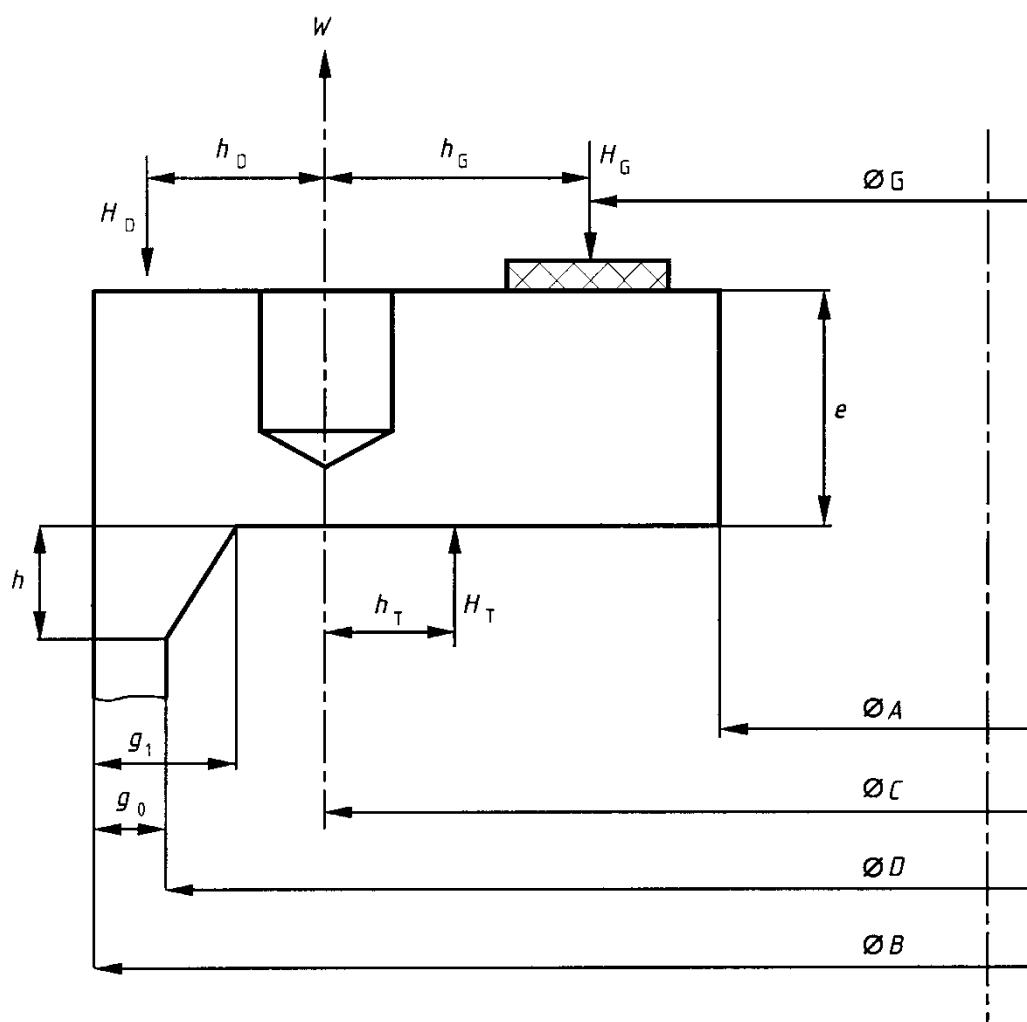


Bild D.8-1 — Gegenflansch mit schmaler Dichtfläche

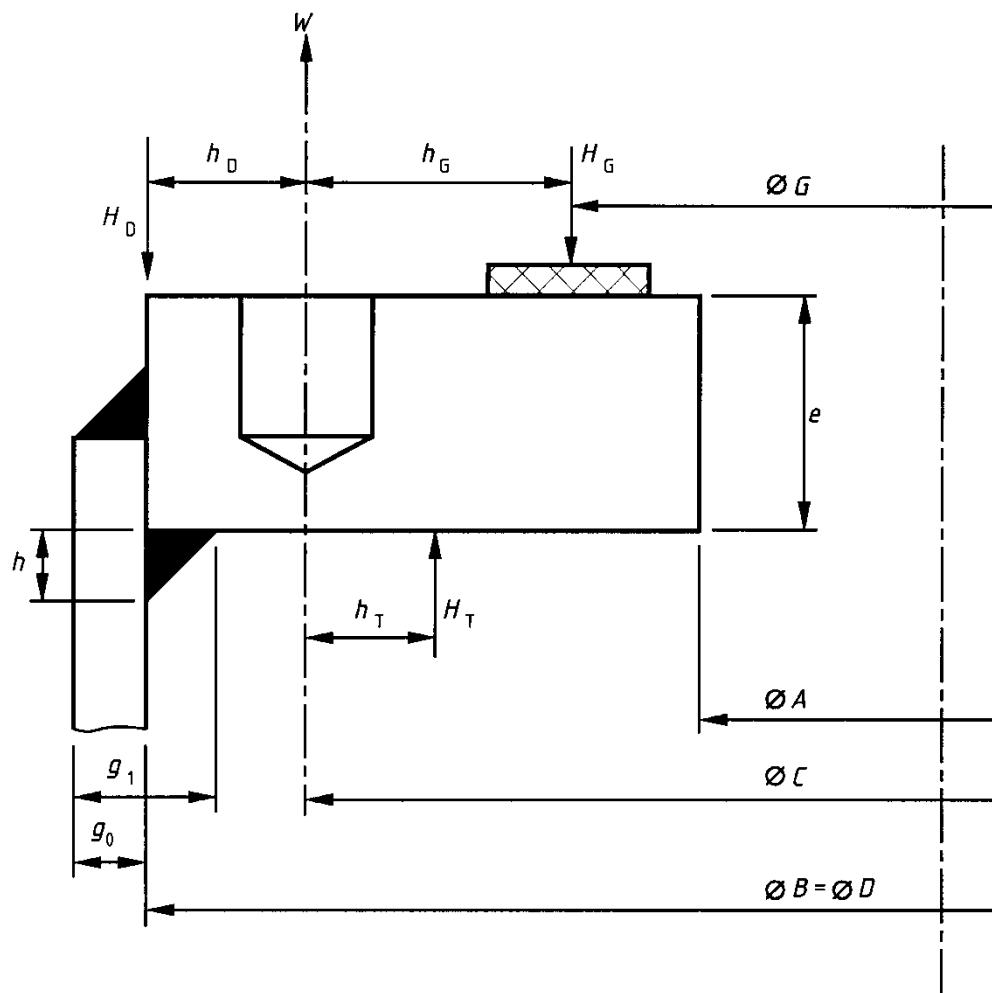


Bild D.8-2 —Gegenflansch mit schmaler Dichtfläche, Einschubausführung

Die folgenden Gleichungen ersetzen die in D.5 angegebenen Gleichungen für die angegebenen Variablen:

$$H_D = \pi/4 P D^2 \quad (\text{D.8-1})$$

$$H_T = H_D - H \quad (\text{D.8-2})$$

$$h_D = (B - C - g_1)/2 \quad (\text{D.8-3})$$

Mit Ausnahme von Einschubflanschen mit Kehlnähten (bei denen $B = D$), für die gilt:

$$h_D = (B - C)/2 \quad (\text{D.8-4})$$

$$h_T = (2C - G - D)/4 \quad (\text{D.8-5})$$

$$M_{\text{op}} = H_T h_T + H_D h_D \quad (\text{D.8-6})$$

$$M = (M_A \text{ oder } M_{\text{op}}) C_F / A \quad (\text{D.8-7})$$

$$K = B/A \quad (\text{D.8-8})$$

Das unter bestimmten Umständen negative Vorzeichen von h_T muss beachtet werden.

ANMERKUNG Das durch die Reaktion der Dichtung verursachte Moment ist für den Betriebszustand gleich Null zu setzen. Dies ist eine konservative Annahme, da jede Dichtungslast das auf den Flansch einwirkende Moment verringert.

D.8.2 Außendruck

Gegenflansche mit schmalen Dichtungen unter Außendruck müssen nach D.8.1 und den in D.5.5 angegebenen Modifikationen ausgelegt werden, wobei die Gleichung (D.5-5) durch Folgendes zu ersetzen ist:

$$M_{op} = H_D (h_D + h_G) + H_T (h_G - h_T) \quad (\text{D.8-9})$$

D.9 Gegenflansche mit durchgehender Dichtung

D.9.1 Allgemeines

Die Auslegung muss entweder nach D.9.2 oder D.9.3 erfolgen; beide Abschnitte gelten gleichermaßen. Für beide Auslegungsverfahren müssen die Dichtungs- und Verschraubungslasten im Montagezustand D.6 entsprechen.

ANMERKUNG Für Gegenflansche mit durchgehender Dichtung stehen zwei alternative Auslegungsverfahren zur Verfügung. Das erste folgt dem Ansatz von D.5 für den Betriebszustand und geht davon aus, dass der Verdrehungswiderstand aus dem Flansch selbst resultiert, während das zweite Verfahren dem Ansatz von D.6 folgt und eine größere Verschraubungsfläche erfordert.

D.9.2 Auslegung nach dem in D.5 angegebenen Verfahren

ANMERKUNG Für eine bildliche Darstellung der Lasten und Abmessungen siehe Bild D.9-1.

Die Auslegung für den Betriebszustand muss nach Abschnitt D.5 erfolgen, wobei folgende Modifikationen gelten.

Die nachstehenden Symbole und Abkürzungen gelten zusätzlich zu den in Abschnitt D.3 angegebenen oder in Abänderung derselben.

- A* Innendurchmesser des Flansches;
- A₁* Innendurchmesser der Dichtungskontaktfläche;
- B* Außendurchmesser des Flansches;
- H_S* hydrostatische Endkraft aufgrund des auf die entsprechende Stirnseite des Flansches einwirkenden Drucks;
- h_S* radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den *H_S* einwirkt.

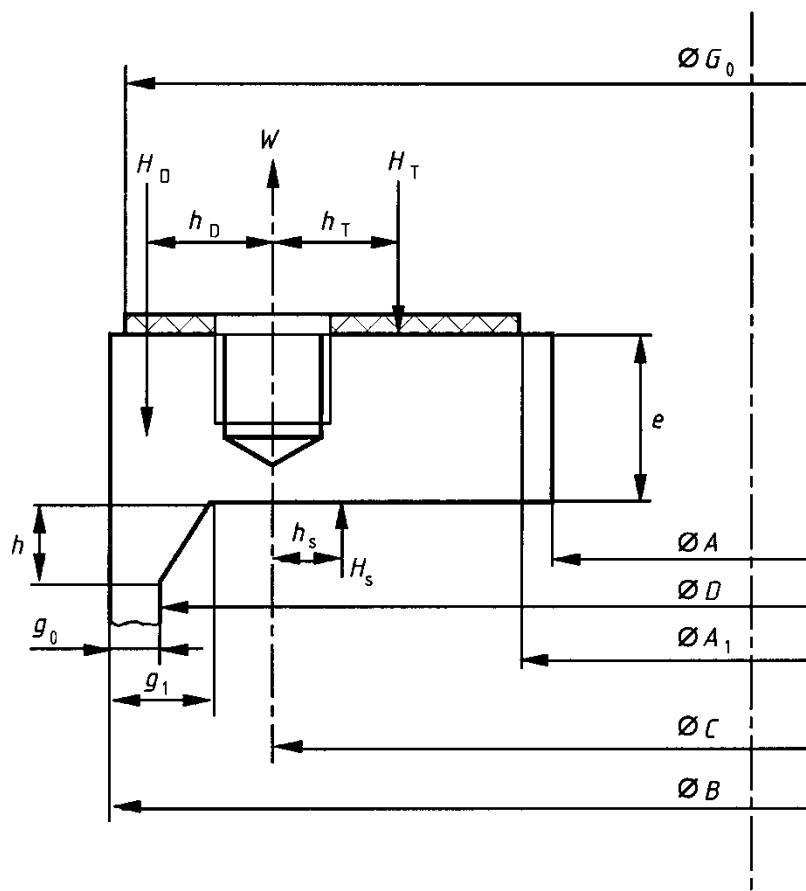


Bild D.9-1 — Auslegung von Gegenflanschen nach D.9.2

Es gelten folgende zusätzliche Gleichungen:

$$w = (C - A_1)/2 \quad (\text{D.9-1})$$

$$H_S = H_D - \pi/4 P A_1^2 \quad (\text{D.9-2})$$

$$h_S = (2C - D - A_1)/4 \quad (\text{D.9-3})$$

Die folgenden Gleichungen ersetzen die in D.5 angegebenen Gleichungen für die angegebenen Variablen:

$$H = \pi/4 P (C - d_h)^2 P \quad (\text{D.9-4})$$

$$H_D = \pi/4 P D^2 \quad (\text{D.9-5})$$

$$H_G = 2\pi b C m P \quad (\text{D.9-6})$$

$$H_T = (H - H_D + H_S)/2 \quad (\text{D.9-7})$$

$$h_D = (B - g_1 - C)/2 \quad (\text{D.9-8})$$

Mit Ausnahme von Einschubflanschen (bei denen $B \neq D$), für die gilt:

$$h_D = (B - C)/2 \quad (\text{D.9-9})$$

$$h_T = (2C + d_h - 2A_1)/6 \quad (\text{D.9-10})$$

$$M_{\text{op}} = H_D h_D - H_T h_T + H_S h_S \quad (\text{D.9-11})$$

$$M = M_{\text{op}} C_F/A \quad (\text{D.9-12})$$

$$K = B/A \quad (\text{D.9-13})$$

Das unter bestimmten Umständen negative Vorzeichen von h_S muss beachtet werden.

ANMERKUNG Das durch die Reaktion der Dichtung verursachte Moment ist für den Betriebszustand gleich Null zu setzen, da diese Annahme zu höheren Spannungen führt.

D.9.3 Auslegung nach dem in D.6 angegebenen Verfahren

ANMERKUNG Für eine bildliche Darstellung der Lasten und Abmessungen siehe Bild D.9-1.

Die in Abschnitt D.9.3 angegebenen Regeln dürfen nur auf Gegenflansche angewendet werden, bei denen das Gegenstück ein Rohrboden oder ein ebener Boden ist.

Die Auslegung für den Betriebszustand muss nach Abschnitt D.6 erfolgen, wobei folgende Modifikationen gelten.

Die nachstehenden Symbole und Abkürzungen gelten zusätzlich zu den in Abschnitt D.3 angegebenen oder in Abänderung derselben.

A Innendurchmesser des Flansches;

*A*₁ Innendurchmesser der Dichtungskontaktfläche;

B Außendurchmesser des Flansches;

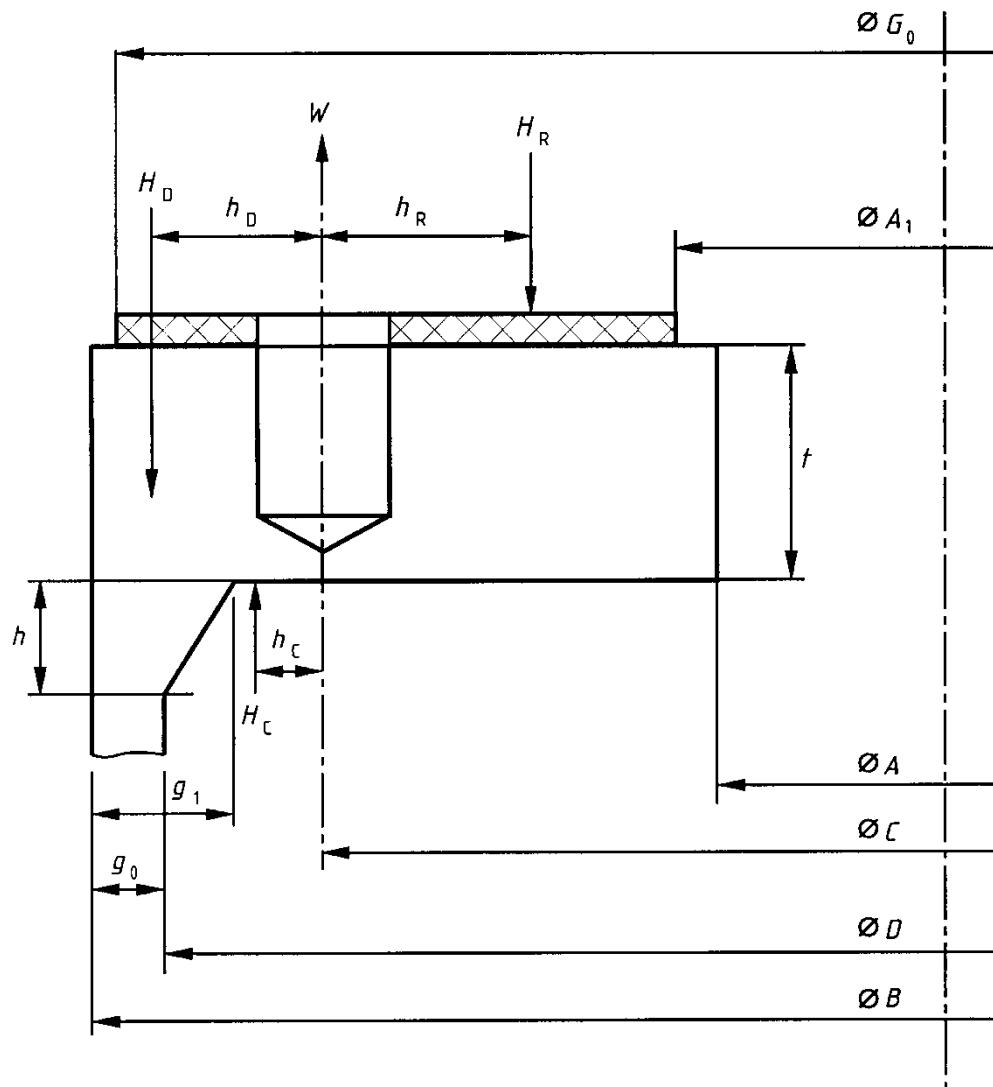


Bild D.9-2 — Auslegung von Gegenflanschen mit durchgehender Dichtung nach D.9.3

H_C außerhalb des von den Schrauben beschriebenen Kreises auf die Stirnfläche einwirkende Druckkraft;

h_C radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den H_C einwirkt.

Es gelten folgende zusätzliche Gleichungen:

$$H_C = H_D - \pi/4 P C^2 \quad (\text{D.9-14})$$

$$h_C = (D - C)/4 \quad (\text{D.9-15})$$

Die folgenden Gleichungen ersetzen die in D.6 angegebenen Gleichungen für die angegebenen Variablen:

$$H_D = \pi/4 P D^2 \quad (\text{D.9-16})$$

$$h_D = (B - C - g_1)/2 \quad (\text{D.9-17})$$

$$M_R = H_D h_D - H_C h_C \quad (\text{D.9-18})$$

$$W_{\text{op}} = H_D - H_C + H_R \quad (\text{D.9-19})$$

D.10 Flansche mit Dichtung im Kraft-Nebenschluss

D.10.1 Allgemeines

ANMERKUNG Für eine bildliche Darstellung der Lasten und Abmessungen siehe Bild D.10-1.

Die in D.10.2 angegebenen Anforderungen dürfen nur angewendet werden, wenn sowohl innerhalb wie außerhalb des von den Schrauben beschriebenen Kreises, bevor die Schrauben mit mehr als nur geringer Vorspannung angezogen werden, ein Metall-Metall-Kontakt vorliegt und wenn die Dichtung als O-Ring oder ähnlich ausgeführt ist.

Durch die Herstellungsverfahren und Toleranzen ist sicherzustellen, dass der Flansch nicht in einer Weise gewölbt ist, die dazu führt, dass bereits zu Beginn ein Kontakt außerhalb des von den Schrauben beschriebenen Kreises gegeben ist.

ANMERKUNG 1 Für den Fall, dass der erste Kontakt an der Bohrung gegeben ist, sind die angegebenen Regeln konservativ.

ANMERKUNG 2 Es wird davon ausgegangen, dass der mittlere Durchmesser selbstdichtender Dichtungen annähernd mit dem mittleren Durchmesser des angeschlossenen Rohres oder Kessels übereinstimmt und dass die Kräfte durch die Montage ebenso wie alle durch die Dichtung verursachten Axiallasten vernachlässigt werden können.

D.10.2 Besondere Symbole und Abkürzung

Die nachstehenden Symbole und Abkürzungen gelten zusätzlich zu den in Abschnitt D.3 angegebenen.

G Mittlerer Durchmesser der Dichtung;

H_R Reaktionskraft außerhalb des von den Schrauben beschriebenen Kreises zum Ausgleich der Momente aufgrund von innerhalb dieses Kreises angreifenden Lasten;

h_R Radialer Abstand des von den Schrauben beschriebenen Kreises zu dem Kreis, auf den H_R einwirkt;

M_R Radiales Ausgleichsmoment im Flansch entlang der Verbindungsleitung der Schraubenlöcher;

n Anzahl der Schrauben.

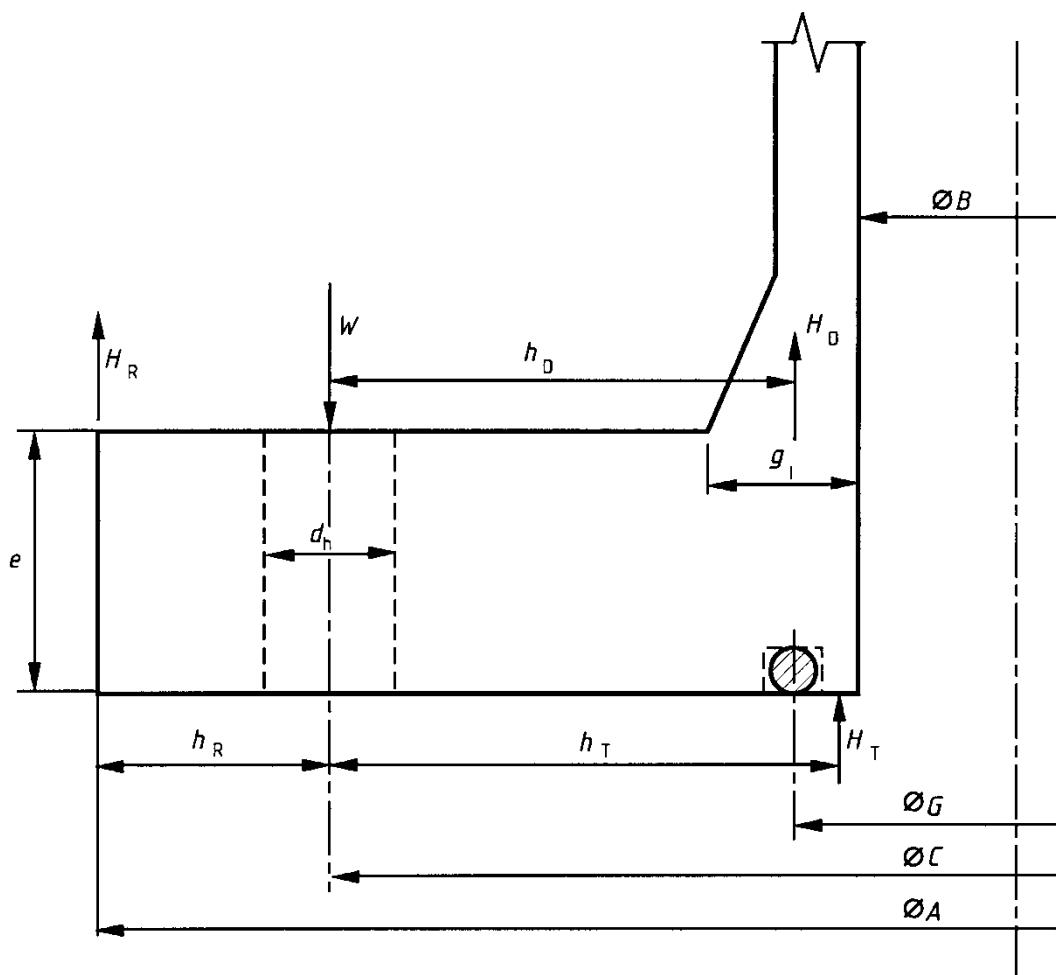


Bild D.10-1 — Flansch mit O-Ring-Dichtung im Kraft-Nebenschluss

D.10.3 Auslegung

Die nachstehenden Anforderungen gelten für Fälle, in denen der Flansch mit einem identischen Flansch oder einem ebenen Boden verschraubt werden soll.

Die Schraubenlasten sind nach D.5.2 zu berechnen; dabei gilt Folgendes:

$$h_R = (A - C)/2 \quad (\text{D.10-1})$$

$$M_R = H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T \quad (\text{D.10-2})$$

$$h_R = M_R / h_R \quad (\text{D.10-3})$$

$$W_A = 0 \quad (\text{D.10-4})$$

$$W_{\text{op}} = H + H_R \quad (\text{D.10-5})$$

Die Flanschdicke darf nicht geringer sein als:

$$e = \sqrt{\frac{6 M_R}{f (\pi C - n d_h)}} \quad (D.10-6)$$

Sollen zwei nach den Regeln dieses Abschnitts ausgelegte Flansche mit unterschiedlichen Innendurchmessern miteinander zu einer Verbindung verschraubt werden, so müssen zusätzlich die folgenden Anforderungen erfüllt sein:

- Der Wert für beide Flansche zu verwendende Wert von M_R muss der für den kleineren der beiden Innendurchmesser berechnete Wert sein.
- Die Dicke des Flansches mit der kleineren Bohrung darf nicht geringer sein als:

$$e = \sqrt{\frac{3 (M_1 - M_2) (A + B)}{\pi f \times B (A - B)}} \quad (D.10-7)$$

wobei M_1 und M_2 die für die beiden Flansche berechneten Werte von M_R sind.

Anhang E (normativ)

Auslegung von Abzweiganschlüssen in Rohrleitungsanbauteilen

E.1 Anwendungsbereich

E.1.1 Allgemeines

Dieser Anhang gilt für die Auslegung von Abzweiganschlüssen in:

- nahtlosen 3d- und 5d-Rohrbögen;
- Rohrbiegungen aus nahtlosen oder geschweißten Rohren (mit Ausnahme von spiralnaht-geschweißten Rohren).

Dieser Anhang gilt nicht für:

- geformte Zubehörteile;
- nahtlose 2d-Rohrbögen.

ANMERKUNG Für Abzweigungen und Rohrhalterungen können auch andere als die in diesem Anhang aufgeführten Anschlüsse verwendet werden, sofern ihre Eignung durch Berechnungen oder durch Bezug auf ähnliche zufriedenstellende Verfahren nachgewiesen wurde.

Es ist zu beachten, dass jeder Abzweig die Gefahr von Turbulenzen erhöht. Diese Phänomene dürfen nicht zu einer Zunahme von Korrosion oder Erosion über die zulässigen Grenzwerte hinaus führen.

Die in den Anwendungsbereich dieses Anhangs fallenden Anschlüsse müssen die in Tabelle E.1.1-1 angegebenen Grenzwerte einhalten, es sei denn, dass ein besonderer Eignungsnachweis für sie erbracht wurde.

Tabelle E.1.1-1 — Anschluss-Grenzwerte

Druck	≤40 bar
Temperatur	Nicht isoliert ≤200 °C Isoliert ≤350 °C
Verhältnis der Nenndurchmesser	Siehe Tabellen E.1.1-2 und E.1.1-3
Verstärkungsring	Ohne geschweißten Verstärkungsring (es sind Vorkehrungen für einen dickenbedingten Überstand des betreffenden Zubehörteils zu treffen)
Maximale Gesamtanzahl äquivalenter Lastspiele (siehe 10.3.1)	1 000

Tabelle E.1.1-2 — Verhältnis der Nenndurchmesser — Krümmungsradius $R = 1,5 d$

Maximaler Außendurchmesser des Abzweigs										
Rohrbogen: Krümmungsradius $R = 1,5 d$ (Bilder E.1.1-1 und E.1.1-2)										
Rohrbogen/Rohrbiegung D_o mm		≤88,9	168,3	273	323,8	355,6	406,4	457,9	508	609,6
Abzweig d_e max	$P \leq 0,5$ MPa	nicht zulässig	26,7	33,4	60,3 ^a	88,9	114,3	168,3	219,1	273
	$0,5 < P \leq 1$ MPa		26,7	33,4	33,4	60,3 ^a	88,9	114,3	168,3	219,1
	$P > 1$ MPa			26,7	26,7	33,4	60,3 ^a	88,9	114,3	168,3
Anordnung		Kupplung oder Kupplungsflansch				Abzweige ohne Verstärkungsring				

^a 60,3 für Rohre oder Kupplungsflansch für Rohr $d_o = 48,3$.

Tabelle E.1.1-3 — Verhältnis der Nenndurchmesser — Krümmungsradius $R > 1,5 d$

Maximaler Außendurchmesser des Abzweigs		
Rohrbiegung: Krümmungsradius $R > 1,5 d$ (Bild E.1.1-3)		
Alle D_o	$\frac{d_o}{2} + 50 \leq X \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \left[R + \frac{D_o}{e} \right] + \frac{d_o}{2}$	$Y \leq D_o$

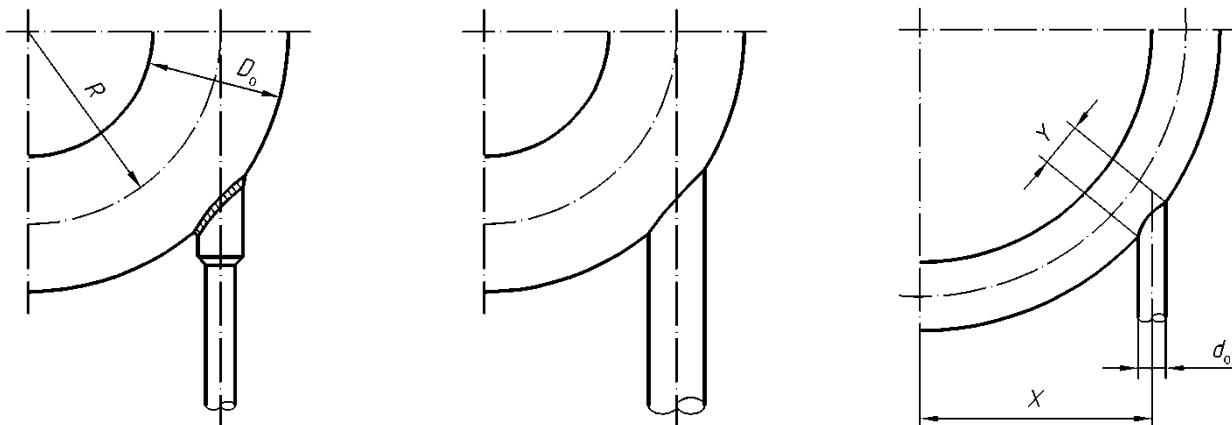


Bild E.1.1-1

Bild E.1.1-2

Bild E.1.1-3

E.2 Verstärkung

Die Prüfung der Anschlüsse muss wie folgt durchgeführt werden, wobei L und l den Festlegungen von 8.4 entsprechen müssen.

ANMERKUNG Ist der Anschluss als Bauteil ausgeführt, das unter den vorgesehenen Einsatzbedingungen auslegungsgemäß selbstverstärkend ist (Halb-Muffe oder sonstiges), so ist keine weitere Verstärkung erforderlich.

E.2.1 Winkel und Flächen

Winkel und Flächen müssen nach Bild E.2.1-1 und den nachstehenden Regeln berechnet werden:

E.2.1.1 Winkelberechnung

$$\cos \alpha = \frac{X}{R + 0,5 D_0} \quad (\text{E.2.1-1})$$

$$\cos \beta = \frac{X - 0,5 d_0}{R + 0,5 D_0} \quad (\text{E.2.1-2})$$

$$\cos \gamma = \frac{X + 0,5 d_0}{R + 0,5 D_0} \quad (\text{E.2.1-3})$$

$$A = 90^\circ - \beta - \tau \quad (\text{E.2.1-4})$$

$$B = \gamma - \tau \quad (\text{E.2.1-5})$$

ANMERKUNG Die zu einem Winkel in der Mitte von 1° gehörige Winkelfläche wird wie folgt berechnet:

$$\Omega = \frac{\pi}{360} \left\{ (R + 0,5 D_0 - 0,5 e_a)^2 - R^2 \right\} \quad (\text{E.2.1-6})$$

E.2.1.2 Fläche G_2 (die immer größer als G_1 ist)

$$G_2 = \Omega (\alpha - \gamma + \tau) + 0,5(l + 0,5 e_a)(d_0 - e_{ap}) \quad (\text{E.2.1-7})$$

E.2.2 Die nachstehende Beziehung muss erfüllt sein:

$$p_c \leq S_2 \frac{f}{G_2} \quad (\text{E.2.2-1})$$

wobei f die in Abschnitt 5 festgelegte Auslegungsspannung ist.

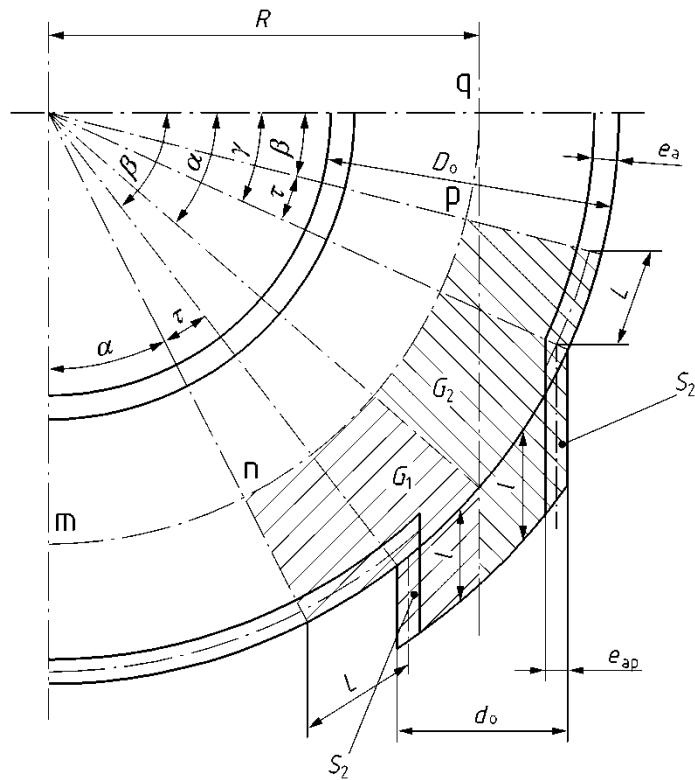


Bild E.2.1-1

E.3 Elastizitätsanalyse

Zusätzlich zu den für Rohrbögen oder Rohrbiegungen geltenden Spannungserhöhungsfaktoren muss auch ein eigener Spannungserhöhungsfaktor für die einzelnen Abzweiganschlüsse auf die in der Elastizitätsanalyse ohne Einbeziehung des Abzweigs (siehe Abschnitt 12) erhaltenen Spannungen angewendet werden.

Das betreffende Bauteil muss zunächst nach 12.3 geprüft werden, und anschließend sind die Spannungen nach folgender Beziehung um den Spannungserhöhungsfaktor i zu erhöhen:

$$i \sigma \leq 3f$$

Der Spannungserhöhungsfaktor, i , ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$i = 1,5 \left(\frac{D_m}{2e} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{d_m}{D_m} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{e_p}{e} \right) \left(\frac{d_m}{2r_p} \right)$$

Dabei ist

r_p der Außenradius des Abzweigs am Ausschnitt nach den Bildern E.3-1 bis E.3-3;

e_p die Dicke des Abzweigs;

d_m der mittlere Durchmesser des Abzweigs;
 e die Dicke des Rohrleitungsstrangs;
 D_m der mittlere Durchmesser des Rohrleitungsstrangs.

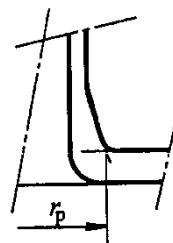


Bild E.3-1

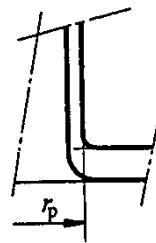


Bild E.3-2

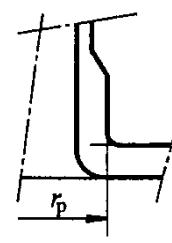


Bild E.3-3

Anhang F (informativ)

Prüfung während des Betriebs unter Wechselbeanspruchung

F.1 Prüfung während des Betriebs

Bei Wechselbeanspruchung ausgesetzten Rohrleitungen sind Prüfungen während des Betriebs von besonderer Bedeutung. Sie erlauben, beginnende Schäden rechtzeitig zu erkennen. Dazu sind die inneren Prüfungen durch zerstörungsfreie Prüfungen (NDE), vor allem durch Oberflächenrissprüfungen und Ultraschallprüfungen an hochbeanspruchten Stellen zu ergänzen. Zur Überwachung leicht zugänglicher Bereiche können auch Ultraschallprüfungen von der Außenseite des Rohrs durchgeführt werden.

Jedes Rohrleitungssystem, für das die Anzahl der zulässigen Lastwechsel (Lastspielzahl N) festgelegt ist, sollte spätestens bei Erreichen der Hälfte dieser festgelegten Lastspielzahl N einer inneren Prüfung unterzogen werden. Bei Rohrleitungen, die für $N = 2 \times 10^6$ oder höher ausgelegt sind, sollte der Wert 2×10^6 verwendet werden. Dem Betreiber obliegt es, in geeigneter Weise die Anzahl der auftretenden Lastwechsel zu erfassen und erforderlichenfalls die inneren Prüfungen zu veranlassen.

Liegen entgegen der den Berechnungen nach 10.3.2.3 zugrundeliegenden Annahmen zu den Betriebsbedingungen höhere Wechselbeanspruchungen vor oder sind durch andere betriebliche Einflüsse bereits vor Ablauf der Prüffristen Schäden an der drucktragenden Wand zu erwarten, so können die Prüffristen verkürzt werden. Eine Verlängerung der Prüffristen kann sich unter Umständen aus einer eingehenden Ermüdungsanalyse ergeben.

Wird bei der regulären Prüfung keine Rissbildung festgestellt, so kann die Rohrleitung bis zum Ablauf der nächsten festgelegten oder zwischen den Parteien vereinbarten Frist weiter betrieben werden, selbst wenn die nach 10.3.2.3 berechnete zulässige Lastspielzahl bereits erreicht oder überschritten ist.

F.2 Maßnahmen bei Erreichen der berechneten Ermüdungslifebdauer

Ist die zulässige Lastspielzahl für ein Bauteil oder der zulässige Wert für die Gesamtschädigung nach 10.3.2.3 erreicht, so sind an einigen hochbeanspruchten Stellen möglichst vollständig zerstörungsfreie Prüfungen nach 10.3.2.7 durchzuführen.

Werden bei der Prüfung nach a) keine Risse gefunden, so ist der Weiterbetrieb zulässig. Voraussetzung hierfür ist, dass bei den zerstörungsfreien Prüfungen, die in Prüfintervallen durchzuführen sind, die 50 % der Betriebsdauer nach Abschnitt 10.3.2.3 entsprechen, keine Ermüdungsschäden festgestellt werden. Nach Erreichen dieser Betriebszeit ist das weitere Vorgehen zwischen den beteiligten Parteien abzustimmen.

Sollten bei den Prüfungen nach a) oder b) Risse oder rissartige Fehler oder noch weiter gehende Schäden festgestellt werden, so sollte das Bauteil oder das betreffende Tragwerkselement ausgetauscht werden, es sei denn, dass durch geeignete zwischen den beteiligten Parteien zu vereinbarende Maßnahmen ein Weiterbetrieb zulässig erscheint.

Als konstruktive, herstellungstechnische und verfahrenstechnische Maßnahmen für einen Weiterbetrieb kommen in Frage:

- Beseitigung von Rissen durch Ausschleifen. Ergibt sich durch das Ausschleifen eine zu geringe Wanddicke, so sind Reparaturschweißungen nur mit Einverständnis der beteiligten Parteien vorzunehmen.
- Kerbfreischleifen der Schweißnähte;
- Änderung der Betriebsweise.

Anhang G (informativ)

Physikalische Eigenschaften von Stählen

G.1 Allgemeines

Die physikalischen Eigenschaften von Stählen werden für die Berechnungen im Rahmen der Spannungsanalyse benötigt.

G.2 Physikalische Eigenschaften

G.2.1 Dichte

Die Dichte ρ ist abhängig von der Temperatur t . Sie lässt sich wie folgt berechnen:

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{[1 + \beta_{20,t} \cdot (t - 20)]^3} \quad (\text{G.2-1})$$

In dieser Gleichung sollte der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient von 20 °C bis zur Temperatur t verwendet werden. Dieser ist definiert als:

$$\beta_{20,t} = \frac{1}{l_{20}} \cdot \frac{l_t - l_{20}}{t - 20} \quad (\text{G.2-2})$$

Dabei ist

l_t die Länge des Probekörpers bei der Temperatur t ;

Für die Berechnung der Masse eines Bauteils sollte die für eine Temperatur von 20 °C geltende Dichte ρ_{20} verwendet werden, siehe Tabelle G.2.1-1.

Tabelle G.2.1-1 — Dichte bei 20 °C

Stahlgruppen	Dichte ρ kg/m ³
1 bis 4, 5.1 und 5.2	7 850
5.3, 5.4, 6 und 7	7 760
8.1 und 8.2	7 930

G.2.2 Differentieller linearer Wärmeausdehnungskoeffizient

Wenn die von einer Temperaturdifferenz $\Delta t = t_2 - t_1$ verursachte Wärmespannung zu berechnen ist, sollte der differentielle lineare Wärmeausdehnungskoeffizient β_{diff,t^*} bei einer Temperatur

$$t^* = 0,75 \max(t_1, t_2) + 0,25 \min(t_1, t_2) \quad (\text{G.2-3})$$

verwendet werden.

Der Zusammenhang zwischen $\beta_{20,t}$ und $\beta_{\text{diff},t}$ ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$\beta_{\text{diff},t} = \beta_{20,t} + \frac{\partial \beta_{20,t}}{\partial t} (t - t_0) \quad (\text{G.2-4})$$

Dabei ist

$$t_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

G.2.3 Spezifische Wärmekapazität

Der Zusammenhang zwischen der mittleren spezifischen Wärmekapazität $C_{p,20,t}$ von $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ bis zur Temperatur t und der differentiellen spezifischen Wärmekapazität $C_{p,\text{diff},t}$ ist wie folgt gegeben (ähnlich wie der Wärmeausdehnungskoeffizient):

$$C_{p,\text{diff},t} = C_{p,20,t} + \frac{\partial C_{p,20,t}}{\partial t} (t - t_0) \quad (\text{G.2-5})$$

G.2.4 Temperaturleitzahl

Die Temperaturleitzahl D_{th} ist definiert als:

$$D_{\text{th}} = \frac{\lambda_t}{\rho_t C_{p,\text{diff},t}} \quad (\text{G.2-6})$$

Dabei ist λ_t die temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit nach G.5.3.

G.2.5 Querkontraktionszahl

Die Querkontraktionszahl ν kann für alle Stähle unabhängig von der Temperatur im elastischen Zustand gewählt werden und beträgt:

$$\nu = 0,3 \quad (\text{G.2-7})$$

G.3 Physikalische Eigenschaften von Stählen

ANMERKUNG Für Angaben zur systematischen Einteilung von Stählen siehe EN 13480-2.

Die physikalischen Eigenschaften können unter Verwendung von Gleichung (G.4-1) polynomisch berechnet oder aus den Bildern G.3-1 bis G.3-4 abgelesen werden.

Die Eigenschaft Z wird wie folgt berechnet und in der für die jeweilige Temperatur t in $^\circ\text{C}$ geltenden und den nachstehenden Tabellen zu entnehmenden Einheit angegeben:

$$Z = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + \dots \quad (\text{G.3-1})$$

Die Polynomkoeffizienten sind in den Tabellen G.3-1 bis G.3-4 angegeben.

Für t gelten folgende Grenzwerte:

Für ferritische Stähle der Gruppen 1.1 bis 7 gilt: $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq t < 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

Für austenische Stähle der Gruppen 8.1 und 8.2 gilt: $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq t < 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Für Temperaturen zwischen $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ kann ebenfalls der Wert $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ verwendet werden.

ANMERKUNG Sämtliche Werte weichen weniger als 1 % von den in der Literatur zitierten Werten ab.

Werden die Stähle nach EN 13480-2 ausgewählt, so können ihre physikalischen Eigenschaften auch der einschlägigen Europäischen Norm entnommen bzw. durch lineare Interpolation von den darin angegebenen Werten abgeleitet werden.

Tabelle G.3-1 — Polynomische Koeffizienten für den Elastizitätsmodul E_t (kN/mm^2)

Stahlgruppe	Polynomkoeffizienten		
	c_0	c_1	c_2
1 bis 4, 5.1 und 5.2	213,16	-6,91 E-2	-1,824 E-5
5.3, 5.4, 6 und 7	215,44	-4,28 E-2	-6,185 E-5
8.1 und 8.2	201,66	-8,48 E-2	0

Tabelle G.3-2 — Polynomische Koeffizienten für die lineare Wärmeausdehnung β_t (10^{-6} K^{-1})

Stahlgruppe	Polynomkoeffizienten			
	c_0	c_1	c_2	
1 bis 4, 5.1 und 5.2	$\beta_{20,t}$	11,14	8,03 E-3	-4,29 E-6
	$\beta_{\text{diff},t}$	10,98	1,623 E-2	-1,287 E-5
5.3, 5.4, 6 und 7	$\beta_{20,t}$	10,22	5,26 E-3	-2,5 E-6
	$\beta_{\text{diff},t}$	10,11	1,062 E-2	-7,5 E-6
8.1 und 8.2	$\beta_{20,t}$	15,13	7,93 E-3	-3,33 E-6
	$\beta_{\text{diff},t}$	14,97	1,599 E-2	-9,99 E-6

Tabelle G.3-3 — Polynomische Koeffizienten für die Wärmeleitfähigkeit λ_t in W/mK

Stahlgruppe	Polynomkoeffizienten		
	c_0	c_1	c_2
1.1	55,72	-2,464 E-2	-1,298 E-5
1.2	49,83	-1,613 E-2	-1,372 E-5
2.1	39,85	1,111 E-2	-3,611 E-5
4	46,85	7,2 E-4	-3,305 E-5
5.1	45,0	-1,287 E-2	-1,075 E-5
5.2	36,97	6,40 E-3	-2,749 E-5
5.3 und 5.4	28,05	1,85 E-3	-5,58 E-6
6	22,97	8,73 E-3	-4,82 E-6
8.1 und 8.2	13,98	1,502 E-2	0

Tabelle G.3-4 — Polynomische Koeffizienten für die spezifische Wärmekapazität $C_{p,xx,t}$ [J/(kg · K)]

Stahlgruppe	Polynomkoeffizienten					
	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	
1 bis 5	$C_{p,20,t}$	454,93	0,28139	-3,8815 E-4	4,7542 E-7	0
	$C_{p,diff,t}$	449,30	0,57830	-1,1930 E-3	1,9017 E-6	0
6	$C_{p,20,t}$	433,33	0,43342	-7,4702 E-4	8,0289 E-7	0
	$C_{p,diff,t}$	424,66	0,89672	-2,2892 E-3	3,2116 E-6	0
8.1 und 8.2	$C_{p,20,t}$	467,77	0,24905	-5,5393 E-4	8,3266 E-7	-4,3916 E-10
	$C_{p,diff,t}$	462,69	0,52026	-1,7117 E-3	3,3658 E-6	-2,1958 E-9

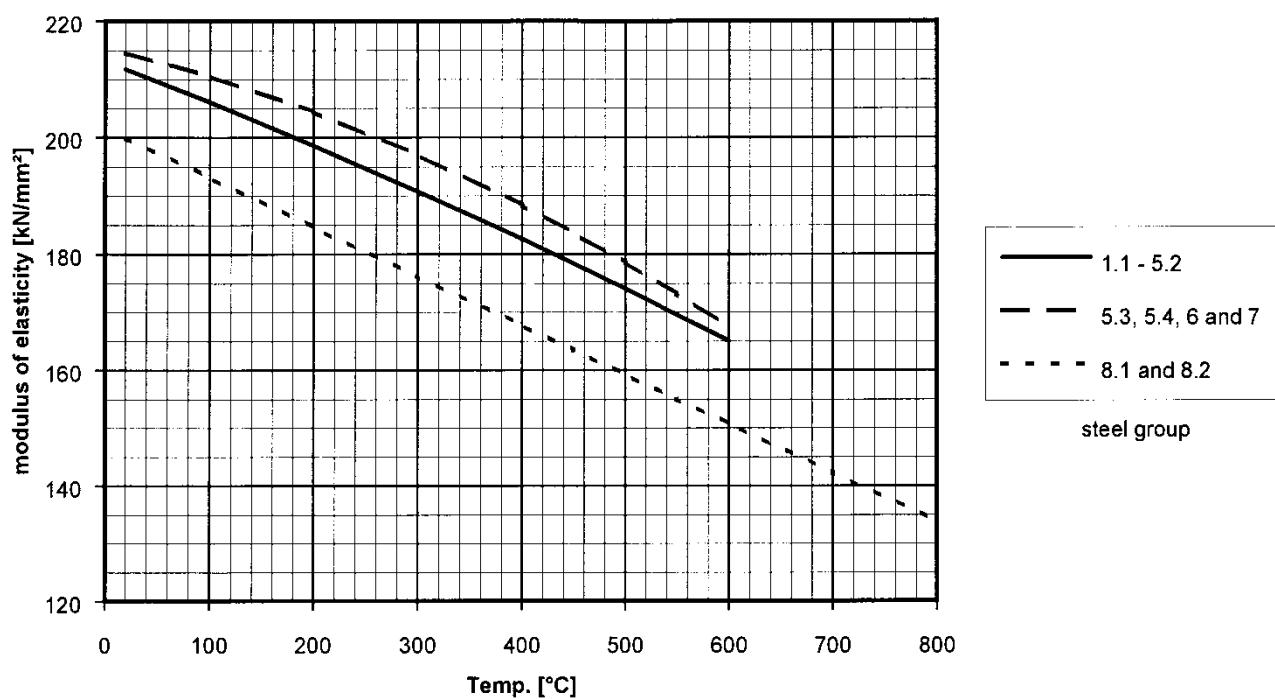


Bild G.3-1 — Elastizitätsmodul E_t für Stahl

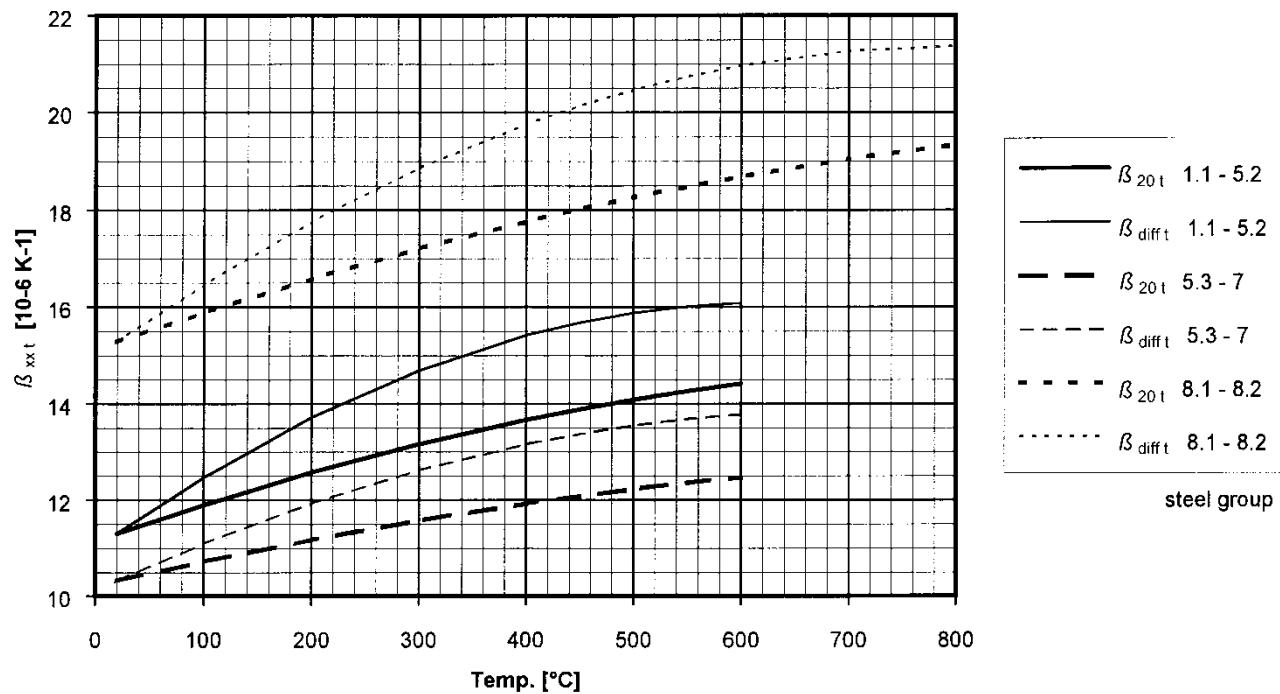


Bild G.3-2 — Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient β_t

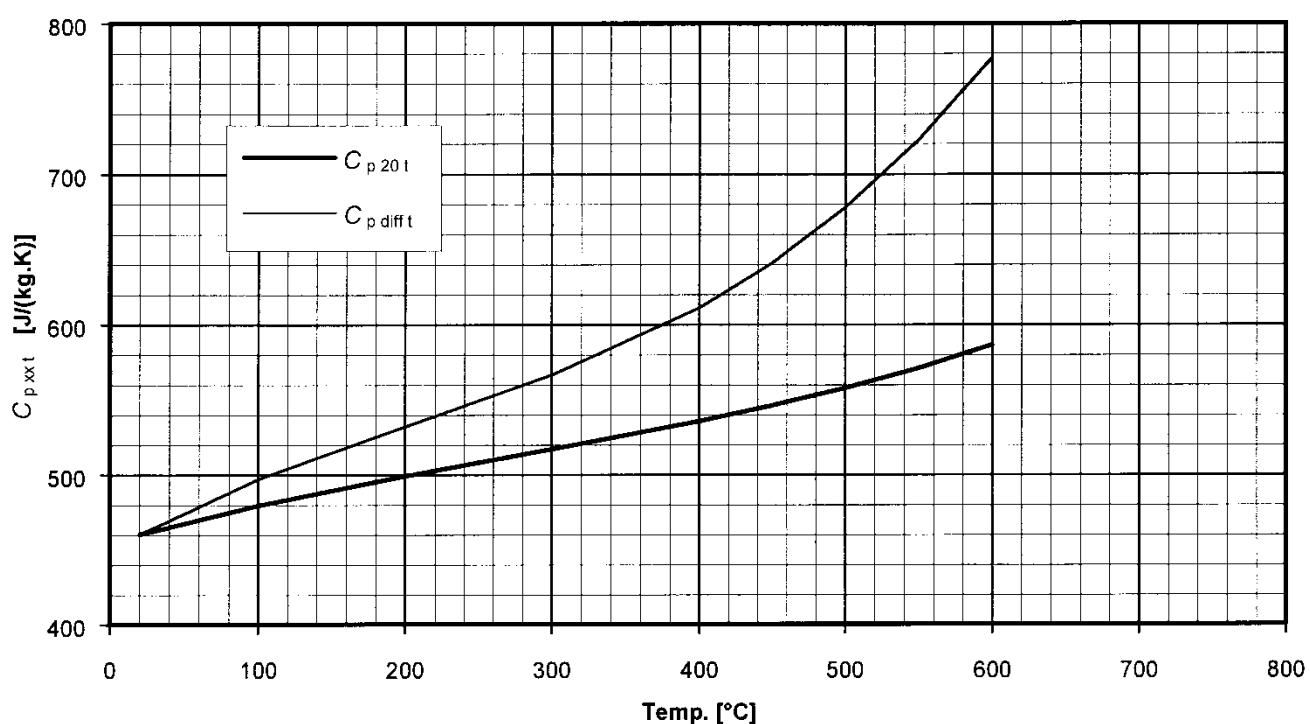


Bild G.3-3a — Spezifische Wärmekapazität für Stähle der Gruppen 1 bis 5.3

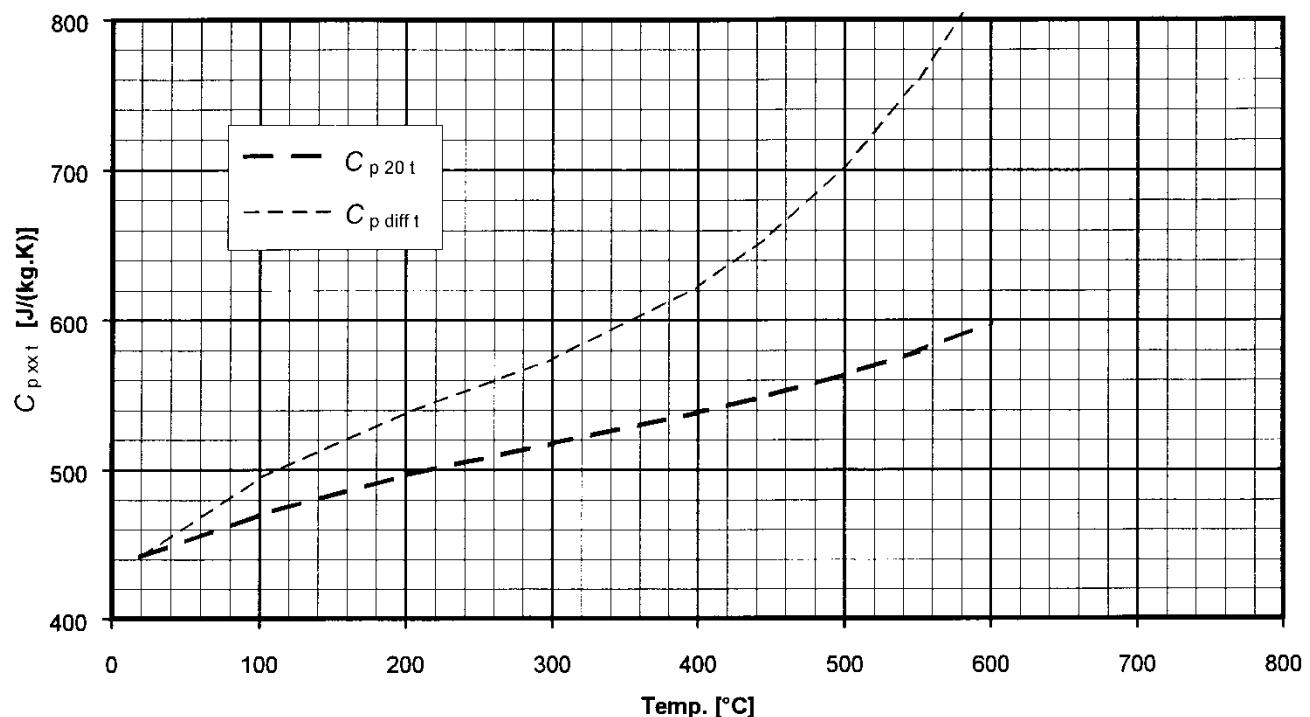


Bild G.3-3b — Spezifische Wärmekapazität für Stähle der Gruppen 6.1 bis 6.4

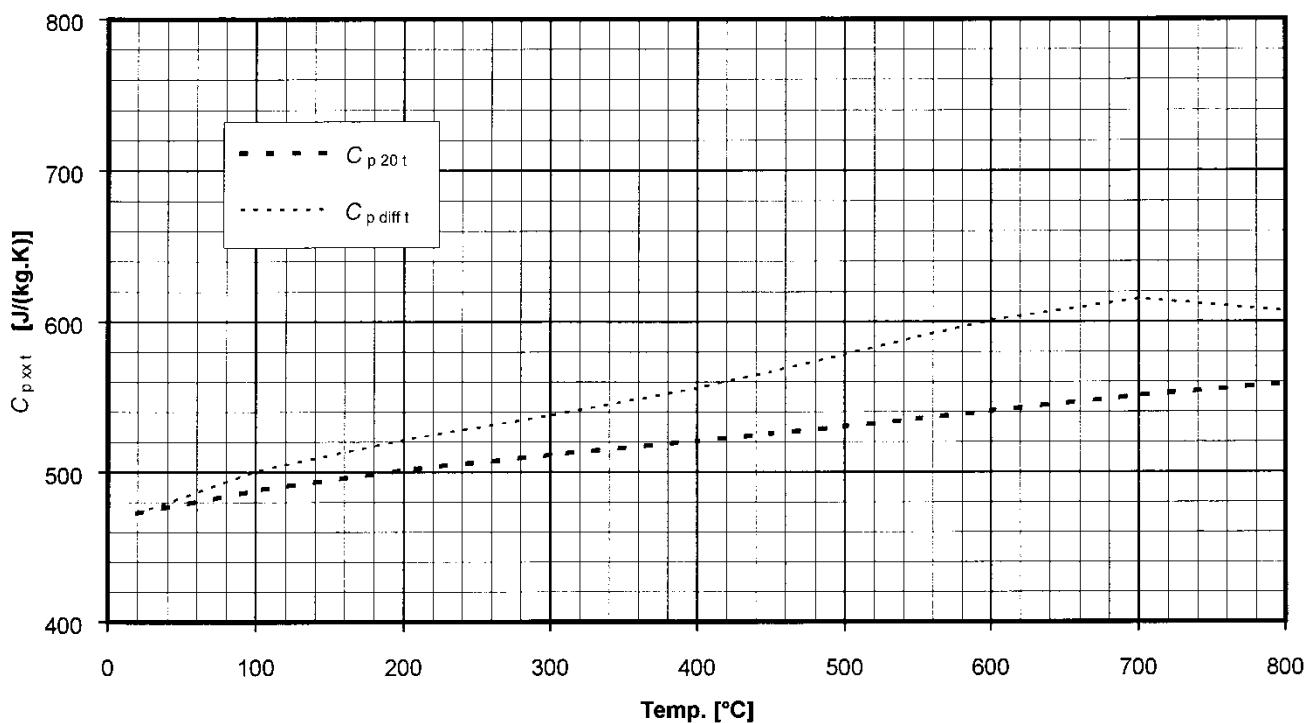


Bild G.3-3c — Spezifische Wärmekapazität für Stähle der Gruppen 8.1 bis 8.2

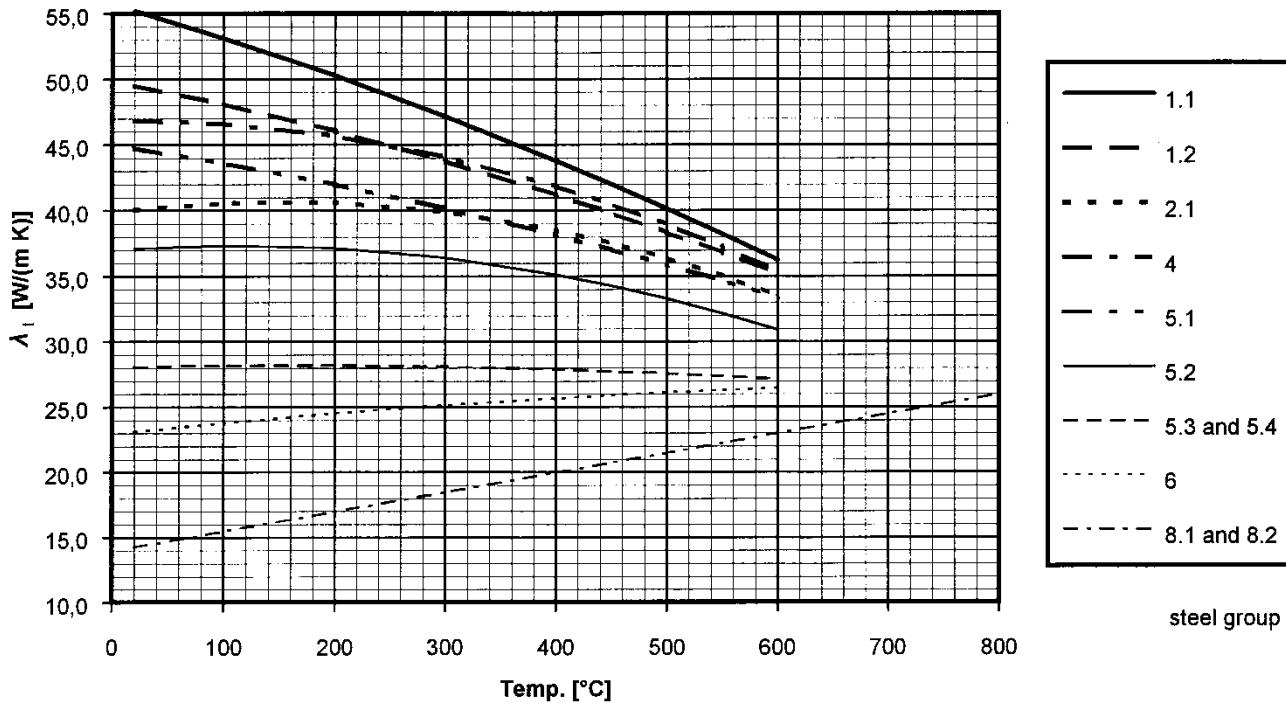


Bild G.3-4 — Wärmeleitfähigkeitskoeffizient λ_t

Anhang H (normativ)

Elastizität, Elastizitäts- und Spannungserhöhungs faktoren sowie Widerstandsmomente von Rohrleitungsbauteilen und geometrische Diskontinuitäten

Die charakteristischen Merkmale von Rohrleitungsbauteilen und geometrischen Diskontinuitäten für allgemeine Anwendungsfälle, insbesondere Verbindungen und Biegungen sowie Bögen des Rohrleitungssystems sowohl in als auch außerhalb der Schnittebene sind nach den Tabellen H.1 bis H.3 auszuführen.

Tabelle H.1 — Elastizität, Elastizitäts- und Spannungserhöhungs faktoren sowie Widerstandsmomente für allgemeine Anwendungsfälle

Nr	Bauteil-bezeichnung	Zeichnung	Elastizitäts-charakteristik h	Elastizitäts-faktor k_B^a	Spannungs-erhöhungs-faktor i	Widerstands-moment Z
1	Geradrohr		1	1	1	
2	Rohrbiegung		$\frac{4R e_n}{d_m^2}$	$\frac{1,65}{h}$	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ b ch i	$\frac{\pi}{32} \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o}$
3	Mehrsegment-krümmer $l < r(1 + \tan \theta)$ $(l = 2R \tan \theta)$		$\frac{4R e_n}{d_m^2}$ mit $R = \frac{l \cot \theta}{2}$	$\frac{1,52}{h^{5/6}}$	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ b ch i	

(fortgesetzt)

Tabelle H.1 (fortgesetzt)

Nr	Bauteil-bezeichnung	Zeichnung	Elastizitätscharakteristik h	Elastizitätsfaktor k_B^a	Spannungs-erhöhungsfaktor i	Widerstands-moment Z
4	Segment-krümmer $l \geq r(1 + \tan \theta)$		$\frac{4R e_n}{d_m^2}$ mit $R = \frac{d_m(1 + \cot \theta)}{4}$	$\frac{1,52}{h^{5/6}}$	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ b h i	
5	Eingeschweißtes Reduzierstück		Formbedingung: $\alpha \leq 60^\circ$ $e_n \geq d_o/100$ $e_2 \geq e_1$	1	$0,5 + \frac{\alpha}{100} \left(\frac{d_o}{e_n} \right)^{1/2}$ max. 2,0 (α in deg.) d	
6	T-Stück mit auf- oder eingeschweißtem oder ausgehalstem Stutzen		$\frac{2 e_n}{d_m}$	1	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ b e g	Grundrohr $\frac{\pi}{32} \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o}$
7	wie oben, jedoch mit zusätzlichem Verstärkungsring		$\frac{2(e_n + 0,5e_{pl})^{5/2}}{d_m e_n^{3/2}}$ mit $e_{pl} \leq e_n$	1	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ b e g	Stutzen $\frac{\pi}{4} d_{m,b}^2 e_x$
8	Eingeschweißtes T-Stück mit e_n und $e_{n,b}$ als verbindende Wanddicke		$\frac{8,8 e_n}{d_m}$	1	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ b g	mit e_x als kleinerer Wert $e_{x1} = e_n$ und $e_{x2} = i e_{n,b}$ resp.
9	Stumpfnaht		$e_n \geq 5 \text{ mm}$ und $\delta \leq 0,1 e_n$ f $e_n < 5 \text{ mm}$ oder $\delta > 0,1 e_n$ f	1	1,0 f	
				1	1,8 f	

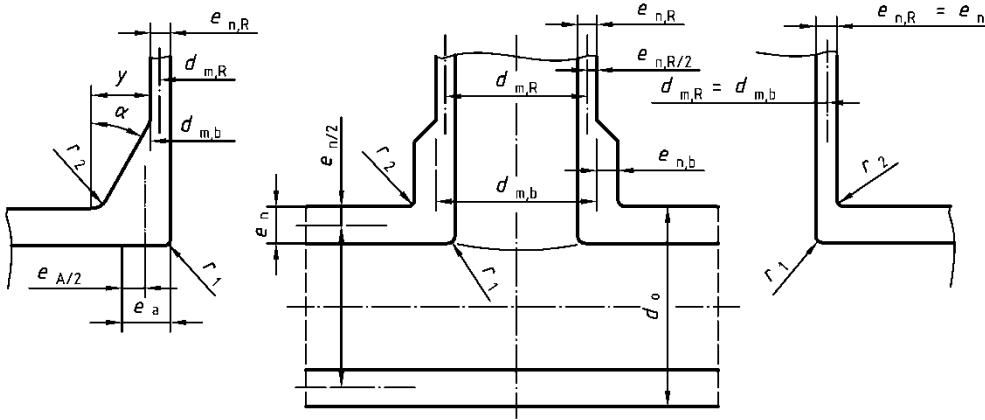
(fortgesetzt)

Tabelle H.1 (fortgesetzt)

Nr	Bauteil-bezeichnung	Zeichnung	Elastizitätscharakteristik h	Elastizitätsfaktor k_B^a	Spannungs-erhöhungsfaktor i	Widerstands-moment Z
10	Wanddicke-übergang		$\alpha \leq 30^\circ$ $\beta \leq 15^\circ$ (ohne Verbindungsnaht an den Übergängen $\delta = 0$)	1	$1,3 + 0,0036 \frac{d_o}{e_n} + 3,6 \frac{\delta}{e_n}$ max 1,9 f	$\frac{\pi}{32} \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o}$
11	Ausrundungsschweißung bei eingesetzten Verbindungen		Konkave Form mit durchgängigem Übergang zum Rohr	1	1,3	Kleinerer Wert von $\frac{\pi}{32} \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o}$ und $\frac{\pi}{4} d_o^2 a$
12				1	2,1	

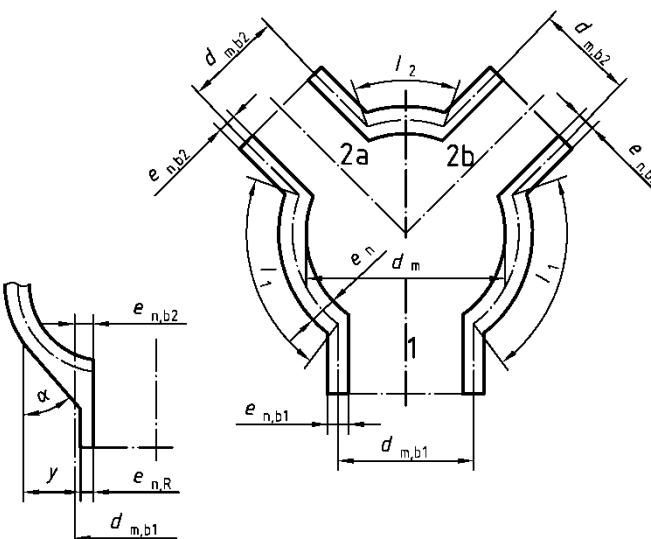
- a Der Elastizitätsfaktor k_B gilt für Biegungen in allen Ebenen. Der Faktor bezüglich Torsion ist in allen Fällen = 1.
- b Die Faktoren k_B und i gelten über die gesamte Länge der Rohrbögen und Biegungen sowie an allen Schnittpunkten von Achsen im Falle von T-Stücken und Stutzen.
- c Wenn diese bestückt sind mit:
- einem Flansch an einem Ende, sind k_B und i mit $h^{1/6}$ zu multiplizieren;
 - Flanschen an beiden Enden, sind k_B und i mit $h^{1/3}$ zu multiplizieren.
- d Die Wanddicke des Reduzierstücks darf nicht geringer sein als e_1 außer in der direkten Umgebung des kleinen Anschlusses, wo die Dicke nicht weniger als e_n sein darf.
- e Andere Werte können verwendet werden, wenn sie nachgewiesen sind.
- f Der Faktor wird angewendet, wenn die Herstellungstoleranz eingehalten wird. Andernfalls liegt die Bestimmung der Faktoren in der Verantwortung des Herstellers.
- g Die Faktoren gelten nur für Stutzen mit konvergenten Achsen, nicht jedoch für z. B. die Konfigurationen nach Bild 8.4.3-5.
- h Besteht die Wahrscheinlichkeit, dass der Druck Ovalität ausgleicht (großer Durchmesser, geringe Wanddicke), ist der Faktor i zu dividieren durch: $1 + 3,25 \left(\frac{p_o}{E_c} \right) \left(\frac{d_m}{2e_n} \right)^{5/2} \left(\frac{2R}{d_m} \right)^{2/3}$; dabei ist p_o der Betriebsdruck und E_c der Elastizitätsmodul bei Raumtemperatur (20 °C).
- i Besteht die Wahrscheinlichkeit, dass der Druck Ovalität ausgleicht (großer Durchmesser, geringe Wanddicke), ist der Faktor k zu dividieren durch: $1 + 6 \left(\frac{p_o}{E_c} \right) \left(\frac{d_m}{2e_n} \right)^{7/3} \left(\frac{2R}{d_m} \right)^{1/3}$; dabei ist p_o der Betriebsdruck und E_c der Elastizitätsmodul bei Raumtemperatur (20 °C).

Tabelle H.2 — Spannungserhöhungsfaktoren und Widerstandsmomente für besondere Verbindungen

Bezeichnung	T-Stück mit speziellen Konstruktionsbedingungen
Darstellung	 $e_{n,b} = e_{n,R} + 2Y/3$ $d_{o,b} = d_{m,b} + e_{n,b}$
Konstruktionsbedingungen	$\frac{d_{m,R}}{d_m} \leq 0,5 ; \quad \frac{d}{e_n} \leq 100 ; \quad 0,1 e_n \leq r_1 \leq e_n$ $r_2 \geq \max \left(\frac{e_{n,b}}{2}; \frac{e_n}{2} \right) \quad \alpha \leq 30^\circ$ $r_3 \geq \max \left\{ \alpha \frac{d_{m,R} + e_{n,R}}{500}; 2 \sin^3 \alpha (d_{m,b} + e_{n,b} - d_{m,R} - e_{n,R}) \right\}$ <p>Für die Bedingungen von r_3 ist α in Grad anzugeben. Für Abzweige mit DN < 100 können die Bedingungen für r_1 entfallen.</p>

(fortgesetzt)

Tabelle H.2 (fortgesetzt)

Bezeichnung	Kugelförmiger Y-Abzweig	
Spannungserhöhungs-faktoren und Widerstandsmomente	Für Grundrohr: $i = 0,4 \left(\frac{d_m}{2e_n} \right)^{\frac{2}{3}} \times \frac{d_{m,R}}{d_m}$ mindestens jedoch $i = 1,5$ $Z = \frac{\pi}{4} d_m^2 e_n$	Für Abzweig: $i = 1,5 \left(\frac{d_m}{2e_n} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{d_{m,R}}{d_m} \right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{e_{n,R}}{e_n} \times \frac{d_{m,R}}{d_{m,b} + e_{n,b}}$ $Z = \frac{\pi}{4} d_{R,m}^2 e_{n,R}$
Darstellung		$e_{n,b1} = e_{n,R} + 2y/3$ $d_o = d_m + e_n$ $d_{o,b1} = d_{m,b1} + e_{n,b1}$ $d_{o,b2} = d_{m,b2} + e_{n,b2}$
Einflussfaktoren $l_o, \lambda_1, \lambda_2$	$l_o = 2 \sqrt{d_m e_n}; \quad \lambda = 1 - \sqrt{\frac{l_1}{l_o}}; \quad \lambda = 1 - \sqrt{\frac{l_2}{l_o}}$ für $l_1 \geq l_o, \lambda_1 = 0$ und für $l_2 \geq l_o, \lambda_2 = 0$	
Spannungserhöhungs-faktor I	$i = \frac{0,9}{h^{2/3}} \text{ mit } h = \frac{2e_n}{d_m}$	
Widerstandsmomente Z_1, Z_2	Stutzen 1 $Z_1 = \pi d_{m,b1}^2 e_{x1}/4$ mit $e_{x1} = \min(e_n; i e_{n,b1})$	Stutzen 2a und 2b $Z_2 = \pi d_{m,b2}^2 e_{x2}/4$ mit $e_{x2} = \min(e_n; i e_{n,b2})$

(fortgesetzt)

Tabelle H.2 (fortgesetzt)

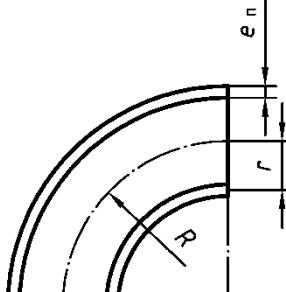
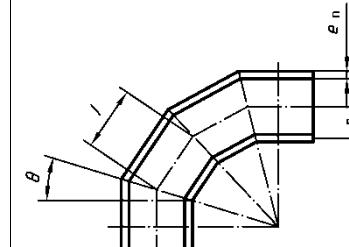
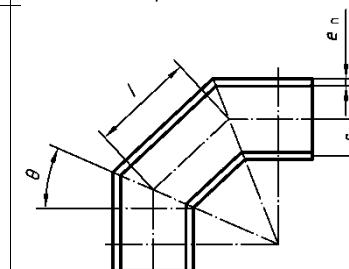
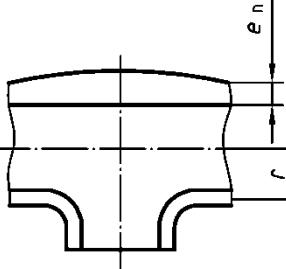
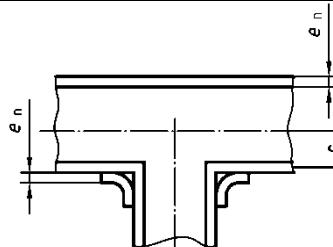
Bezeichnung	Kugelförmiger Doppel Y-Abzweig		
	Stutzen 1	Stutzen 2a	Stutzen 2b
Anstelle von $\frac{M_A}{Z}$ $\frac{M_B}{Z}$ $\frac{M_C}{Z}$ $\frac{M_D}{Z}$	$\frac{M_1}{Z_1} + \frac{\lambda_1 M_{2a}}{Z_2}$ $\frac{M_1}{Z_1} + \frac{\lambda_1 M_{2b}}{Z_2}$	$\frac{M_{2a}}{Z_2} + \frac{\lambda_1 M_1}{Z_1}$ $\frac{M_{2a} + \lambda_2 M_{2b}}{Z_2}$	$\frac{M_{2b}}{Z_2} + \frac{\lambda_1 M_1}{Z_1}$ $\frac{M_{2b} + \lambda_2 M_{2a}}{Z_2}$
in den in 12.3.2 bis 12.3.6 angegebenen Gleichungen zu verwendende Terme	Anstelle von M/Z wird für den jeweiligen Abzweig der größere der aus den beiden Gleichungen ermittelten Werte in die in 12.3.2 bis 12.3.6 angegebenen Gleichungen eingesetzt. Dann gilt: $M_1 = M_{A,B,C,D}$ am Abzweig 1, $M_{2a} = M_{A,B,C,D}$ am Abzweig 2a und $M_{2b} = M_{A,B,C,D}$ am Abzweig 2b.		
Darstellung			
Einflussfaktoren $l_o, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	$l_o = 2 \sqrt{d_m e_n}$ $\lambda_1 = 1 - \sqrt{\frac{l_1}{l_o}}$ $\lambda_2 = 1 - \sqrt{\frac{l_2}{l_o}}$ $\lambda_3 = 1 - \sqrt{\frac{l_3}{l_o}}$ <p>Falls $l_{1,2,3} \geq l_o$, dann gilt: $\lambda_{1,2,3} = 0$</p>		
Spannungserhöhungs-faktor i	$i = \frac{0,9}{h^{2/3}} \text{ mit } h = \frac{2e_n}{d_m}$		
Widerstandsmomente Z_1, Z_2	$e_{x1} = \min(e_n; i e_{n,b1})$ $Z_1 = \pi d_{m,b1}^2 e_{x1}/4$ $e_{x2} = \min(e_n; i e_{n,b2})$ $Z_2 = \pi d_{m,b2}^2 e_{x2}/4$		

(fortgesetzt)

Tabelle H.2 (fortgesetzt)

Bezeichnung	Kugelförmiger Doppel Y-Abzweig		
	Stutzen 1	Stutzen 2a	Stutzen 2b
Anstelle von $\frac{M_A}{Z} \frac{M_B}{Z}$ $\frac{M_C}{Z} \frac{M_D}{Z}$ in den in 12.3.2 bis 12.3.6 angegebenen Gleichungen zu verwendende Terme	$\frac{M_1}{Z_1} + \frac{\lambda_1 M_{2a}}{Z_2}$	$\frac{M_{2a}}{Z_2} + \frac{\lambda_1 M_1}{Z_1}$	
	$\frac{M_1}{Z_1} + \frac{\lambda_1 M_{2b}}{Z_2}$	$\frac{M_{2a} + \lambda_2 M_{2b}}{Z_2}$	$M_{2a} \cong M_{2b,c,d}$ $M_{2b} \cong M_{2c,d,a}$
	$\frac{M_1}{Z_1} + \frac{\lambda_1 M_{2c}}{Z_2}$	$\frac{M_{2a} + \lambda_3 M_{2c}}{Z_2}$	$M_{2a} \cong M_{2d,a,b}$ $M_{2a} \cong M_{2a,b,c}$
	$\frac{M_1}{Z_1} + \frac{\lambda_1 M_{2d}}{Z_2}$	$\frac{M_{2a} + \lambda_2 M_{2d}}{Z_2}$	

Tabelle H.3 — Elastizitätswerte und Spannungserhöhungsfaktoren bei Biegen aus der Schnittebene heraus und in der Schnittebene

Bauteil-bezeichnung	Aus der Schnittebene heraus i_0	In der Schnittebene i_1	Elastizität	Darstellung
Einschweißbiegung oder -Rohrbiegung	$\frac{0,75}{h^{2/3}}$ a b c j	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a b c j	$\frac{e_n R}{r^2}$	
Mehrsegment-krümmer $l < r(1 + \tan \theta)$ ($l = 2R\tan\theta$)	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a b c j	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a b c j	$\frac{\cot \theta}{2} \frac{e_n l}{r^2}$	
Segmentkrümmer $l \geq r(1 + \tan \theta)$	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a b c j	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a b c j	$\frac{e_n}{r} \left(\frac{1 + \cot \theta}{2} \right)$	
Geschmiedetes T-Stück zum Schweißen, ausgelegt für einen Berstdruck größer oder gleich dem Berstdruck der verbundenen Rohre	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a e f g i	$0,75i_0 + 0,25$ a e f g i	$\frac{4,4e_n}{r}$	
Serien-T-Stück mit Verstärkungsblech oder -sattel	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a d e i	$0,75i_0 + 0,25$ a d e i	$\frac{(e_n + 0,5e_r)^{5/2}}{r(e_n^{3/2})}$	

(fortgesetzt)

Tabelle H.3 (fortgesetzt)

Bauteil-bezeichnung	Aus der Schnittebene heraus i_0	In der Schnittebene i_1	Elastizität	Darstellung
Serien-T-Stück ohne Verstärkung	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a d e i	$0,75i_0 + 0,25$ a d e i	$\frac{e_n}{r}$	
Ausgehalstes Einschweiß-T-Stück	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a e i	$0,75i_0 + 0,25$ a e i	$\left(1 + \frac{r_1}{r}\right) \frac{e_n}{r}$	
An den Umrissen geschweißte Einlage	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a e f g i	$0,75i_0 + 0,25$ a e f g i	$\frac{4,4 e_n}{r}$	
Rohrabzweig, geschweißt am Formstück (verstärkt angegossen)	$\frac{0,9}{h^{2/3}}$ a d f h	$0,75i_0 + 0,25$ a d f h	$\frac{3,3 e_n}{r}$	

(fortgesetzt)

Tabelle H.3 (fortgesetzt)

- a Die Faktoren i_0 und i_1 gelten über die gesamte Länge der Rohrbögen und Biegungen sowie an allen Schnittpunkten von Achsen im Falle von T-Stücken und Stutzen.
- b Wenn diese bestückt sind mit:
 - einem Flansch an einem Ende, sind i_0 und i_1 mit $h^{1/6}$ zu multiplizieren;
 - Flanschen an beiden Enden, sind i_0 und i_1 mit $h^{1/3}$ zu multiplizieren.
- c Besteht die Wahrscheinlichkeit, dass der Druck Ovalität ausgleicht (großer Durchmesser, geringe Wanddicke), sind die Faktoren i_0 und i_1 zu dividieren durch: $1 + 3,25 \left(\frac{p_0}{E_c} \right) \left(\frac{r}{e_n} \right)^{5/2} \left(\frac{R}{r} \right)^{2/3}$; dabei ist p_0 der Betriebsdruck und E_c der Elastizitätsmodul bei Raumtemperatur (20 °C).
- d Für einen Stutzen mit einem Verhältnis des Abzweigungsdurchmessers zum Rohrdurchmesser von mehr als 0,5 ist möglicherweise der Spannungserhöhungs faktor für Biegung aus der Ebene heraus nicht konservativ. Ein sanfter Übergang durch eine konkav geformte Schweißnaht hat sich zur Reduktion des Faktors bewährt. Folglich liegt die Verantwortung für die Wahl eines angemessenen Faktors beim Konstrukteur.
- e Die Spannungserhöhungs faktoren des T-Stücks basieren auf Versuchen die mit mindestens der Länge von zwei Durchmessern eines geraden Rohres auf beiden Seiten der T-Stückachse durchgeführt wurden. Im Fall von kürzeren Verzweigungen ist besondere Vorsicht geboten.
- f Die Schmiedestücke müssen den Betriebsbedingungen angepasst sein.
- g Wenn die Begrenzungen in Bezug zu Radius und Dicke nicht zutreffen und keine zuverlässige Angaben vorhanden sind, wird für die Elastizitätscharakteristik $\frac{e_n}{r}$ angenommen.
- h Der Hersteller muss sicherstellen, dass die Auslegung gegen Druck mindestens der eines geraden Rohrs entspricht.
- i Die Faktoren gelten nur für Stutzen mit konvergenten Achsen, und sind nicht anwendbar für z. B. die Konfigurationen nach Bild 8.4.3-5.
- j Besteht die Wahrscheinlichkeit, dass der Druck Ovalität ausgleicht (großer Durchmesser, geringe Wanddicke), ist der Faktor k zu dividieren durch: $1 + 6 \left(\frac{p_0}{E_c} \right) \left(\frac{r}{e_n} \right)^{7/3} \left(\frac{R}{r} \right)^{1/3}$; dabei ist p_0 der Betriebsdruck und E_c der Elastizitätsmodul bei Raumtemperatur (20 °C).

Anhang I (informativ)

Fertigungsprüfungen von federnden Halterungen und Stoßbremsen

I.1 Konstanthänger/-stützen

Die in der Abnahmeprüfung ermittelten Merkmale von Konstanthänger/-stützen (Halterungen mit konstanter Stützkraft) werden durch ein Kraft-Weg-Diagramm (siehe Bild I.1-1) dargestellt.

Die Schwankungen der senkrechten Druck- und Zugkraft sollten 5 % der Betriebslast (Einstelllast) F_W nicht überschreiten, d. h.:

$$\frac{|F_W - F_{act,d,max}|}{F_W} \leq 0,05 \quad \text{und} \quad \frac{|F_W - F_{act,u,min}|}{F_W} \leq 0,05$$

Dabei ist

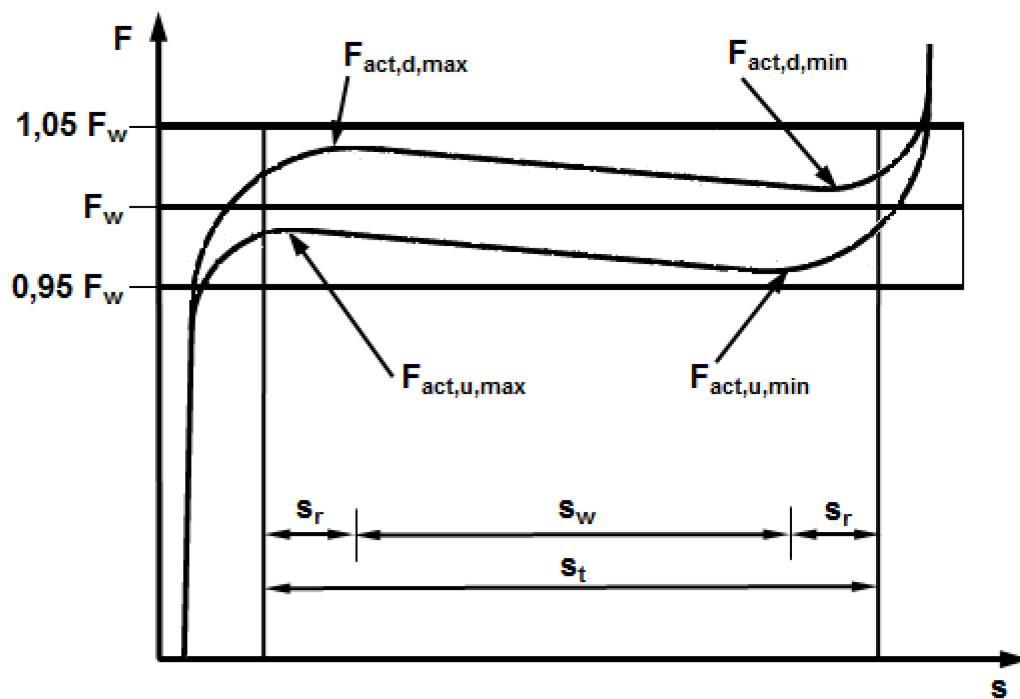
- | | |
|-----------------|--|
| F_{act} | die in der Prüfung durch den Hersteller tatsächlich gemessene Kraft; |
| $F_{act,d,max}$ | die tatsächliche Höchstkraft bei der Abwärtsbewegung (-); |
| $F_{act,d,min}$ | die tatsächliche Mindestkraft bei der Abwärtsbewegung (-); |
| $F_{act,u,max}$ | die tatsächliche Höchstkraft bei der Aufwärtsbewegung (+); |
| $F_{act,u,min}$ | die tatsächliche Mindestkraft bei der Aufwärtsbewegung (+). |

I.2 Federhänger/-stützen

Die in der Abnahmeprüfung ermittelten Merkmale von Federhänger/-stützen (Halterungen mit variabler Stützkraft) werden durch das Kraft-Weg-Diagramm in Bild I.2-1 dargestellt.

I.3 Stoßbremsen

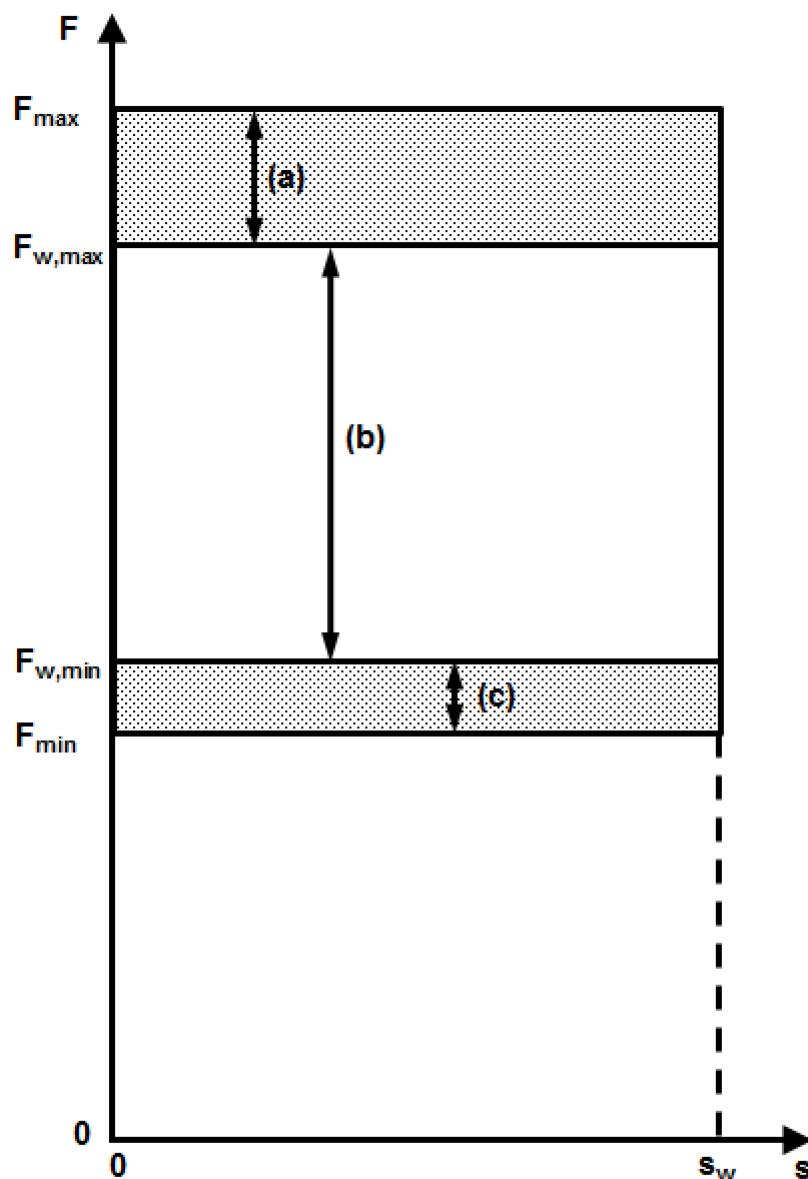
Die in der Abnahmeprüfung ermittelten Merkmale und typische Betriebskennwerte von Stoßbremsen sind in Bild I.3-1 dargestellt.



Legende

F_w	Betriebslast (Einstelllast)
$F_{act,d,max}$	maximale gemessene Last (Abwärtsbewegung) innerhalb des Arbeitswegs s_w
$F_{act,d,min}$	minimale gemessene Last (Abwärtsbewegung) innerhalb des Arbeitswegs s_w
$F_{act,u,max}$	maximale gemessene Last (Aufwärtsbewegung) innerhalb des Arbeitswegs s_w
$F_{act,u,min}$	minimale gemessene Last (Aufwärtsbewegung) innerhalb des Arbeitswegs s_w
s_w	maximaler Arbeitsweg (Blockierposition in diesem Bereich)
s_r	Wegreserve (siehe 13.3.4)
s_t	Gesamtarbeitsweg

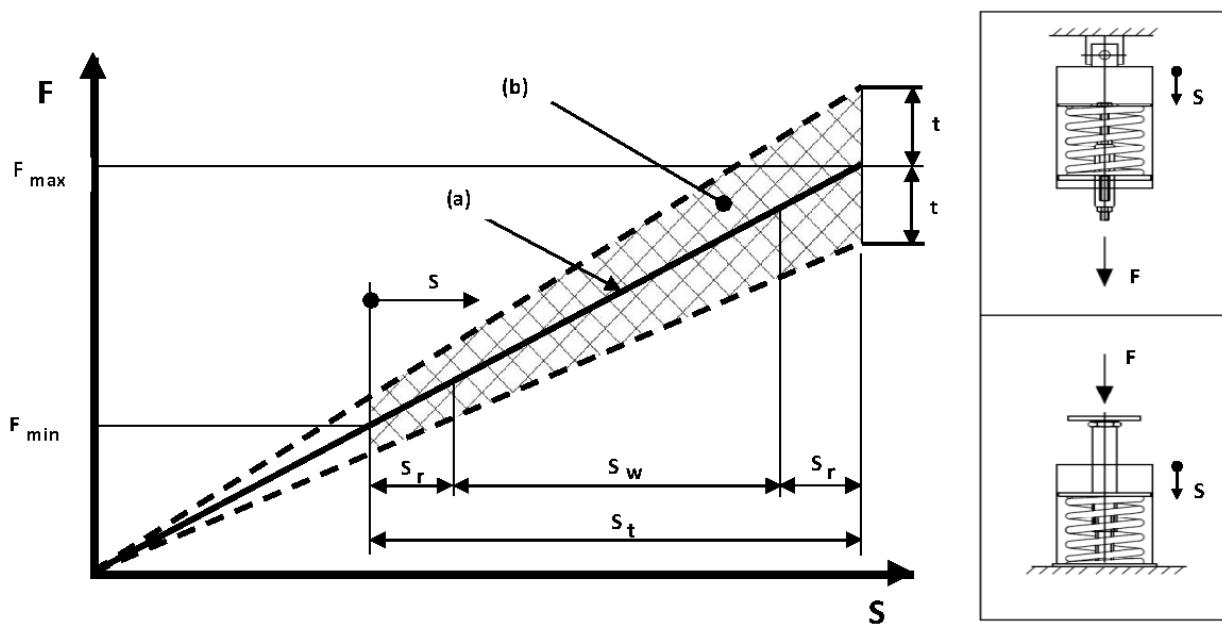
Bild I.1-1 — Kraft-Weg-Diagramm für Konstanthänger / Konstantstützen



Legende

- F_{\max} maximale Hänger-/Stützenlast
- F_{\min} minimale Hänger-/Stützenlast
- $F_{w,\max}$ maximale Arbeitslast (Werkseinstellung)
- $F_{w,\min}$ maximale Arbeitslast (Werkseinstellung)
- s_w maximaler Arbeitsweg
- (a) mindeste nachträgliche Verstellmöglichkeit ($= 0,15 F_{w,\max}$)
- (b) Werkseinstellbereich für die Arbeitslast F_w
- (c) mindeste nachträgliche Verstellmöglichkeit ($= 0,15 F_{w,\min}$)

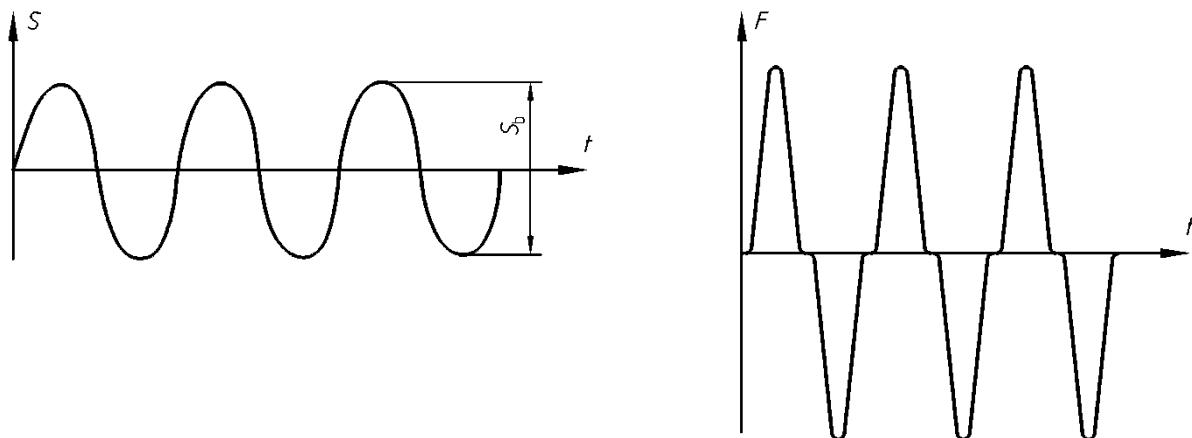
Bild I.1-2 — Verstellbereich für Konstanthänger / Konstantstützen



Legende

- (a) Theoretisches Kraft-Weg-Verhalten
- (b) Toleranzbereich der Federkraft
- F_{\max} maximale Federkraft
- F_{\min} minimale Federkraft
- t Toleranz der Federlast (siehe 13.4.2)
- s_w maximaler Arbeitsweg (Blockierposition muss in diesem Bereich liegen)
- s_r Wegreserve (Nachlauf, siehe 13.3.4)
- s_t Gesamtarbeitsweg

Bild I.2-1 — Kraft-Weg-Diagramm für Federhänger und -stützen



Legende

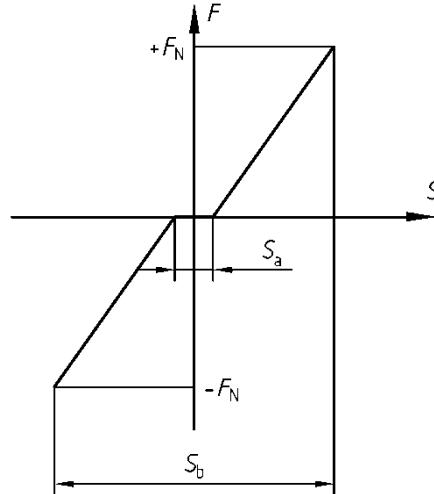
S Bewegung der Kolbenstange
 t Zeit
 S_b Schwingbreite des Kolbenstangenwegs bei Nennkraft

a) Bewegung der Kolbenstange — Zeitkurve

Legende

F Kraft
 T Zeit

b) Kraft — Zeitkurve



Legende

F Kraft
 F_N Nennkraft
 S Bewegung der Kolbenstange
 S_b Schwingbreite des Kolbenstangenwegs bei Nennkraft
 S_a Schwingbreite des Kolbenstangenwegs bei Kraftumkehr (Kolbenstangenspiel)

c) Schematisches Kraft-Weg-Diagramm

Bild I.3-1 — Typische Eigenschaften von Stoßbremsen

Anhang J (normativ)

Baumusterprüfung von Rohrhalterungen/Rohrunterstützungen

J.1 Erfolgt die Prüfung der Rohrhalterungen in Form einer Belastungsprüfung, so müssen die Rohrhalterungen so beschaffen sein, dass ein mindestens gleich hoher Sicherheitsbeiwert gewährleistet ist wie bei der Berechnung. Das betreffende Bauteil ist unter möglichst betriebsnahen Bedingungen zu prüfen. Die Prüfung erfolgt bei Umgebungstemperatur; erhöhten Temperaturen im Betrieb ist durch Multiplikation der Prüflast mit dem Minderungsfaktor $R_{p0,2,t}/R_{p0,2,RT}$ Rechnung zu tragen, wobei RT die Umgebungstemperatur während der Prüfung und t die Auslegungstemperatur des zu prüfenden Rohrhalterungsbauenteils ist. Bei für den Zeitstandbetrieb ausgelegten Bauteilen ist der Minderungsfaktor $S_2/1,25 R_{p0,2,RT}$ zu verwenden.

Bei Bauteilen, die im Betrieb unterschiedliche Temperaturbereiche haben (z.B. Schellen) ist sicherzustellen, dass die realen Spannungsausnutzungen denen im Versuch entsprechen.

J.2 Die Gültigkeit der Baumusterprüfung eines Rohrhalterungsbauenteils erlischt, sobald ein Konstruktions- oder Auslegungsaspekt verändert wird (z. B. Werkstoffspezifikation, Schweißverfahren, Konstruktionsverfahren).

J.3 Die Prüfung sollte an mindestens zwei Prüfmustern in Originalgröße vorgenommen werden. Wird nur ein einzelnes Prüfmuster geprüft, so ist die Nennlast gegenüber dem in der Prüfung abgeleiteten Wert um 10 % zu reduzieren. Besteht eines der Prüfmuster die Prüfung nicht, so darf die Baumusterprüfbescheinigung nicht erteilt werden.

J.4 Die Prüfbedingungen müssen den für den Betrieb vorgesehenen physikalischen Gegebenheiten möglichst genau entsprechen; dies gilt vor allem für die Befestigung von Anbauteilen und die Belastungsrichtung. Treten Belastungen in verschiedenen Richtungen und Größen auf, ist die konservativste Kombination für die Prüfung zu verwenden.

Als zulässige Betriebslast ist die ermittelte kleinste Prüflast zu verwenden, bei der die Bruchgrenze (Bruchlast F_u), Fließgrenze (Fließlast F_y), Knickgrenze (Knicklast F_B) bzw. Stabilitätsgrenze (Stabilitätslast F_S) erreicht wird, wobei für das betreffende Bauteil der nach Tabelle J.4-1 niedrigste Wert zu verwenden ist.

ANMERKUNG Versagen durch Instabilität kann in den verschiedensten Formen wie Knicken, Biegeknicken, Biegedrillknicken, Beulen sowohl elastisch als auch plastisch auftreten.

Die zulässige Belastung für den Lastfall gelegentliche Betriebsbedingungen ist das 1,2 fache der ermittelten Nennlast.

Tabelle J.4-1 — Durch Prüfung ermittelte Nennlast

Typ der Halterung	Zulässige Last auf Grundlage der		
	Bruchlast	Fließlast	Stabilitätslast, Knicklast
Starre Rohrhalterung			
Hängeschellen	$F_u/4,0$ oder $F_u/(2,4K_1)$	$F_y/(1,6K_2)$	$F_s/2,5$
Hänger			
Gelenkstreben			
Stoßbremsen			
Federstreben	$F_u/4,0$ oder $F_u/(2,4K_1)$	$F_y/(1,6K_2)$	$F_B/2,5$
Auf Druck belastete Rohrhalterungen			
Dabei ist $K_1 = \frac{R_{m,\text{Zugprüfung}}}{R_{m,\text{Werkstoffnorm}}}$		$K_2 = \frac{R_{p0,2,\text{Zugprüfung}}}{R_{p0,2,\text{Werkstoffnorm}}}$	

Anhang K
(informativ)

Befestigung von Rohrhalterungen an Tragwerken

K.1 Befestigung von Rohrhalterungen an Betontragwerken

Es gibt verschiedene Verfahren zur Befestigung von Rohrhalterungen an Betonfundamenten. Im Allgemeinen sind eingegossene Halterungen zu bevorzugen; aus diesem Grund ist eine frühe Festlegung von Stützstellen und Lasten erwünscht. Nachstehend sind Beispiele für zulässige Verfahren aufgeführt.

— Ankerplatten:

Ankerplatten sind (geschweißte) Metallkonstruktionen, die bei Bauarbeiten in Beton eingegossen werden. Üblicherweise bestehen sie aus einer Stahlplatte und (meist 4) Verbindungsankern, die im Beton verankert werden.

Ankerplatten werden vorzugsweise dann verwendet, wenn Lasten und Stützstellen bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Vorhabens bekannt sind.

Bei Ankerplatten unter hohen Schubbeanspruchungen sollten Anschlüsse aus Flachstählen oder -profilen vorgesehen werden.

Auslegung, Lieferung und Verankerung von Ankerplatten liegen üblicherweise in der Verantwortung des Bauunternehmers.

— Ankerstäbe:

Ankerstäbe sind Metalleinsätze (gerade Stangen oder Zugstangen), die in entsprechende Bohrungen eingesetzt werden, die entweder vom Bauunternehmer offen gelassen oder kerngebohrt und anschließend mit Kunststoff ausgegossen wurden.

Die Anwendung dieses Verfahrens sollte mit dem Bauunternehmer vereinbart werden.

— Spreizhülsenanker und Spreizdübel:

In Beton eingelassene Spreizhülsenanker und Spreizdübel werden im Allgemeinen zur Befestigung von Rohrhalterungen verwendet, deren Lage bei der Erstellung der Baupläne noch nicht bekannt war.

Die Verwendung von Spreizhülsenankern und Spreizdübeln sollte in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Herstellers erfolgen.

Wenn diese Rohrhalterungsbauteile keinen nennenswerten Schubbeanspruchungen standhalten können, sollte durch Vorspannen sichergestellt werden, dass die Schubkräfte durch Gleitkräfte ausgeglichen werden.

— Ankerschienen:

Ankerschienen werden durch versenkte Dübel auf der Betonoberfläche befestigt. Ankerschienen werden an der Verschalung montiert, bevor der Beton gegossen wird. Die Rohrhalterungen werden mit Spezialschrauben und Muttern an den Ankerschienen befestigt. Zu den verschiedenen Ankerschienen-Typen gehören jeweils spezielle Schrauben und Muttern, die aufgrund ihrer Größe nur für den jeweiligen Ankerschienen-Typ geeignet sind.

K.2 Befestigung an Stahltragwerken

K.2.1 Standardschrauben

Schubbeanspruchungen an Schraubengewinden sind nur zulässig, wenn sie bei der Auslegung berücksichtigt werden.

Muttern sollten in geeigneter Weise gesichert werden.

K.2.2 Hochfest vorgespannte Schrauben (HV-Schrauben)

Hochfest vorgespannte Schrauben sollten so fest angezogen werden, dass die Klemmkraft an den Auflageflächen Schlupf verhindert.

K.2.3 Schweißen

Sämtliche angeschweißten Anbauteile müssen sowohl vom Tragwerkskonstrukteur als auch vom Käufer abgenommen werden. Schweißnähte an zugbeanspruchten Flanschen des Stahltragwerks sind nur mit Zustimmung des Tragwerkkonstrukteurs zulässig.

Anhang L (informativ)

Knicken von stabförmigen Rohrhalterungen

L.1 Allgemeines

Rohrhalterungsbauteile unter Drucklast sollten gegen Knickversagen ausgelegt sein. Bei Bauteilen mit Randbedingungen, die durch die in diesem Anhang angegebenen Formeln nicht erfasst werden können, wird die Anwendung der EN 1993 empfohlen.

L.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Anhangs gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 3.2-1 die in Tabelle L.2-1 angegebenen Symbole.

Tabelle L.2-1 — Zusätzliche Symbole für die Anwendung dieses Anhangs

Symbol	Beschreibung	Einheit
A	Querschnittsfläche	mm ²
$C_{m,y}; C_{m,z}$	Beiwerte für die Biegemomente	—
I	Flächenträgheitsmoment der Querschnittsfläche in Knickrichtung	mm ⁴
K	Von den Endbedingungen abhängiger Beiwert	—
L	Länge des Stabes	mm
L_b	Knicklänge des Stabes	mm
ξ	Längsachse des Stabes	mm
$\psi; \zeta$	starke/schwache Biegeachse des Stabes	mm
λ	Schlankheitsgrad des Stabes in Knickrichtung	—
λ_c	Schlankheitsgrad des Stabes, bei dem elastisches Knicken eintritt	—
ρ	Trägheitsradius der Querschnittsfläche	mm
σ_a	Druckspannung	MPa (N/mm ²)
$\sigma_{a,per}$	Zulässige Druckspannung (siehe 13.3.6)	MPa (N/mm ²)
$\sigma_{b,y}; \sigma_{b,z}$	Biegespannungen	MPa (N/mm ²)
$\sigma_{b,per}$	Zulässige Biegespannung (siehe 13.3.6)	MPa (N/mm ²)
$\sigma_{cr,y}; \sigma_{cr,z}$	Knickspannungen	MPa (N/mm ²)

L.3 Grundlegende Gleichungen

Der Trägheitsradius wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\rho = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{L.3-1})$$

Die Knicklänge des Stabes ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$L_b = KL \quad (\text{L.3-2})$$

Der Schlankheitsgrad des Stabes in Knickrichtung ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$\lambda = \frac{L_b}{\rho} \quad (\text{L.3-3})$$

Der Schlankheitsgrad sollte einen Wert von 200 nicht überschreiten.

L.4 Zulässige Druckspannung

ANMERKUNG In den nachfolgenden Gleichungen (L.4-1) bis (L.5-4) für ferritische (unlegierte und niedriglegierte) Stahlsorten wird R_{eHt} statt $R_{p0,2t}$ verwendet.

Elastisches Knicken beginnt bei Schlankheitsgraden gleich oder größer dem aus der folgenden Gleichung berechneten Wert:

$$\lambda_c = \left(\frac{2\pi^2 E}{R_{p0,2}} \right)^{0,5} \quad (\text{L.4-1})$$

Plastisches oder elastischplastisches Knicken tritt bei Schlankheitsgraden unterhalb dieses Wertes auf.

Die Druckspannung sollte unterhalb der durch die Gleichungen (L.4-2) und (L.4-3) gegebenen Werte für die zulässige Druckspannung liegen und keinesfalls den Wert für die zulässige Spannung f nach 13.3.6-2 überschreiten.

— Für $\lambda \geq \lambda_c$

$$\sigma_{a,per} = \frac{12}{23} \left(\frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \right) \quad (\text{L.4.-2})$$

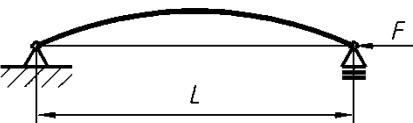
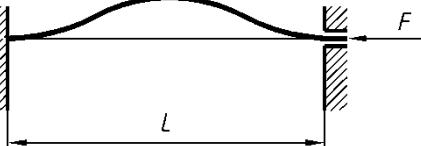
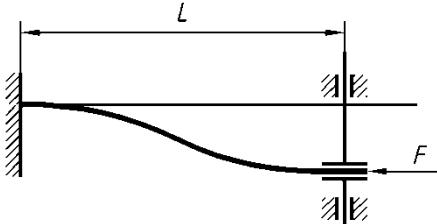
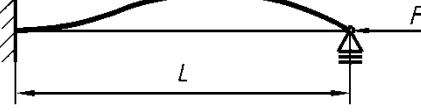
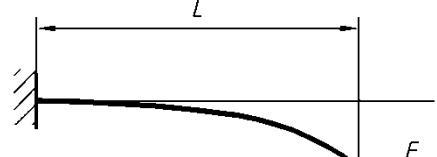
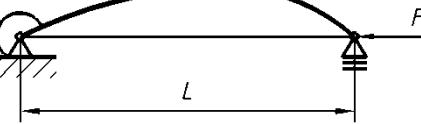
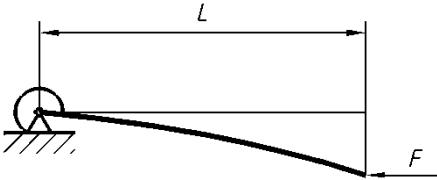
— Für $\lambda < \lambda_c$

$$\sigma_{a,per} = \min \left(f; \frac{R_{p0,2t} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2 \right]}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^3 \right]} \right) \quad (\text{L.4-3})$$

L.5 Knicklänge

Die Knicklänge hängt von den Randbedingungen ab. Tabelle L.5-1 enthält für einige Fälle Werte von K .

Tabelle L.5-1 — Werte von K

Beide Enden gestützt/eingespannt	Ein Ende beweglich
 $K = 1$	
 $K = 0,5$	 $K = 1$
 $K = 0,7$	 $K = 2$
 $0,7 < K < 1$	 $K > 2$

Für Bauteile, die sowohl axialer Druckbeanspruchung als auch Biegemomenten ausgesetzt sind, sollten die Spannungen die folgenden Gleichungen erfüllen:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{a,per}} + \frac{C_{m,y} \sigma_{b,y}}{\left(1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_{cr,y}}\right) \sigma_{b,per}} + \frac{C_{m,z} \sigma_{b,z}}{\left(1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_{cr,z}}\right) \sigma_{b,per}} \leq 1,0 \quad (\text{L.5-1})$$

und

$$\frac{\sigma_a}{f} + \frac{\sigma_{b,y} + \sigma_{b,z}}{\sigma_{b,per}} \leq 1,0 \quad (\text{L.5-2})$$

Für Werte $\sigma_a/\sigma_{a,per} \leq 0,15$ kann die folgende Beziehung verwendet werden:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{a,per}} + \frac{\sigma_{b,y} + \sigma_{b,z}}{\sigma_{b,per}} \leq 1,0 \quad (\text{L.5-3})$$

mit

$$\sigma_{cr,y} = \frac{12}{23} \left(\frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} \right); \quad \sigma_{cr,z} = \frac{12}{23} \left(\frac{\pi^2 E}{\lambda_z^2} \right) \quad (\text{L.5-4})$$

Die Werte der Momentenbeiwerte $C_{m,y}$ und $C_{m,z}$ werden für jede Richtung entsprechend den nachstehenden Vorgaben in a) bis c) bestimmt:

- a) Druckstäbe in (seitlich) verschieblichen Rahmen: $C_m = 0,85$
- b) Druckstäbe in unverschieblichen Rahmen, die als eingespannt angenommen werden können und nicht durch Querlasten belastet werden:
 - $C_m = \max[0,4; 0,6 - 0,4(M1/M2)]$, dabei ist $M1/M2$ das Verhältnis des kleineren zum größeren Stabendmoment (als Absolutwerte) in der nicht versteiften Biegeebene. $M1/M2$ ist positiv wenn die Momente unterschiedliche Vorzeichen haben, negativ bei gleichen Vorzeichen.
- c) Druckstäbe in unverschieblichen Rahmen mit Querbelastung. Der Wert C_m kann durch geeignete Methoden rechnerisch ermittelt werden oder wird angenommen zu:
 - $C_m = 0,85$ bei Stäben mit eingespannten Enden;
 - $C_m = 1,00$ bei gelenkig gelagerten Stäben.

Anhang M
(informativ)

Anleitung für die Auslegung tragender Bauteile

M.1 Stabförmige Bauteile unter Biegebeanspruchung

M.1.1 Allgemeines

Die Stabilität einer Rohrhalterung kann durch eine Stabilitätsanalyse des druckbeanspruchten Gurts nachgewiesen werden, der vom Träger isoliert betrachtet und gleichmäßig durch Druckbiegespannungen beansprucht wird.

Dieser Nachweis ist nicht erforderlich, wenn die Rohrhalterung in Längsrichtung aufgelagert ist und die Stützweite jeweils kleiner ist als $\frac{200 a}{\sqrt{R_{p0,2}}}$ (siehe Bild M.1.1-1).

Mit $R_{p0,2}$ in MPa (oder N/mm²) und a in mm.

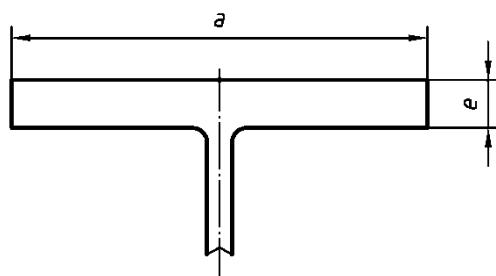


Bild M.1.1-1 — Gurtabmessungen

M.1.2 Ergänzende Nachweise für stabförmige Rohrhalterungen

M.1.2.1 Allgemeines

Diese Regeln gelten für Abschnitte, die bezogen auf die Hauptträgheitsachse symmetrisch angeordnet sind und in Richtung dieser Achse durch Biegung beansprucht werden.

M.1.2.2 Geschweißte Teile

Schweißnähte sollten durchgehend sein.

M.1.2.3 Unversteifte Ränder

Der unversteifte Teil des druckbeanspruchten Gurts sollte die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{b}{e} \leq \frac{170}{\sqrt{R_{p0,2}}} \quad (\text{M.1.2-1})$$

Mit $R_{p0,2}$ in MPa (oder N/mm²).

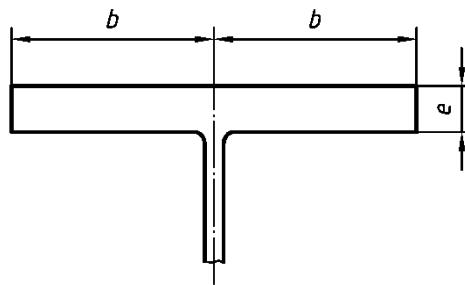


Bild M.1.2-1 — Abmessungen von versteiften Gurten

M.1.2.4 Versteifte Ränder

Der versteifte Teil des druckbeanspruchten Gurts sollte die folgende Bedingungen erfüllen:

$$\frac{b}{e} \leq \frac{500}{\sqrt{R_{p0,2}}} \quad (\text{M.1.2-2})$$

Mit $R_{p0,2}$ in MPa (oder N/mm²)

wobei die Abmessungen b und e in Bild M.1.2-1 angegeben sind.

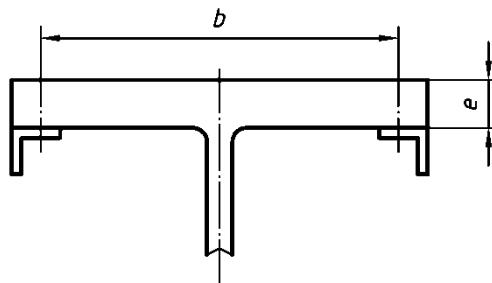


Bild M.1.2-2 — Abmessungen von versteiften Gurten

Die als Versteifungen verwendeten Bauteile müssen den Stabilitätsanforderungen senkrecht zum Gurt entsprechen, an dem die Biegung eintritt. Für diesen Nachweis sollte die Bauteile vom Träger isoliert betrachtet werden. Zur Berechnung des Schlankheitsgrades sollte die Trägheit der Versteifung unter Berücksichtigung der mittragenden Breite des Gurts berechnet werden. Die mittragende Breite darf $\frac{b}{2}$ oder

$$\frac{170e}{\sqrt{R_{p0,2}}} \text{ nicht überschreiten.}$$

Mit $R_{p0,2}$ in MPa (oder N/mm²) und e in mm.

M.1.2.5 Stabilität bei Schubbeanspruchung

Treten Schubbeanspruchungen auf, so wird empfohlen, den Steg durch eine Versteifung zu unterteilen (siehe Bild M.1.2-2).

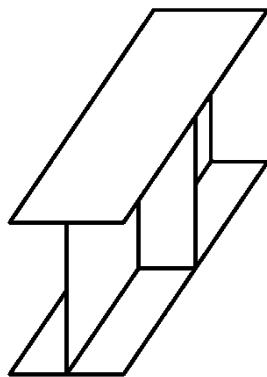


Bild M.1.2-3 — Unterteilung des Stegs

M.2 Stabilität plattenförmiger Rohrhalterungen

Bestimmte plattenförmige Rohrhalterungen können für die Berechnung als stabförmige Rohrhalterungen dargestellt werden, wobei angenommen wird, dass die Belastung vollständig von den Versteifungen getragen wird.

Für diesen Fall sollte die Stabilität der Versteifungen nur senkrecht zur Platte nachgewiesen werden, wobei für Trägheitsberechnungen eine mit den Versteifungen zusammenwirkende mittragende Breite angenommen wird. Diese mittragende Breite sollte das 15fache der Wanddicke nicht überschreiten.

M.3 Ankerplatten und vergleichbare Verankerungsteile

M.3.1 Allgemeines

Ankerplatten, die durch Normalkräfte belastet werden, sollten rechtwinklig zur Normallastebene für mindestens 10 % der Normalbelastung ausgelegt werden.

M.3.2 Auslegung einfacher Ankerplatten

Bei der Auslegung von Ankerplatten sollten die Dehnungen berücksichtigt werden, die entlang der Querschnitt-Berührungslien des Trägers auftreten, der die Rohrlasten auf die Ankerplatte überträgt, siehe Bild M.3.2-1, a-a und b-b. Die außerhalb dieser Linien liegenden Bereiche des Blechs sollten als freitragende Träger berechnet werden, und der Querschnitt der Bleche entlang dieser Linien sollte den durch die Reaktionskräfte verursachten Momenten standhalten.

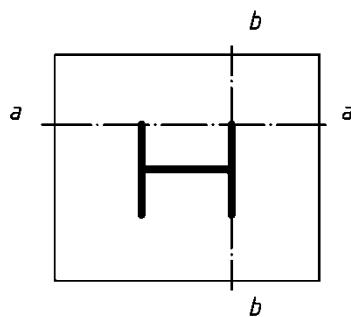


Bild M.3.2-1 — Einfaches Ankerblech

M.3.3 Ankerplatten mit Versteifungen

Wenn es die auftretenden Kräfte erfordern, sollten Versteifungen vorgesehen werden. Die in M.3.2 angegebenen Berechnungen sollten dann entlang der in Bild M.3.3-1 angegebenen Linien a-a, b-b und c-c durchgeführt werden.

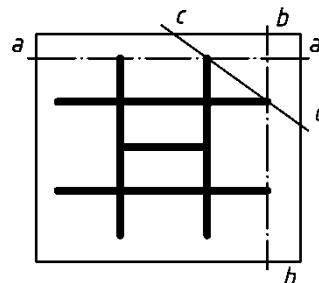


Bild M.3.3-1 — Ankerplatte mit Versteifungen

M.3.4 Lastberechnungen für in Beton eingelassene Verankerungen

Werden Verankerungen in Beton eingelassen, so sollte der Konstrukteur der Rohrhalterungen dem für das Tragwerk zuständigen Bauunternehmer die auf das Tragwerk übertragenen Belastungen und Momente angeben.

Anhang N
(normativ)

Dokumentation von Rohrhalterungen

Der Hersteller muss dem Käufer die Unterlagen zur Verfügung stellen, die für den Nachweis geeignet sind, dass die gelieferten Rohrhalterungen den Anforderungen von Abschnitt 13 entsprechen. Der Umfang der von der Halterungsklasse abhängigen Dokumentation muss der Tabelle N.1 entsprechen oder zwischen den Partnern vereinbart werden.

Tabelle N.1 — Dokumentation von Halterungen

	Dokumente	Klasse der Halterungen		
		S1	S2	S3
Werkstoff	Federn – Abnahmeprüfzeugnis 3.1 (EN 10204:2004)	-	Y	Y
	Federn – Prüfbericht 2.2 (EN 10204:2004)	Y	-	-
	Schweißwerkstoffe – Prüfbericht 2.2 (EN 10204:2004)	Y	Y	Y
	Flacherzeugnisse, Langerzeugnisse, Rohre, Stahlschmiedestücke			
	— Abnahmeprüfzeugnis 3.1 (EN 10204:2004), wenn $t > 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Y	Y	Y
	— Prüfbericht 2.2 (EN 10204:2004), wenn $t \leq 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$	-	Y	Y
	— Bestellungs-Konformitätserklärung 2.1 (EN 10204:2004), wenn $t \leq 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Y	-	-
	Verbindungsbauteile (Schrauben, Muttern, Stiftschrauben usw.)			
	— Abnahmeprüfzeugnis 3.1 (EN 10204:2004), wenn $t > 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$	a	a	Y
	— Kennzeichnung, wenn $t \leq 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$	a	a	a
	Kleine Teile (Unterlegscheiben, Splinte, Stifte usw.) ^b	-	-	-
Konstruktion	Zeichnungen, Pläne oder andere Behelfsmittel (z. B. Kataloge) die den Typ angeben und die Identifizierung jeder Halterung angeben	X	X	X
	Zeichnung jeder Halterung ^c	-	X	X
	Nachweis der Tragfähigkeit durch Berechnung, Versuch oder Verweisung auf baumustergeprüftes Standardhalterungsbauteil	-	Y	Y
Herstellung	Schweißernachweis nach EN 13480-4	-	Y	Y
	Schweißverfahren-Bestätigungsberichte nach EN 13480-4	-	Y	Y
Inspektion	Bericht über Produktionsüberprüfung nach EN 13480-3, Anhang I	-	X	X
Instandhaltung	Instandhaltungsanweisungen, falls notwendig	X	X	X
Bescheinigung	Herstellerkonformitätserklärung nach EN 13480-3, Abschnitt 13.	X	X	X
X = Dokumente müssen vorgewiesen werden.				
Y = Dokumente müssen für Nachprüfung vorhanden sein.				
a Identifizierende Beschriftung auf eingefügten Komponenten.				
b Dokumentation nicht erforderlich.				
c Für baumustergeprüfte Standardhalterungen sind Angaben aus Katalogen oder aus Werksnormen des Herstellers ausreichend.				

Anhang O (normativ)

Alternatives Verfahren für die Prüfung von Abzweigverbindungen

0.1 Anwendungsbereich

Dieser Anhang beschreibt ein Verfahren zur Prüfung von Abzweigverbindungen, die durch Innendruck und Momente beansprucht werden (Bild O.1). Dieses Verfahren darf anstelle des in EN 13480-3, 8.1, festgelegten Verfahrens angewendet werden, wenn äußere Kräfte berücksichtigt werden müssen. Die Festlegungen in diesem Anhang gelten für Temperaturen unterhalb des Zeitstandbereiches sowie für die folgenden Abzweigverbindungen:

- Anschlüsse von Zylindern mit sich schneidenden Achsen;
- Verhältnis zwischen dem Durchmesser Abzweigrohr/Hauptrohr innerhalb des Bereiches 0,1 bis einschließlich 1;
- Verhältnis zwischen der Wanddicke Abzweigrohr/Hauptrohr innerhalb des Bereiches 0,2 bis einschließlich 1,5;
- Verhältnis zwischen dem mittleren Durchmesser Hauptrohr/Wanddicke Hauptrohr innerhalb des Bereiches 10 bis einschließlich 125;
- Verstärktes Abzweigrohr oder mit voll umschließender Verstärkungsscheibe auf dem Hauptrohr (Breite = $d_m/2$);
- Winkel ϕ_b zwischen der Abzweigrohrachse und der Hauptrohrachse innerhalb des Bereiches 45° bis einschließlich 90° ;
- maximale Dicke des Verstärkungssattels = $1,5 \times$ Nenndicke.

ANMERKUNG 1 Die in diesem Anhang enthaltenen Ausführungen behandeln unter Berücksichtigung der am Abzweig möglicherweise auftretenden Wanddickenverminderung keine geschmiedeten T-Stücke (z. B. warmgezogene T-Stücke).

ANMERKUNG 2 Für austenitische nichtrostende Stähle mit $A \geq 30\%$ kann $R_{p0,2t}$ in den Gleichungen (O.3.1-1), (O.3.1-2), (O.3.3-1) bis (O.3.3-4) durch $R_{p0,1t}$ ersetzt werden.

0.2 Symbole

Für die Anwendung von Anhang O gelten zusätzlich zu den Symbolen in Tabelle 8.2-1 und Tabelle 3.2-1 die nachstehend angegebenen Symbole.

D_m	mittlerer Durchmesser des Hauptrohres
d_m	mittlerer Durchmesser des Abzweigrohres
e_s	ermittelte Wanddicke des Hauptrohres
e_b	ermittelte Wanddicke des Abzweigrohres

φ_b	Winkel zwischen der Abzweigrohrachse und der Hauptrohrachse ($\varphi_b = 90^\circ - \varphi$)
p_c	Innendruck
pln_s	Grenzdruck für das Hauptrohr bei fehlendem Abzweigrohr
pln_b	Grenzdruck des einzelnen Abzweigrohres
p_{\max}	maximal zulässiger Innendruck bei Einzelbeanspruchung
Mfp_s	am Hauptrohr wirkendes Gesamtbiegemoment, das eine Biegung in der Ebene des Hauptrohres und Abzweigrohres bewirkt
Mfp_b	am Abzweigrohr wirkendes Gesamtbiegemoment, das eine Biegung in der Ebene des Hauptrohres und Abzweigrohres bewirkt
Mfh_s	am Hauptrohr wirkendes Gesamtbiegemoment, das eine Biegung außerhalb der Ebene des Hauptrohres und Abzweigrohres bewirkt
Mfh_b	am Abzweigrohr wirkendes Gesamtbiegemoment, das eine Biegung außerhalb der Ebene des Hauptrohres und Abzweigrohres bewirkt
Mt_s	am Hauptrohr wirkendes Torsionsmoment
Mt_b	am Abzweigrohr wirkendes Torsionsmoment
$Mfln_s$	zulässiges Biegemoment für das Hauptrohr bei fehlendem Abzweigrohr. Dies ist die zulässige Nenn-Biegebeanspruchung entsprechend Mfp_s und Mfh_s
$Mfln_b$	zulässiges Biegemoment des einzelnen Abzweigrohres. Dies ist die zulässige Nenn-Biegebeanspruchung entsprechend Mfp_s und Mfh_s
$Mtln_b$	zulässiges Torsionsmoment des einzelnen Abzweigrohres
$Mflp_s$	zulässiges Moment des mit einem Abzweigrohr versehenen Hauptrohres, entsprechend der Beanspruchung Mfp_s
$Mflh_s$	zulässiges Moment des mit einem Abzweigrohr versehenen Hauptrohres, entsprechend der Beanspruchung Mfh_s
$Mflh_b$	zulässiges Moment der Abzweigleitung in der Abzweigverbindung, entsprechend der Beanspruchung Mfp_b
$Mflp_b$	zulässiges Moment der Abzweigleitung in der Abzweigverbindung, entsprechend der Beanspruchung Mfh_b
Mtl_s	zulässiges Moment des mit einem Abzweigrohr versehenen Hauptrohres, entsprechend der Beanspruchung Mt_s
Mtl_b	zulässiges Moment der Abzweigleitung in der Abzweigverbindung, entsprechend der Beanspruchung Mt_b

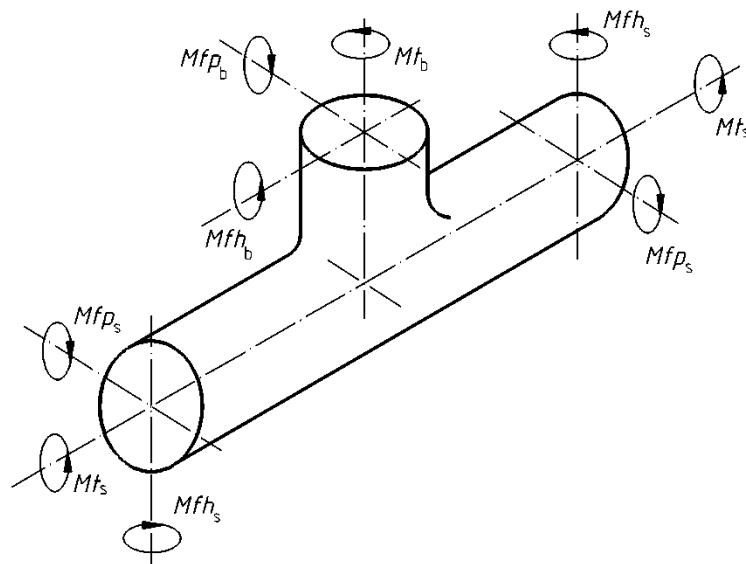
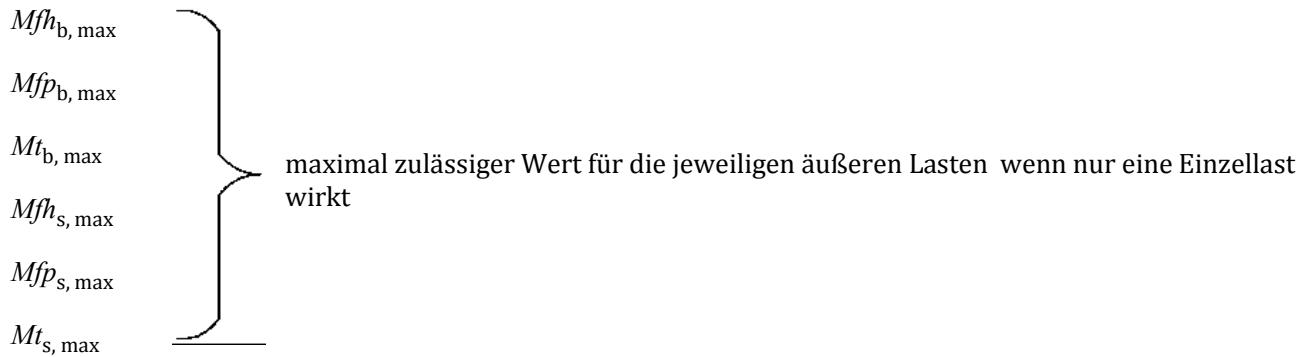


Bild 0.1-1 — Momente

0.3 Konstruktion und Prüfung der Abzweigverbindung

0.3.1 Zulässiger Wert für die Belastung ausschließlich durch Druck, für gerade Rohre ohne Ausschnitt

$$pln_s = \frac{2}{\sqrt{3}} R_p \cdot 0,2 t \ln \left(\frac{D_m + e_s}{D_m - e_s} \right) \quad (0.3.1-1)$$

$$pln_b = \frac{2}{\sqrt{3}} R_p \cdot 0,2 t \ln \left(\frac{d_m + e_b}{d_m - e_b} \right) \quad (0.3.1-2)$$

0.3.2 Ermittlung der Mindestwanddicken bei ausschließlich durch Druck verursachten Beanspruchungen

- a) Verschwächungsbeiwert für ausschließlich durch Druck verursachte Beanspruchungen.

Anhand der Schaubilder 0.3.2-1 bis 0.3.2-6 und Tabelle 0.3.2-1 kann der Verschwächungsbeiwert c in Abhängigkeit von e_b/e_s , d_m/D_m und D_m/e_s ermittelt werden.

- b) Mindestwanddicken des Hauptröhres und der Abzweigleitung.

Die Mindestwanddicken des Hauptröhres und der Abzweigleitung sind aus den folgenden Gleichungen zu ermitteln:

$$e_s = \frac{1}{c} \frac{p_c D_i}{2 f z - p_c} (\sin \varphi_b)^{-\left(\frac{3}{2}\right)} \quad (0.3.2-1)$$

$$e_s = \frac{1}{c} \frac{p_c D_m}{2 f z} (\sin \varphi_b)^{-\left(\frac{3}{2}\right)} \quad (0.3.2-2)$$

$$e_s = \frac{1}{c} \frac{p_c D_e}{2 f z + p_c} (\sin \varphi_b)^{-\left(\frac{3}{2}\right)} \quad (0.3.2-3)$$

$$e_b = \frac{1}{c} \frac{p_c d_i}{2 f z - p_c} (\sin \varphi_b)^{-\left(\frac{3}{2}\right)} \quad (0.3.2-4)$$

$$e_b = \frac{1}{c} \frac{p_c d_m}{2 f z} (\sin \varphi_b)^{-\left(\frac{3}{2}\right)} \quad (0.3.2-5)$$

$$e_b = \frac{1}{c} \frac{p_c d_e}{2 f z + p_c} (\sin \varphi_b)^{-\left(\frac{3}{2}\right)} \quad (0.3.2-6)$$

0.3.3 Prüfung der für die Kombination aus Druckbelastung und Beanspruchungen durch äußere Lasten gewählten Wanddicken

- a) Zulässige Werte für die verschiedenen, einzeln aufgebrachten äußeren Lasten.

Die zulässigen Werte für die verschiedenen, einzeln aufgebrachten äußeren Lasten ergeben sich aus den folgenden Gleichungen:

$$Mfln_s = R_{p, 0,2t} \frac{(D_m + e_s)^3}{6} \left(1 - \left(1 - \frac{2 e_s}{D_m + e_s} \right)^3 \right) \quad (0.3.3-1)$$

$$Mfln_b = R_{p, 0,2t} \frac{(d_m + e_b)^3}{6} \left(1 - \left(1 - \frac{2 e_b}{d_m + e_b} \right)^3 \right) \quad (0.3.3-2)$$

$$Mtl n_s = \frac{2}{\sqrt{3}} R_p \ 0,2 t \left(\frac{\pi D_m^2}{4} \right) e_s \quad (0.3.3-3)$$

$$Mtl n_b = \frac{2}{\sqrt{3}} R_p \ 0,2 t \left(\frac{\pi d_m^2}{4} \right) e_b \quad (0.3.3-4)$$

b) Verschwächungsbeiwerte für die verschiedenen, einzeln aufgebrachten äußeren Lasten.

Anhand der Schaubilder 0.3.2-7 bis 0.3.2-42 und Tabelle 0.3.2-2 können die Verschwächungsbeiwerte in Abhängigkeit von e_b/e_s , d_m/D_m und D_m/e_s ermittelt werden.

$$cfh_b = \frac{Mflh_b}{Mfln_b} \quad (0.3.3-5)$$

$$cfp_b = \frac{Mflp_b}{Mfln_b} \quad (0.3.3-6)$$

$$ct_b = \frac{Mtl_b}{Mtl n_b} \quad (0.3.3-7)$$

$$cfh_s = \frac{Mflh_s}{Mfln_s} \quad (0.3.3-8)$$

$$cfp_s = \frac{Mflp_s}{Mfln_s} \quad (0.3.3-9)$$

$$ct_s = \frac{Mtl_s}{Mtl n_s} \quad (0.3.3-10)$$

c) Maximal zulässige Lasten bei Einzelbeanspruchung.

$$Mfh_{b,\max} = 0,5 Mflh_b \quad (0.3.3-11)$$

$$Mfp_{b,\max} = 0,5 Mflp_b \quad (0.3.3-12)$$

$$Mt_{b,\max} = 0,5 Mtl_b \quad (0.3.3-13)$$

$$Mfh_{s,\max} = 0,5 Mflh_s \quad (0.3.3-14)$$

$$Mfp_{s,\max} = 0,5 Mflp_s \quad (0.3.3-15)$$

$$Mt_{s,\max} = 0,5 Mtl_s \quad (0.3.3-16)$$

$$p_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{MIN}[z \ \text{MIN}(pln_s ; pln_b) ; c \ \text{MIN}(pln_s ; pln_b)(\sin \varphi_b)^{\frac{3}{2}}] \quad (0.3.3-17)$$

d) Prüfung der Zulässigkeit der aufgebrachten Lasten.

$$\frac{Mfh_b}{Mfh_{b,\max}} \leq 1 \quad (0.3.3-18)$$

$$\frac{Mfp_b}{Mfp_{b,\max}} \leq 1 \quad (0.3.3-19)$$

$$\frac{Mt_b}{Mt_{b,\max}} \leq 1 \quad (0.3.3-20)$$

$$\frac{Mfh_s}{Mfh_{s,\max}} \leq 1 \quad (0.3.3-21)$$

$$\frac{Mfp_s}{Mfp_{s,\max}} \leq 1 \quad (0.3.3-22)$$

$$\frac{Mt_s}{Mt_{s,\max}} \leq 1 \quad (0.3.3-23)$$

$$\frac{p_c}{p_{\max}} \leq 1 \quad (0.3.3-24)$$

$$\sqrt{\left(\frac{Mfh_b}{Mfh_{b,\max}}\right)^2 + \left(\frac{Mfp_b}{Mfp_{b,\max}}\right)^2 + \left(\frac{Mt_b}{Mt_{b,\max}}\right)^2 + \left(\frac{Mfh_s}{Mfh_{s,\max}}\right)^2 + \left(\frac{Mfp_s}{Mfp_{s,\max}}\right)^2 + \left(\frac{Mt_s}{Mt_{s,\max}}\right)^2 + \left(\frac{p_c}{p_{\max}}\right)^2} \leq 1 \quad (0.3.3-25)$$

Falls diese Bedingungen nicht eingehalten werden, müssen die Maße geändert und die Berechnungen wiederholt werden.

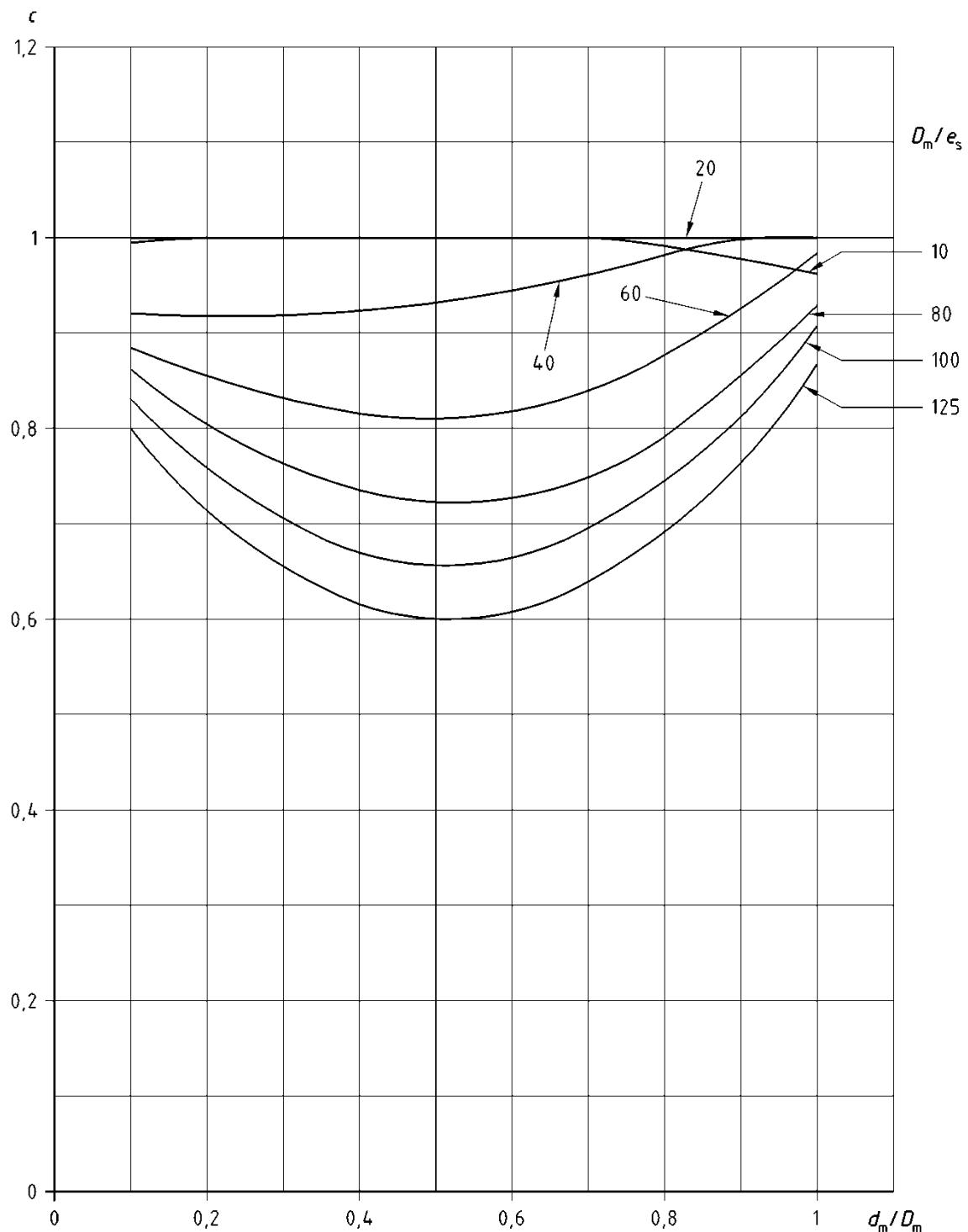


Bild 0.3.2-1 — Verschwächungsbeiwert c für $e_b/e_s = 0,2$

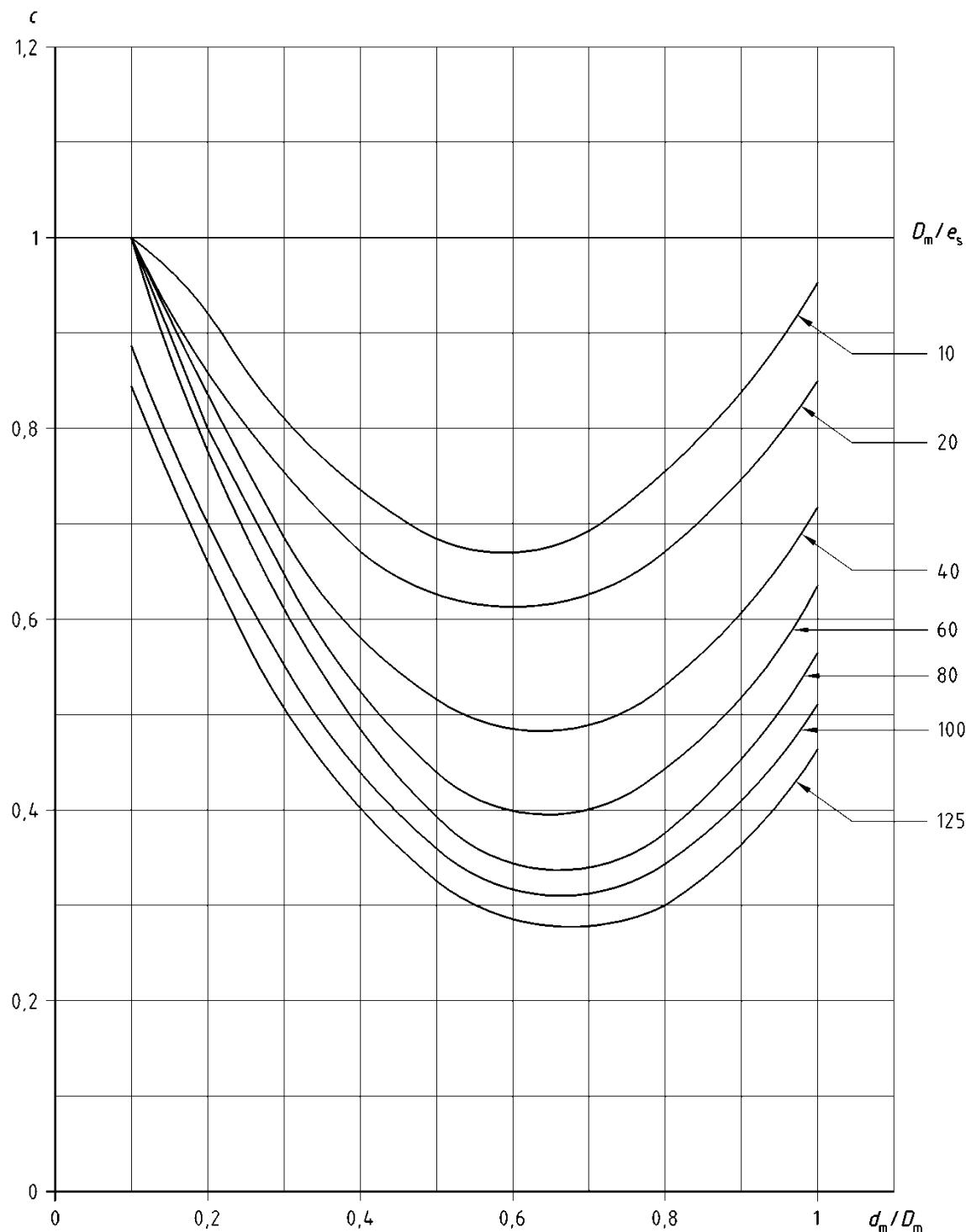


Bild O.3.2-2 — Verschwächungsbeiwert c für $e_b/e_s = 0,5$

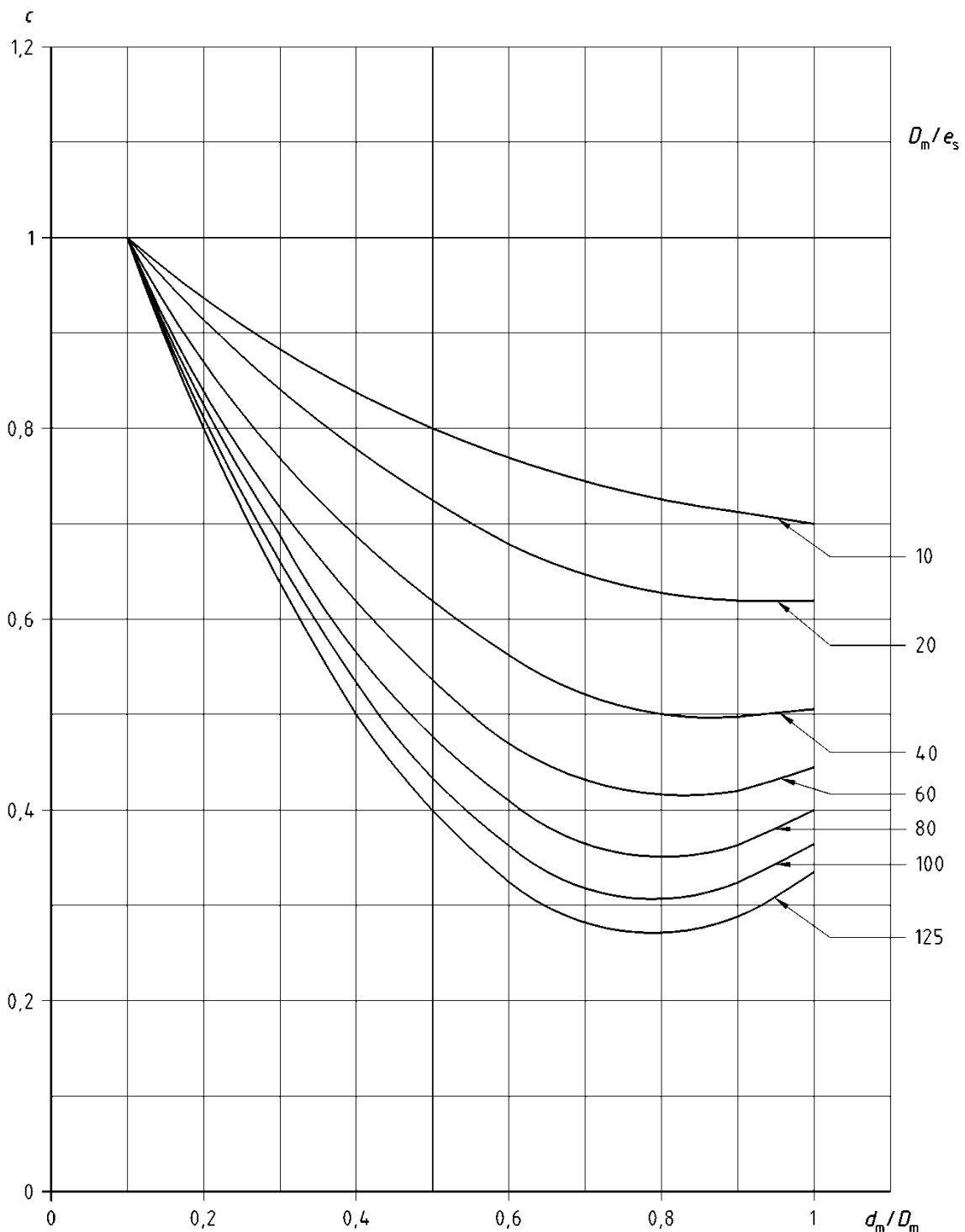


Bild O.3.2-3 — Verschwächungsbeiwert c für $e_b/e_s = 0,8$

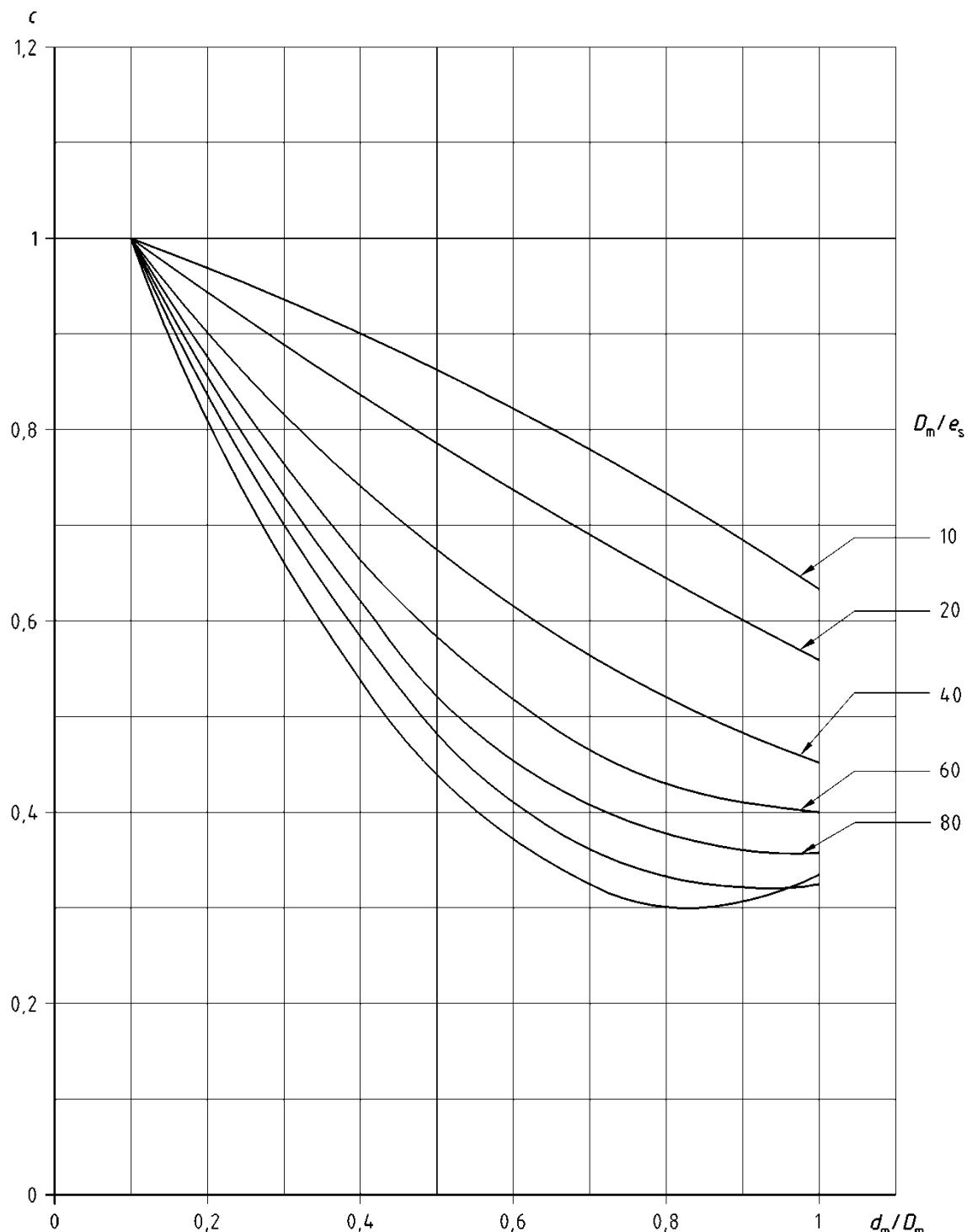


Bild O.3.2-4 — Verschwächungsbeiwert c für $e_b/e_s = 1,0$

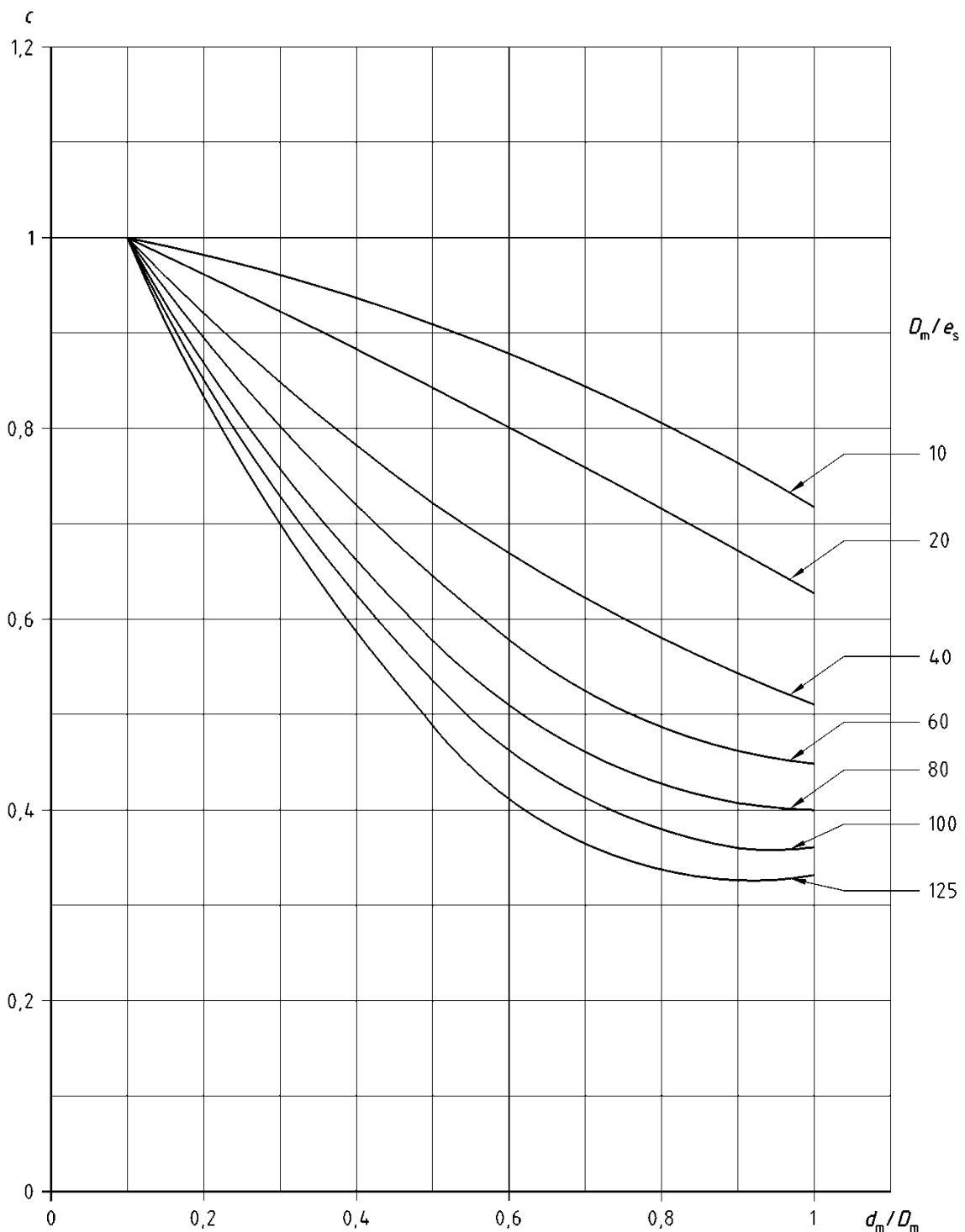


Bild 0.3.2-5 — Verschwächungsbeiwert c für $e_b/e_s = 1,2$

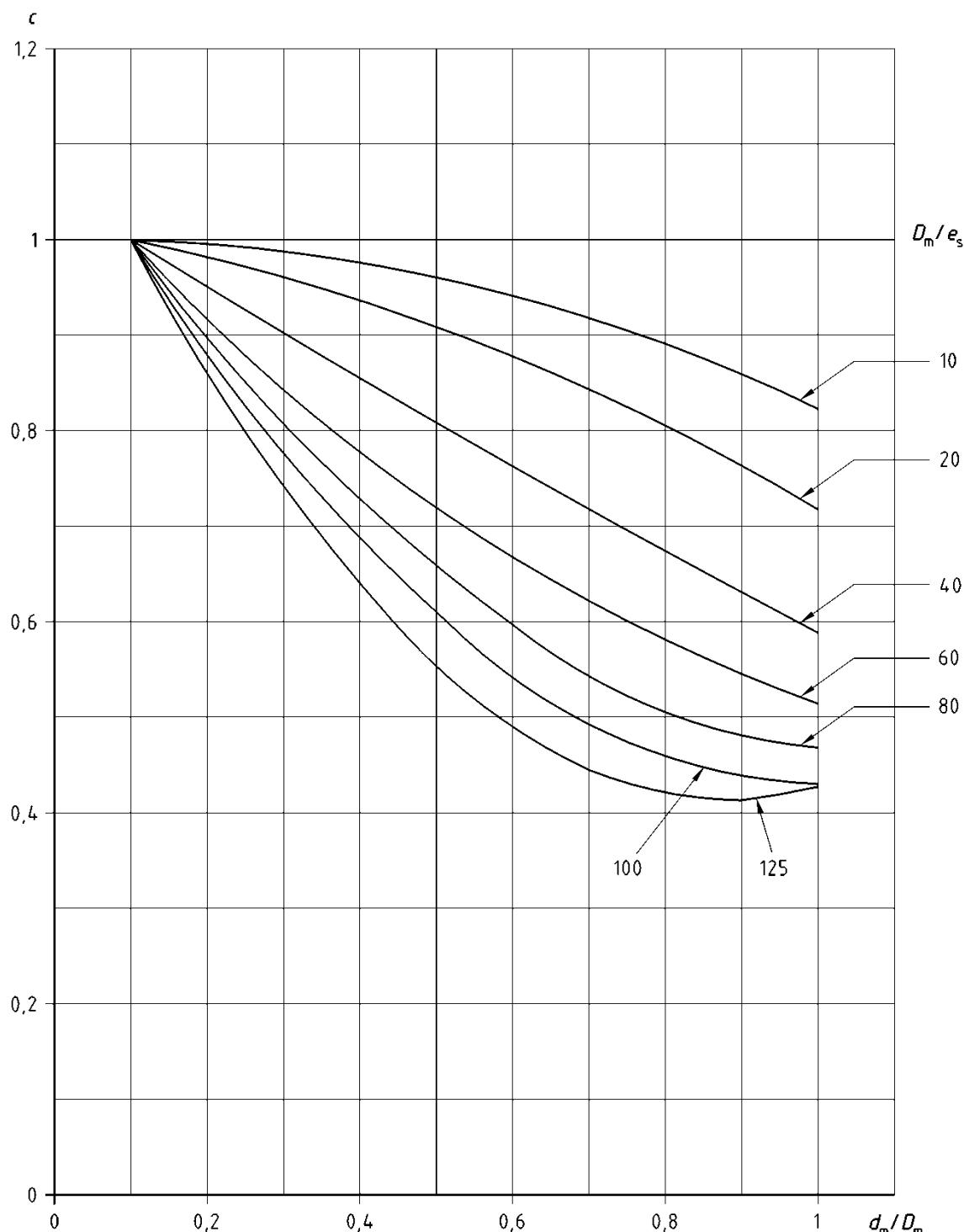


Bild O.3.2-6 — Verschwächungsbeiwert c für $e_b/e_s = 1,5$

**Tabelle O.3.2-1 — Koeffizienten für die Polynominalgleichungen zur Darstellung der Kurven
in den Bildern O.3.2-1 bis O.3.2-6**

	D_m/e_s	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Bild O.3.2-1 Koeffizient <i>c</i> für $e_b/e_s = 0,2$	10	- 0,070 9	- 0,042 9	1,071 3
	20	- 0,100 5	0,133 8	0,984 5
	40	0,133 9	- 0,031 8	0,922 1
	60	0,596 7	- 0,546 7	0,937 1
	80	0,809 4	- 0,829 2	0,938 0
	100	1,021 4	- 1,044 1	0,928 7
	125	1,132 4	- 1,171 5	0,905 0
Bild O.3.2-2 Koeffizient <i>c</i> für $e_b/e_s = 0,5$	10	1,666 4	- 1,954 9	1,247 3
	20	1,568 6	- 1,878 5	1,170 8
	40	1,780 2	- 2,268 4	1,206 7
	60	1,956 2	- 2,562 5	1,233 8
	80	2,056 5	- 2,741 3	1,249 5
	100	1,801 4	- 2,401 0	1,108 6
	125	1,769 4	- 2,383 9	1,075 9
Bild O.3.2-3 Koeffizient <i>c</i> für $e_b/e_s = 0,8$	10	0,337 6	- 0,703 6	1,068 0
	20	0,509 6	- 0,983 8	1,093 1
	40	0,834 7	- 1,464 0	1,136 8
	60	1,110 2	- 1,838 0	1,170 9
	80	1,290 5	- 2,084 2	1,193 4
	100	1,418 2	- 2,259 9	1,209 3
	125	1,538 6	- 2,423 9	1,224 2
Bild O.3.2-4 Koeffizient <i>c</i> für $e_b/e_s = 1,0$	10	- 0,106 0	- 0,285 0	1,030 5
	20	0,072 1	- 0,571 1	1,056 6
	40	0,430 3	- 1,075 2	1,102 6
	60	0,736 0	- 1,474 7	1,138 9
	80	0,944 3	- 1,746 1	1,163 6
	100	1,098 2	- 1,946 6	1,181 8
	125	1,309 9	- 2,173 8	1,202 1
Bild O.3.2-5 Koeffizient <i>c</i> für $e_b/e_s = 1,2$	10	- 0,165 4	- 0,135 2	1,015 8
	20	- 0,039 1	- 0,375 5	1,038 4
	40	0,260 8	- 0,832 3	1,080 4
	60	0,553 2	- 1,226 2	1,116 4
	80	0,766 5	- 1,509 3	1,142 2
	100	0,925 8	- 1,719 8	1,161 4
	125	1,079 7	- 1,920 8	1,179 7
Bild O.3.2-6 Koeffizient <i>c</i> für $e_b/e_s = 1,5$	10	- 0,242 4	0,063 9	0,995 9
	20	- 0,182 4	- 0,113 8	1,013 8
	40	0,045 2	- 0,508 7	1,050 7
	60	0,310 1	- 0,882 4	1,085 1
	80	0,516 5	- 1,166 8	1,111 1
	100	0,679 4	- 1,388 1	1,131 4
	125	0,913 6	- 1,647 9	1,154 8
ANMERKUNG Die Kurven in den Diagrammen O.3.2-1 bis O.3.2-6 können durch die folgende Polynominalgleichung dargestellt werden:				
$c = \min [(Ax^2 + Bx + C); 1]$ (T.O.3.2-1.1)				
Dabei ist				
$x = d_m/D_m$				
Die Koeffizienten A, B und C sind für jede Kurve des jeweiligen Schaubildes in Abhängigkeit von dem Verhältnis D_m/e_s angegeben.				

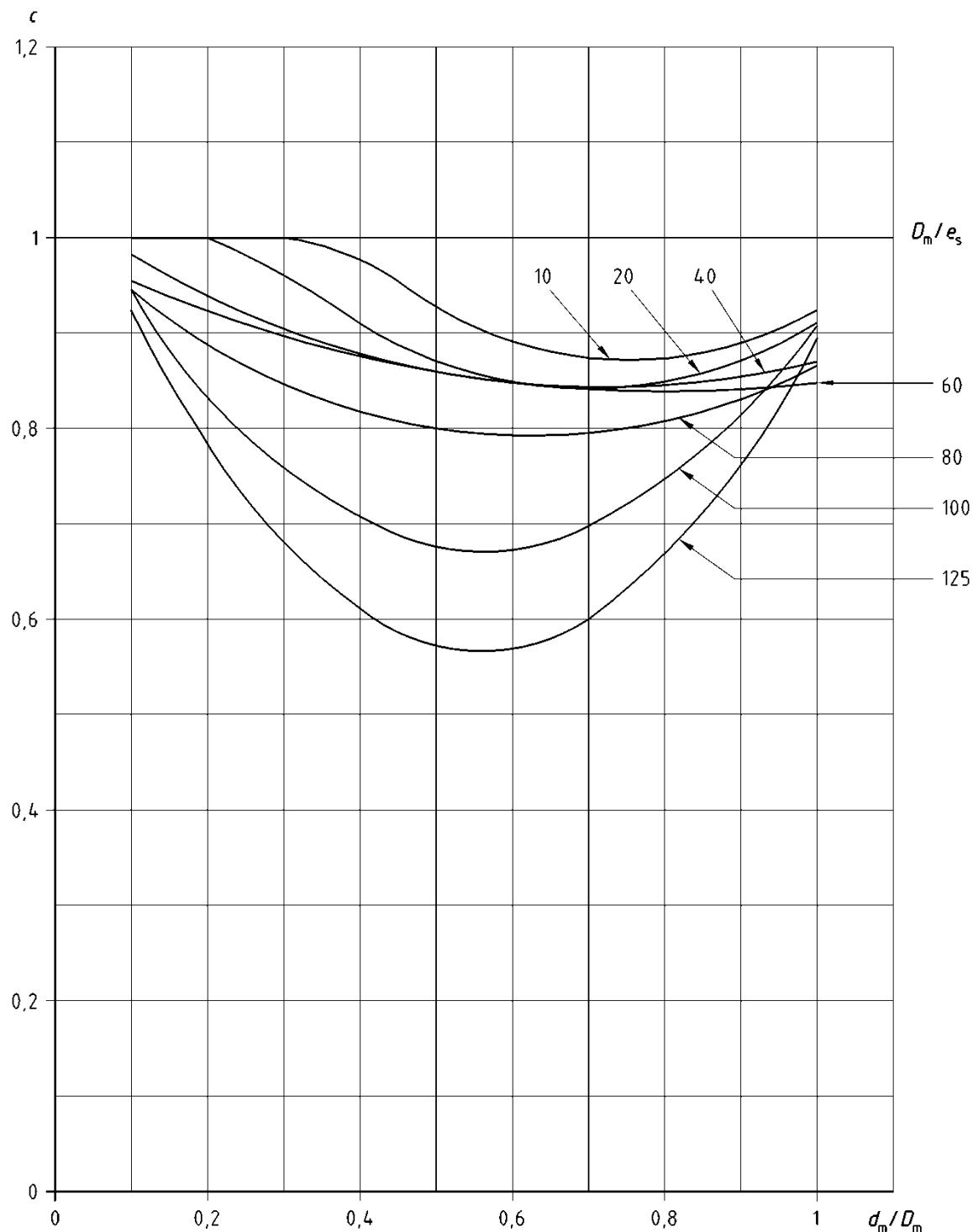


Bild O.3.2-7 — Koeffizient $c f h_b$ für $e_b/e_s = 0,2$

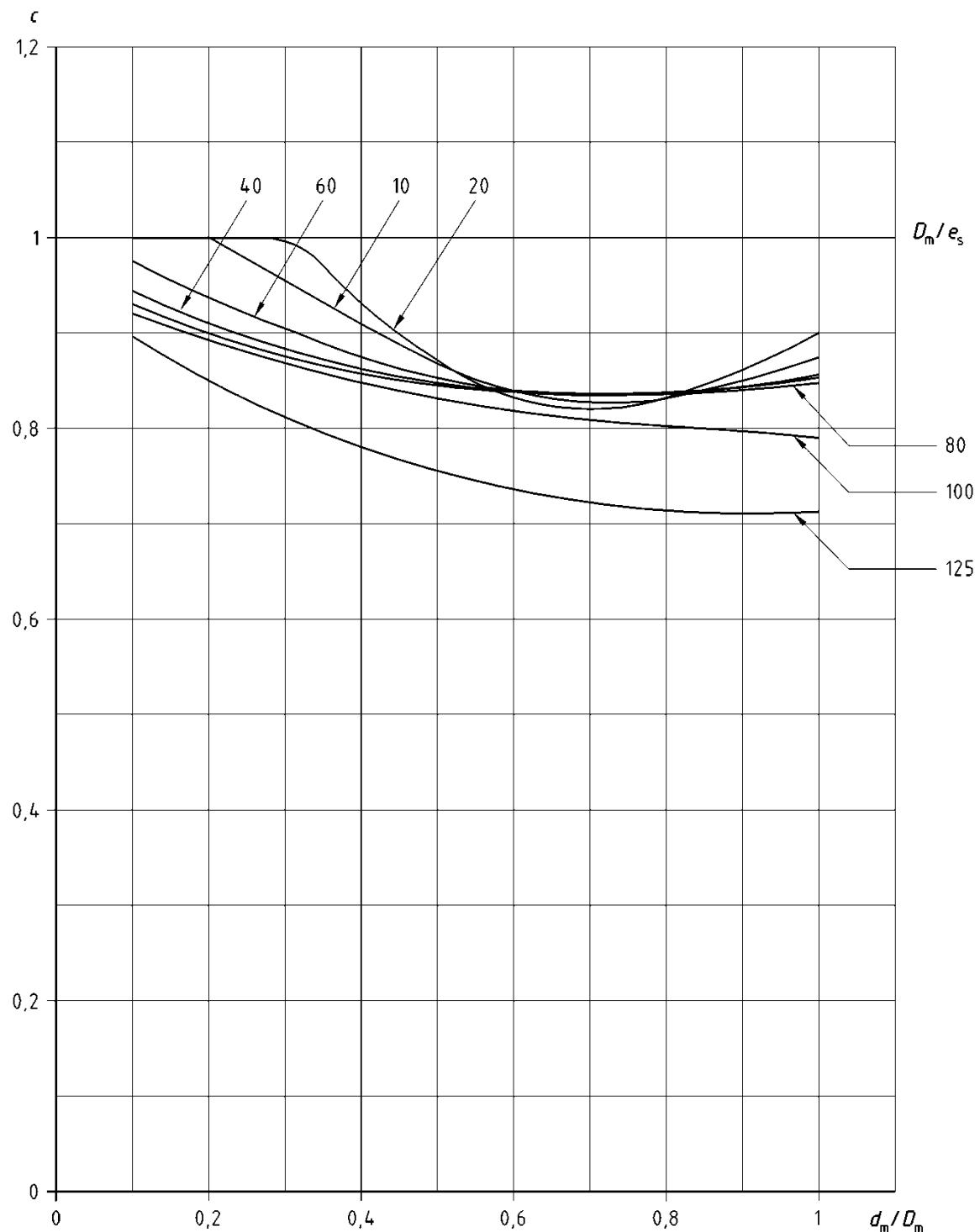


Bild O.3.2-8 — Koeffizient c_{fp_b} für $e_b/e_s = 0,2$

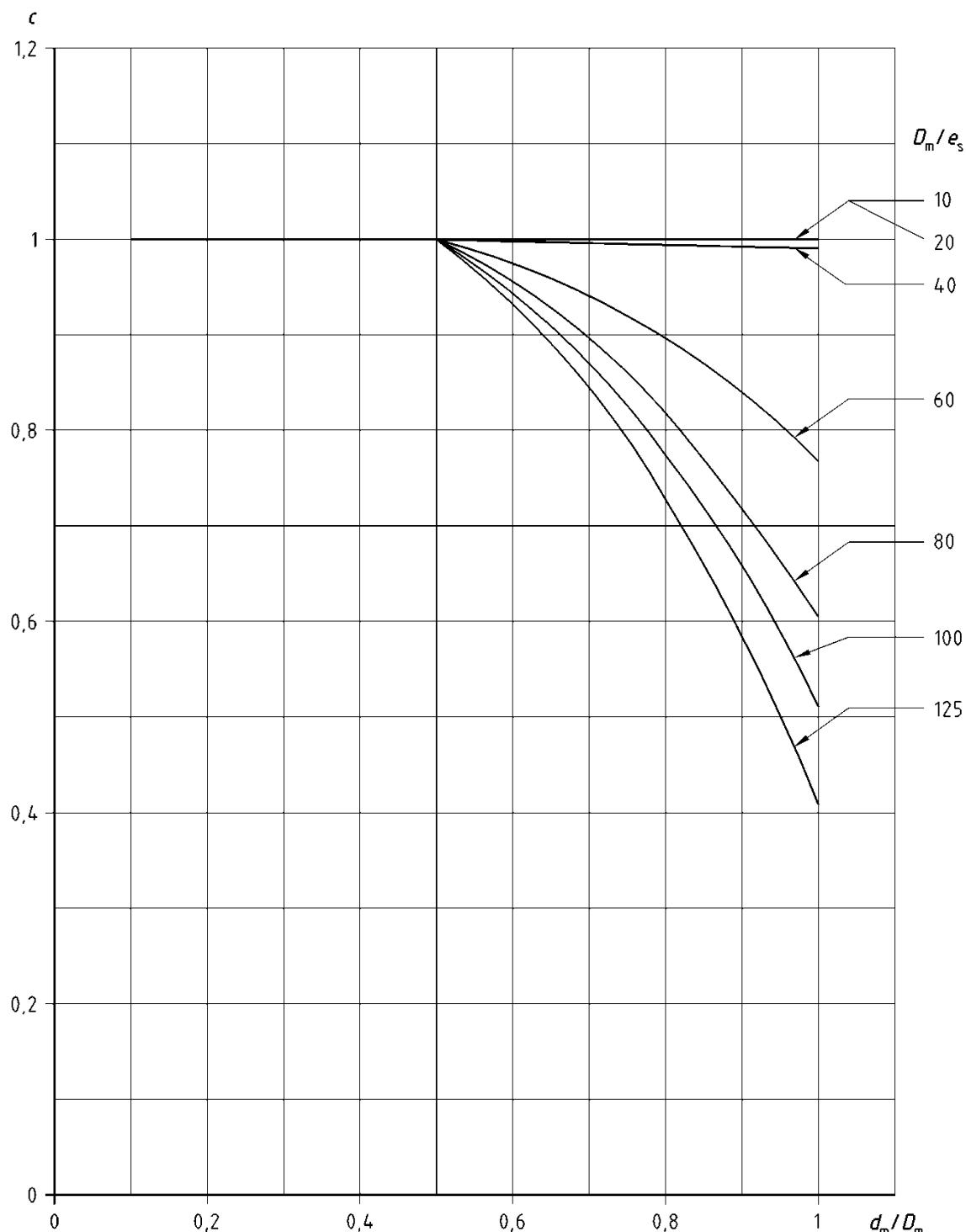


Bild O.3.2-9 — Koeffizient c_{t_b} für $e_b/e_s = 0,2$

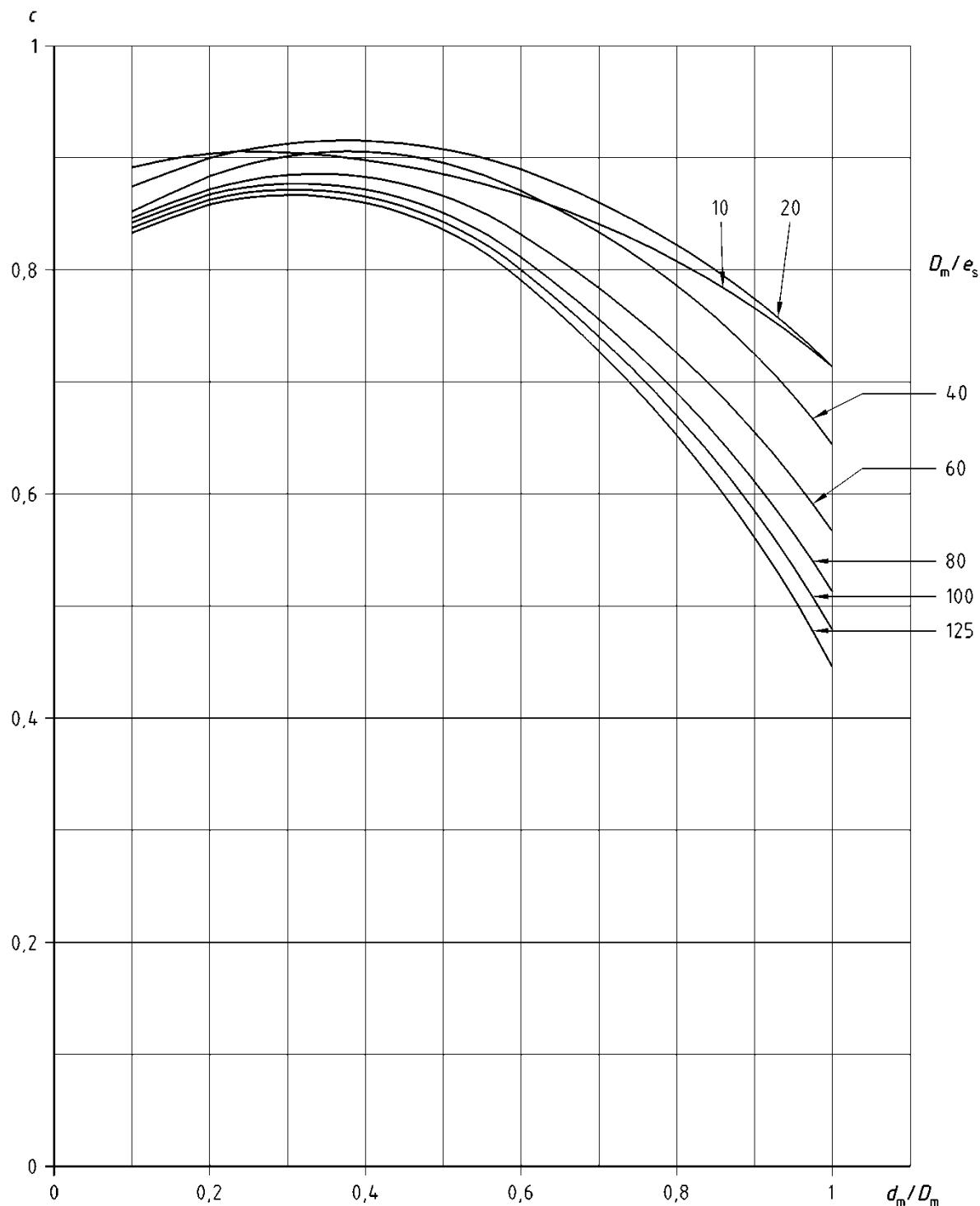


Bild O.3.2-10 — Koeffizient $c f h_s$ für $e_b/e_s = 0,2$

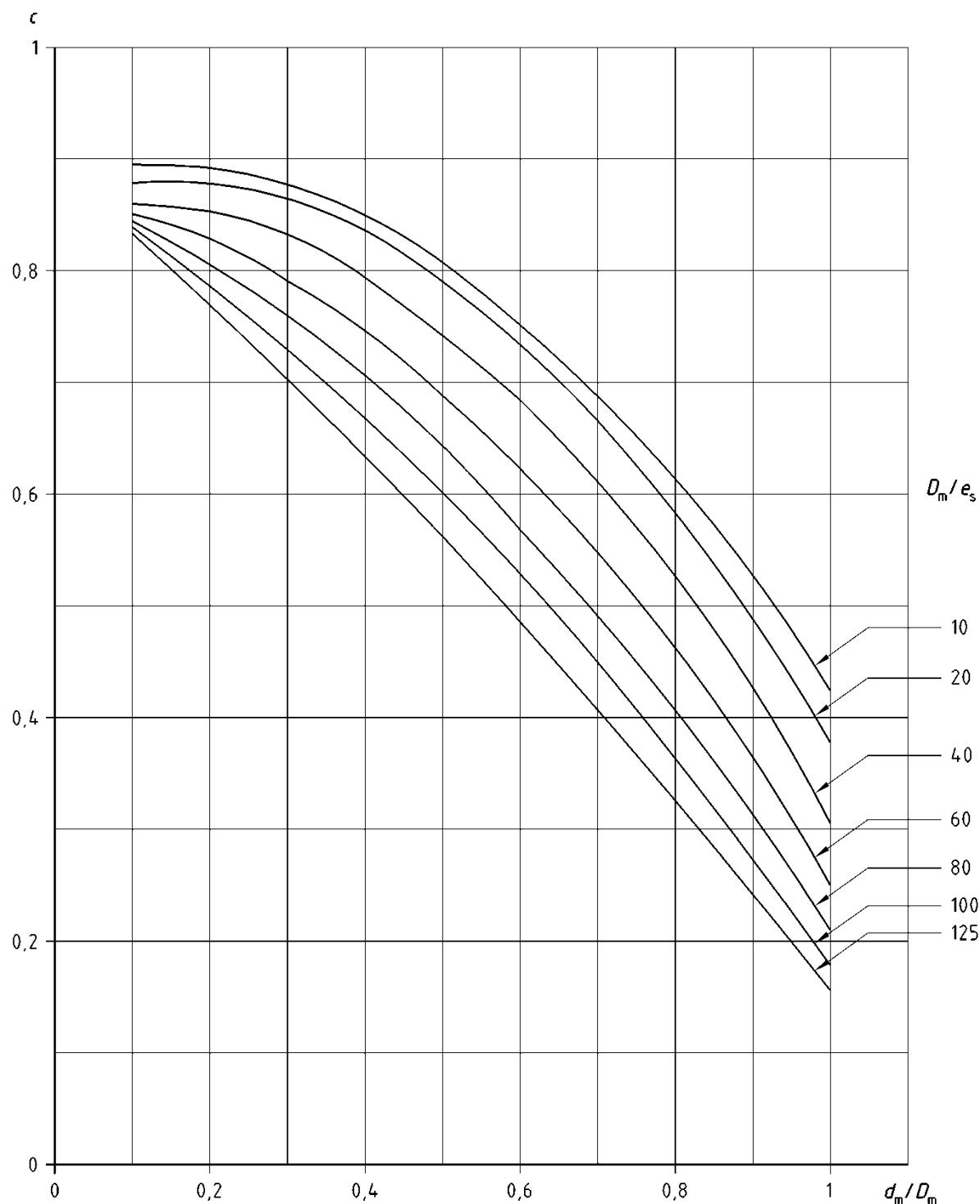


Bild O.3.2-11 — Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 0,2$

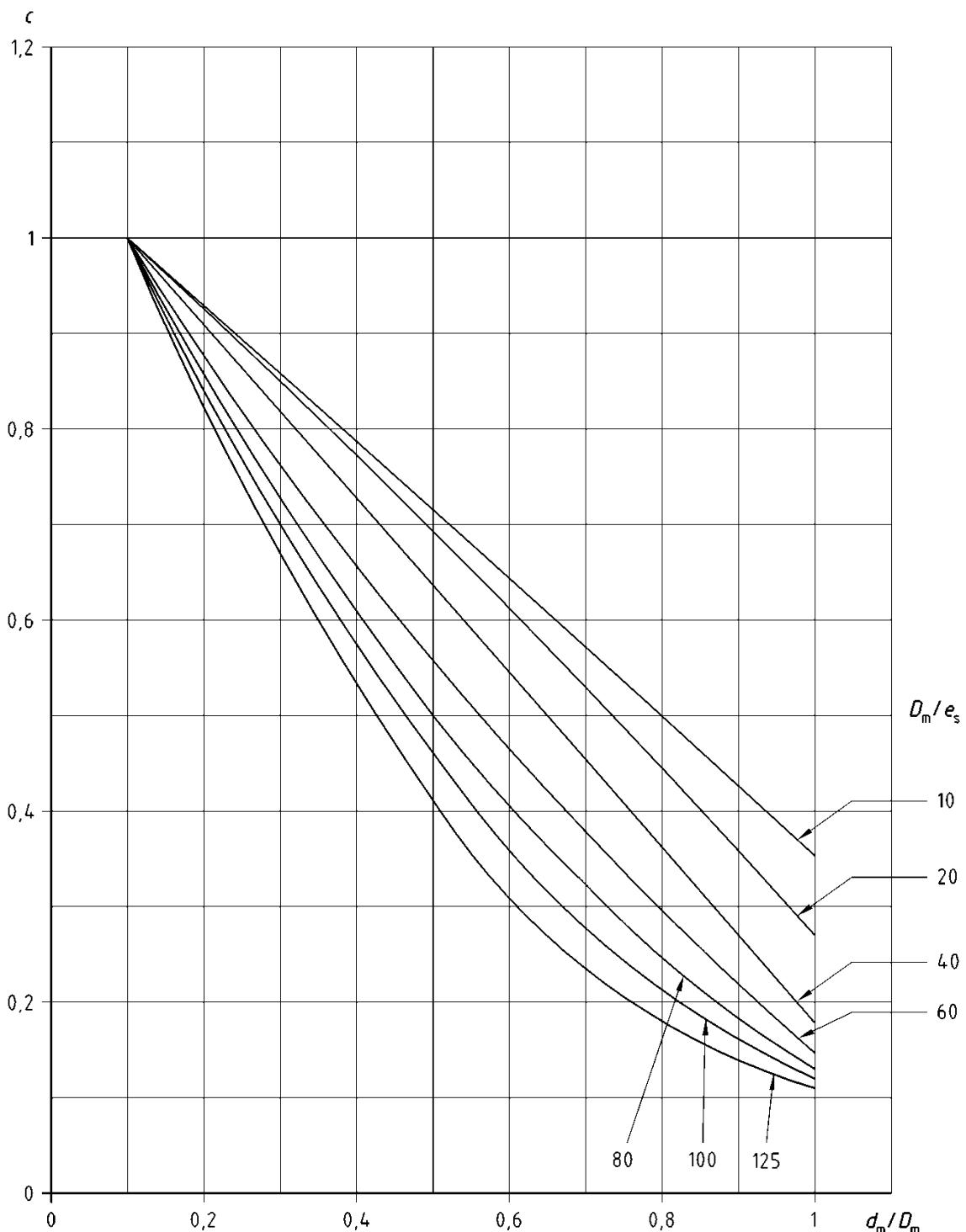


Bild O.3.2-12 — Koeffizient c_{ts} für $e_b/e_s = 0,2$

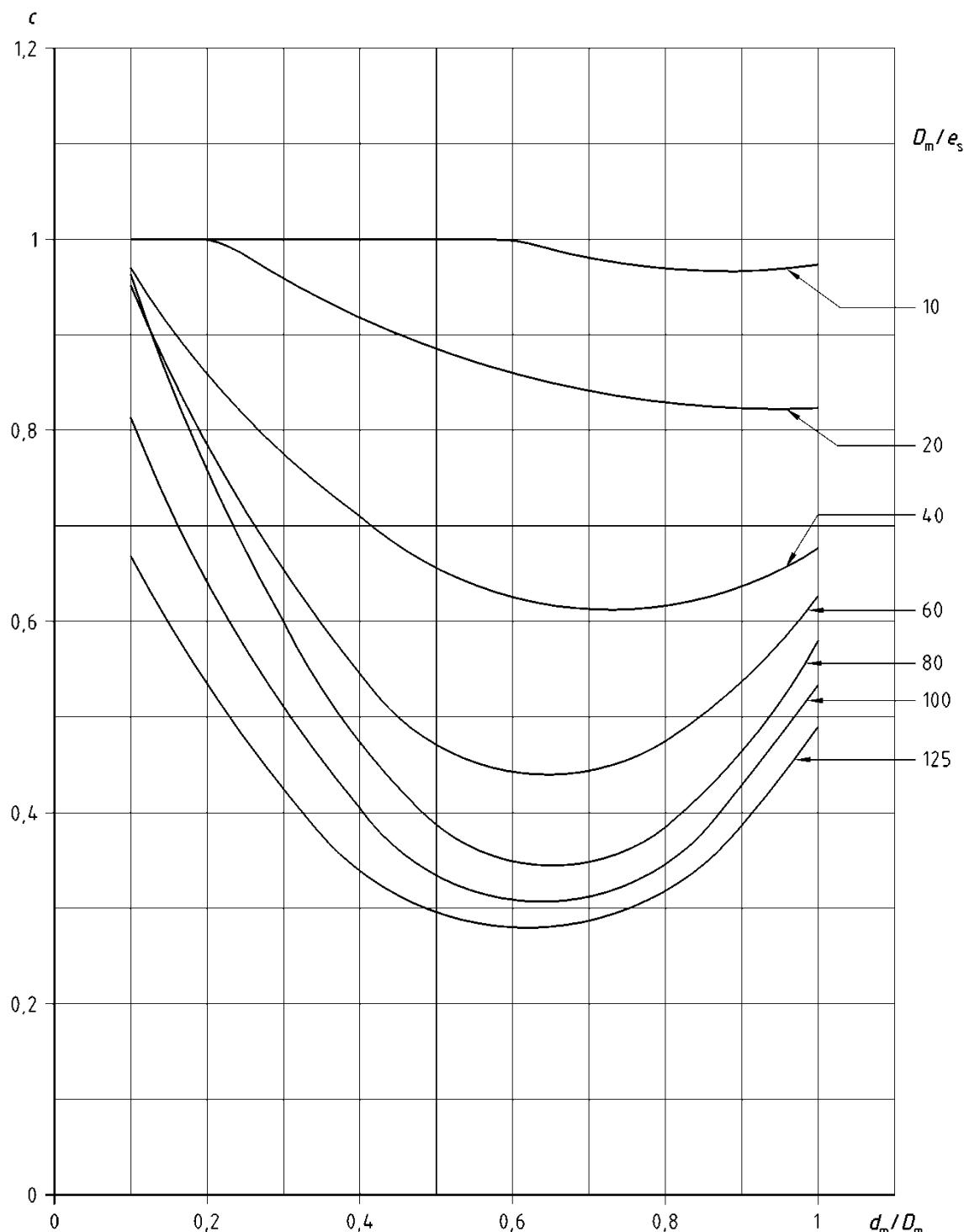


Bild O.3.2-13 — Koeffizient c/f_{h_b} für $e_b/e_s = 0,5$

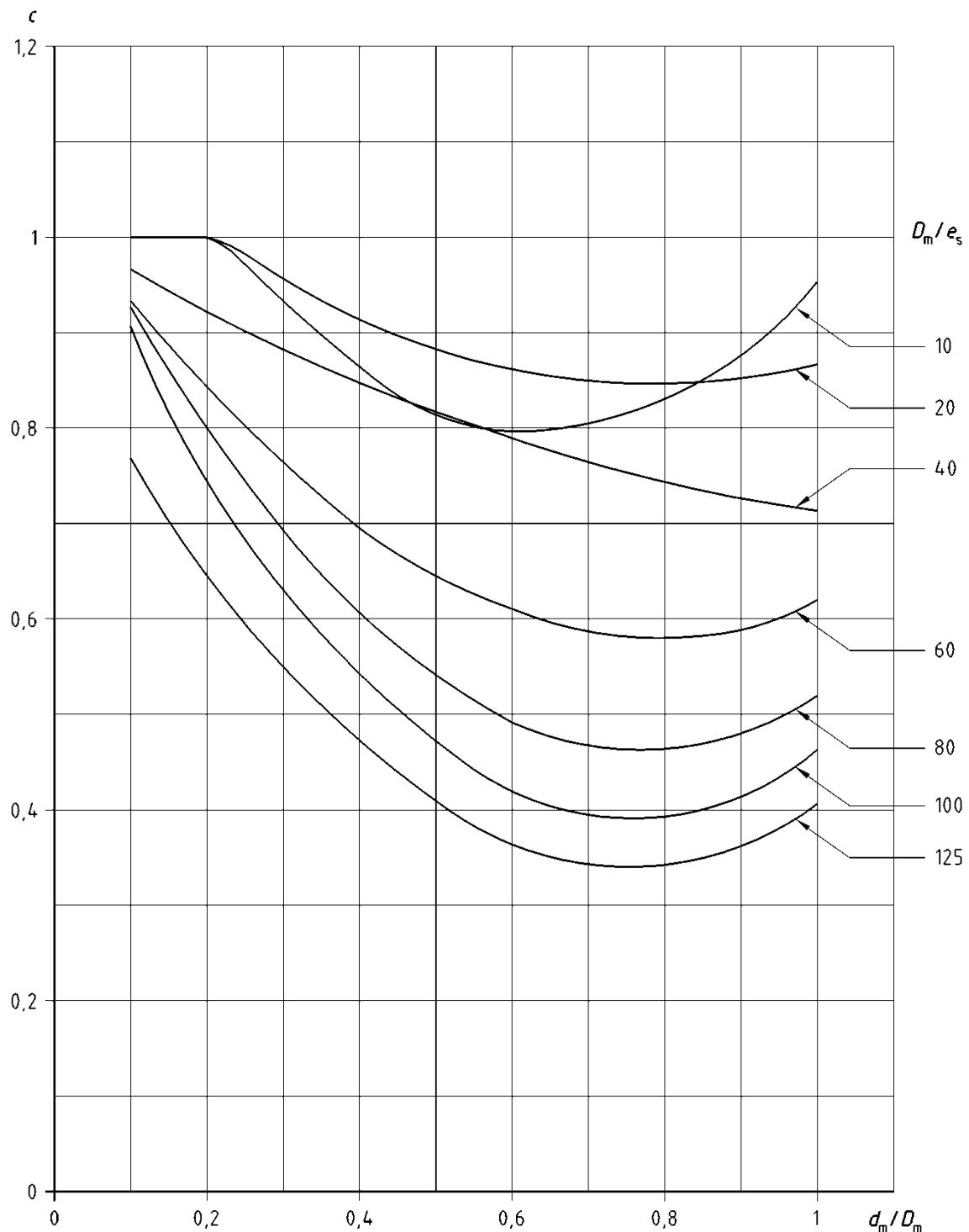


Bild O.3.2-14 — Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 0,5$

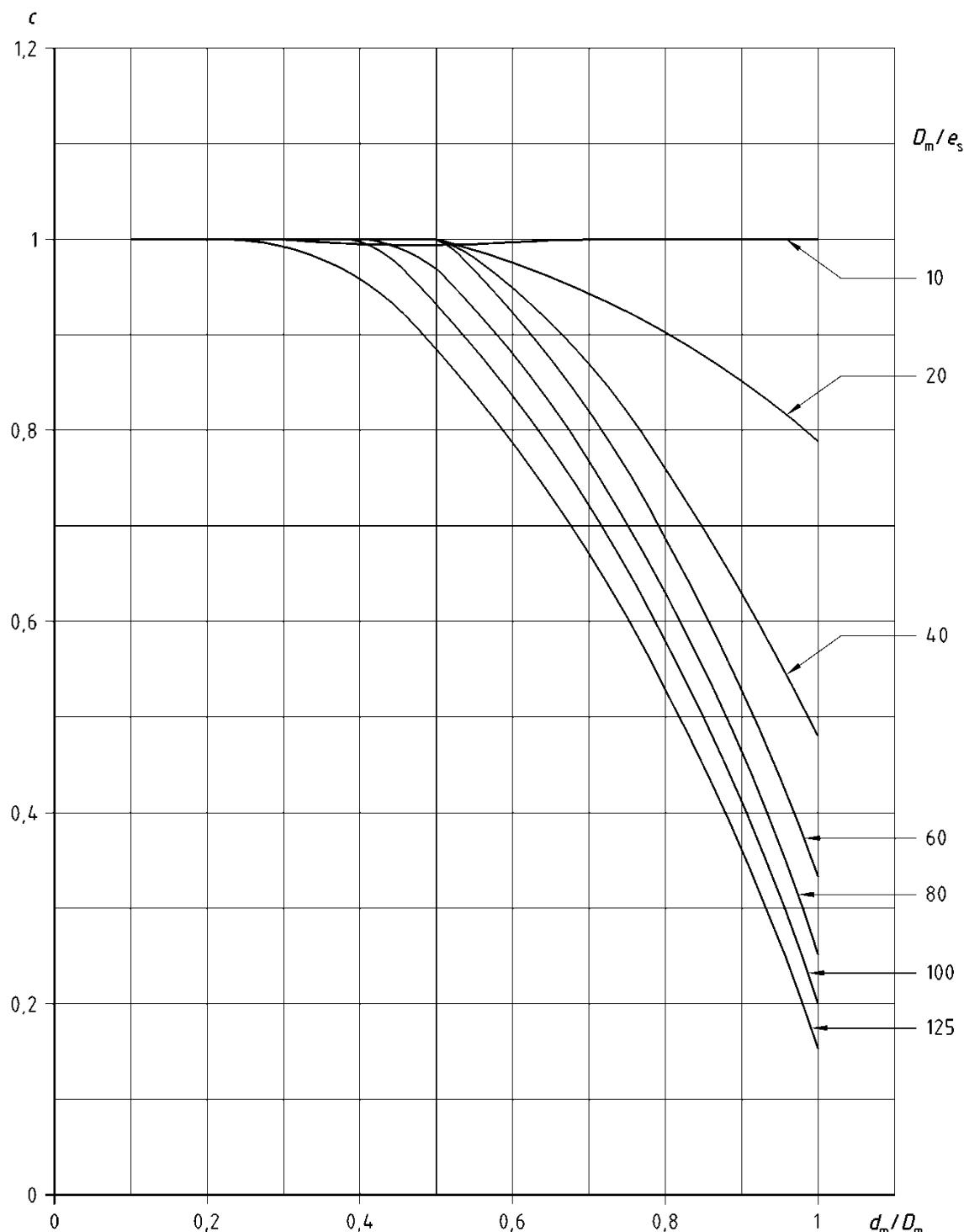


Bild O.3.2-15 — Koeffizient c_{t_b} für $e_b/e_s = 0,5$

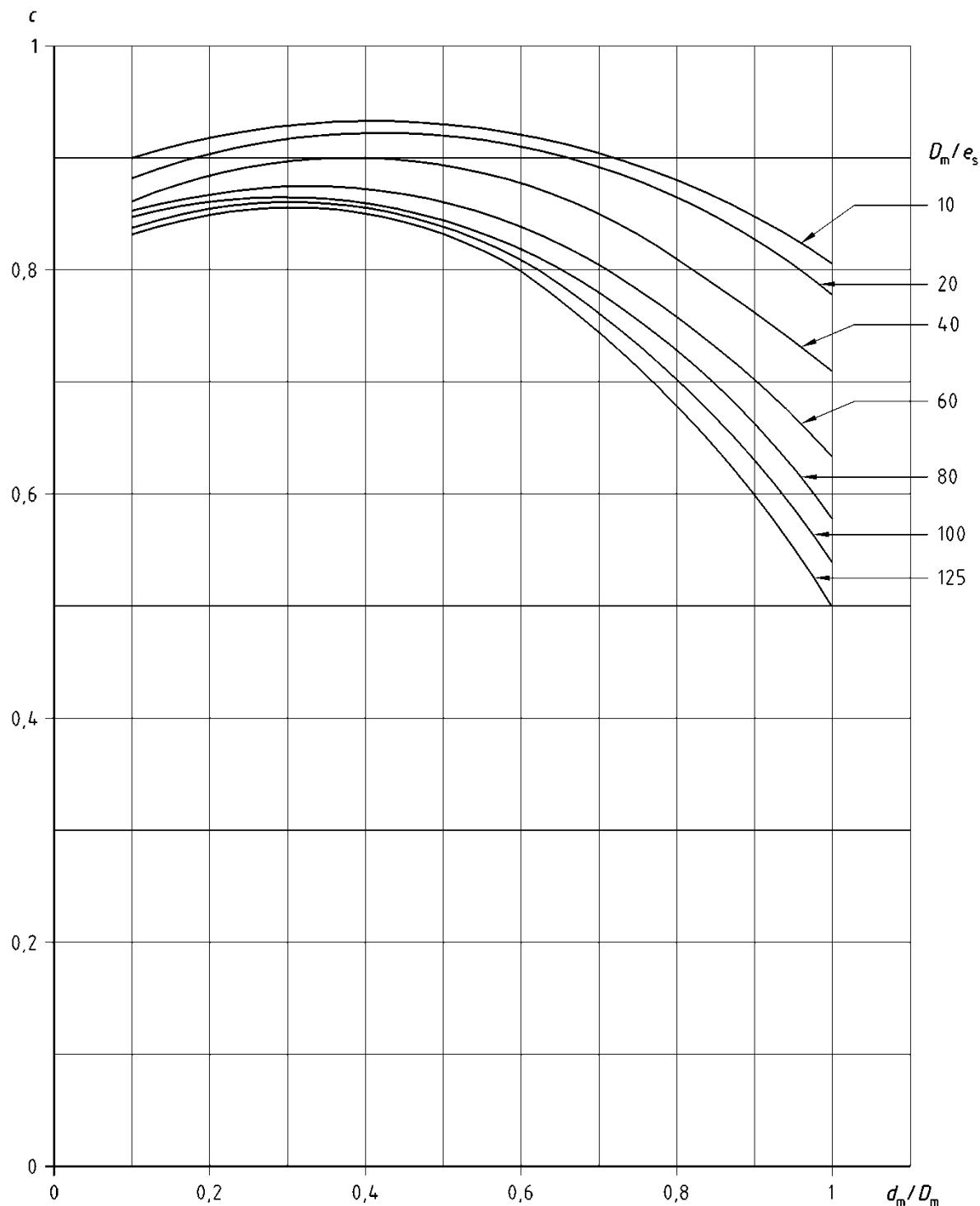


Bild 0.3.2-16 — Koeffizient $c f h_s$ für $e_b/e_s = 0,5$

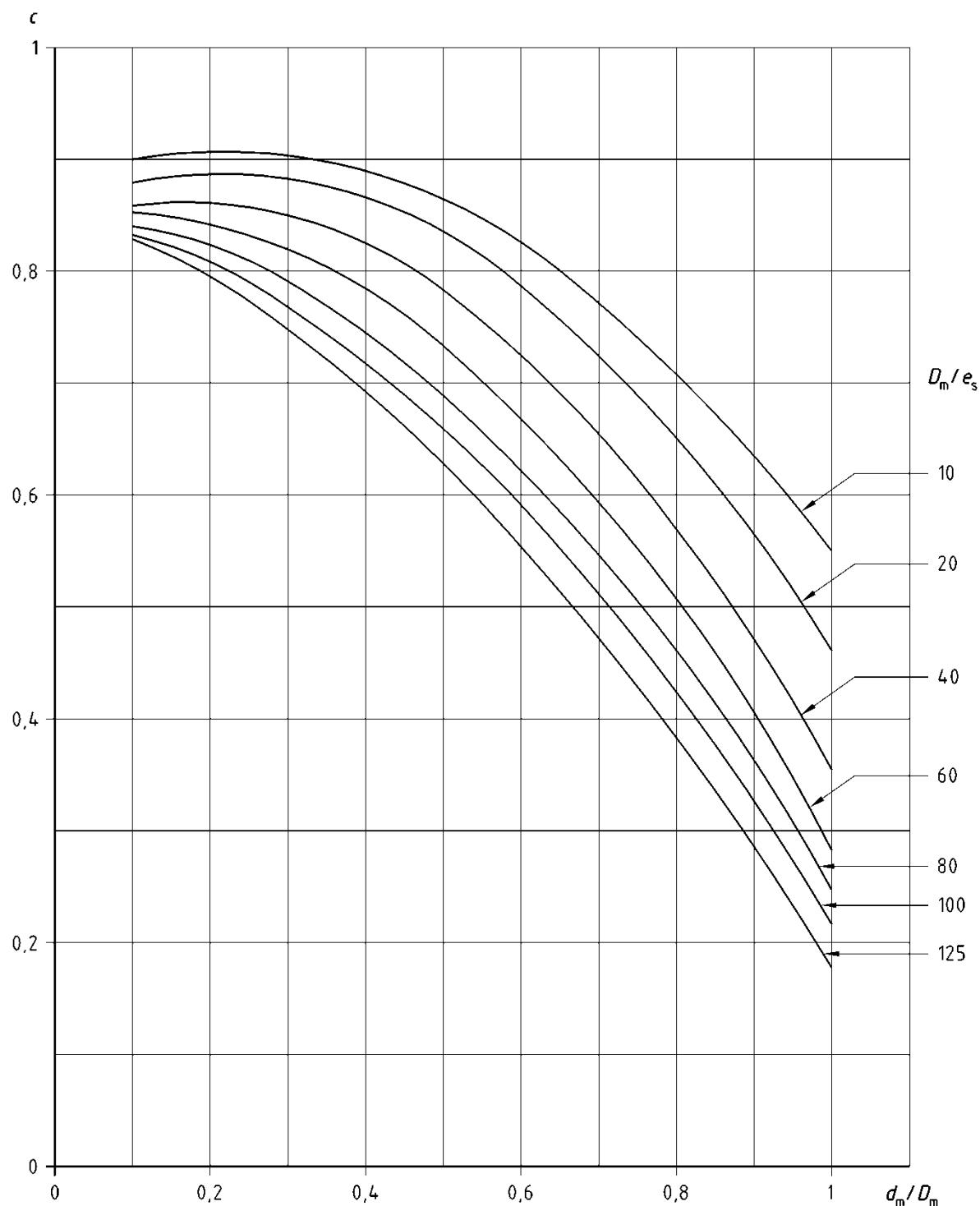


Bild O.3.2-17 — Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 0,5$

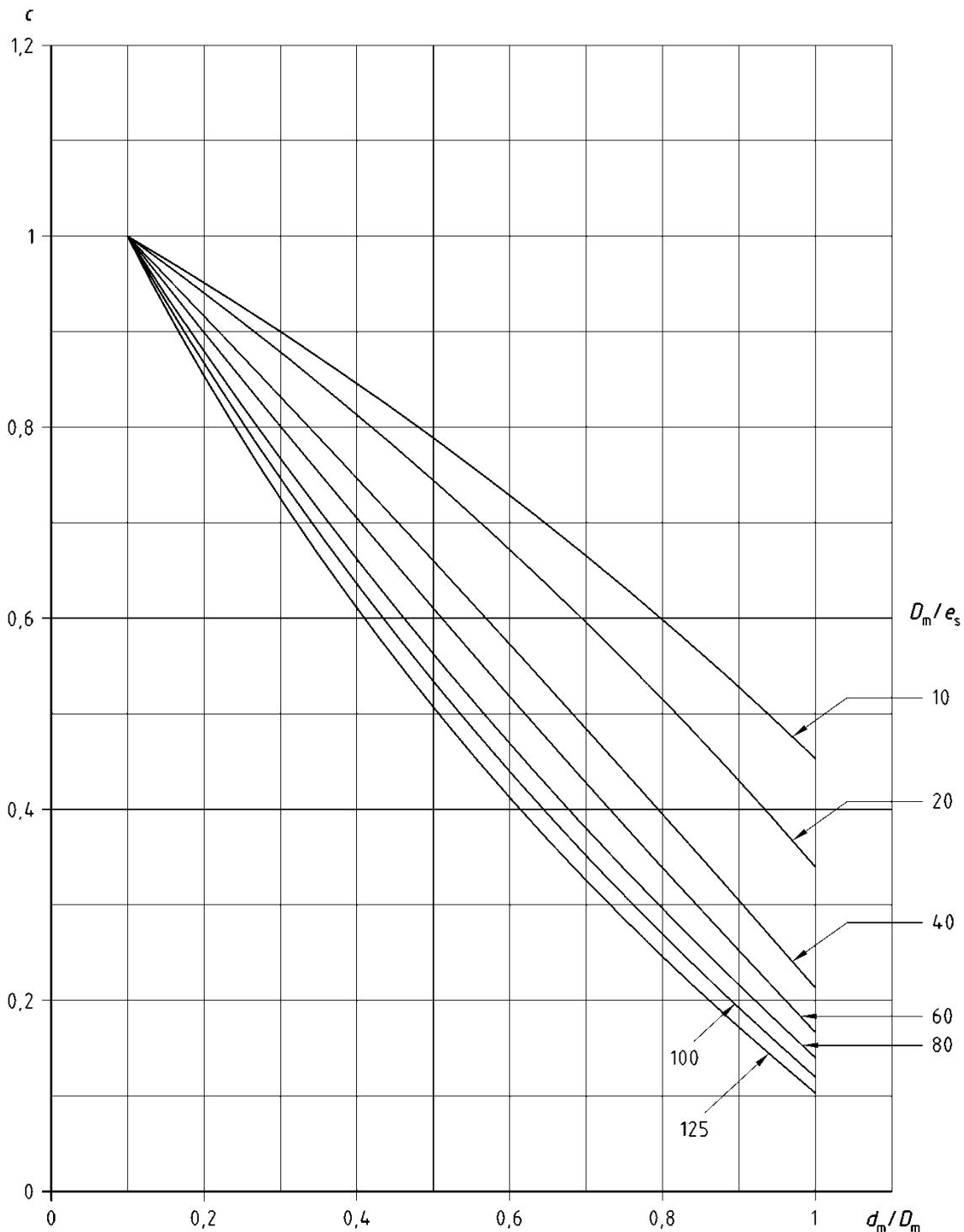


Bild O.3.2-18 — Koeffizient c_{t_s} für $e_b/e_s = 0,5$

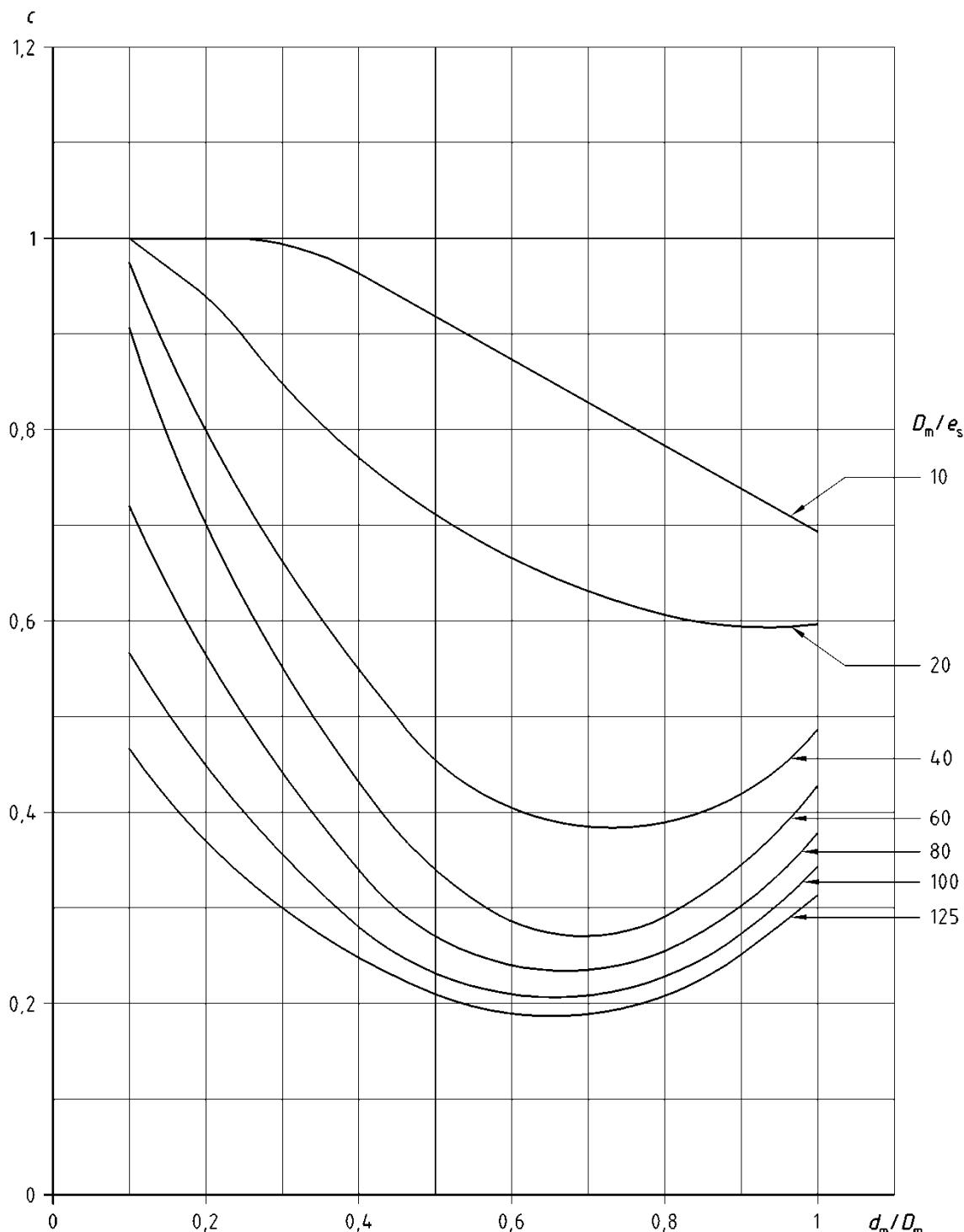


Bild O.3.2-19 — Koeffizient $c f h_b$ für $e_b/e_s = 0,8$

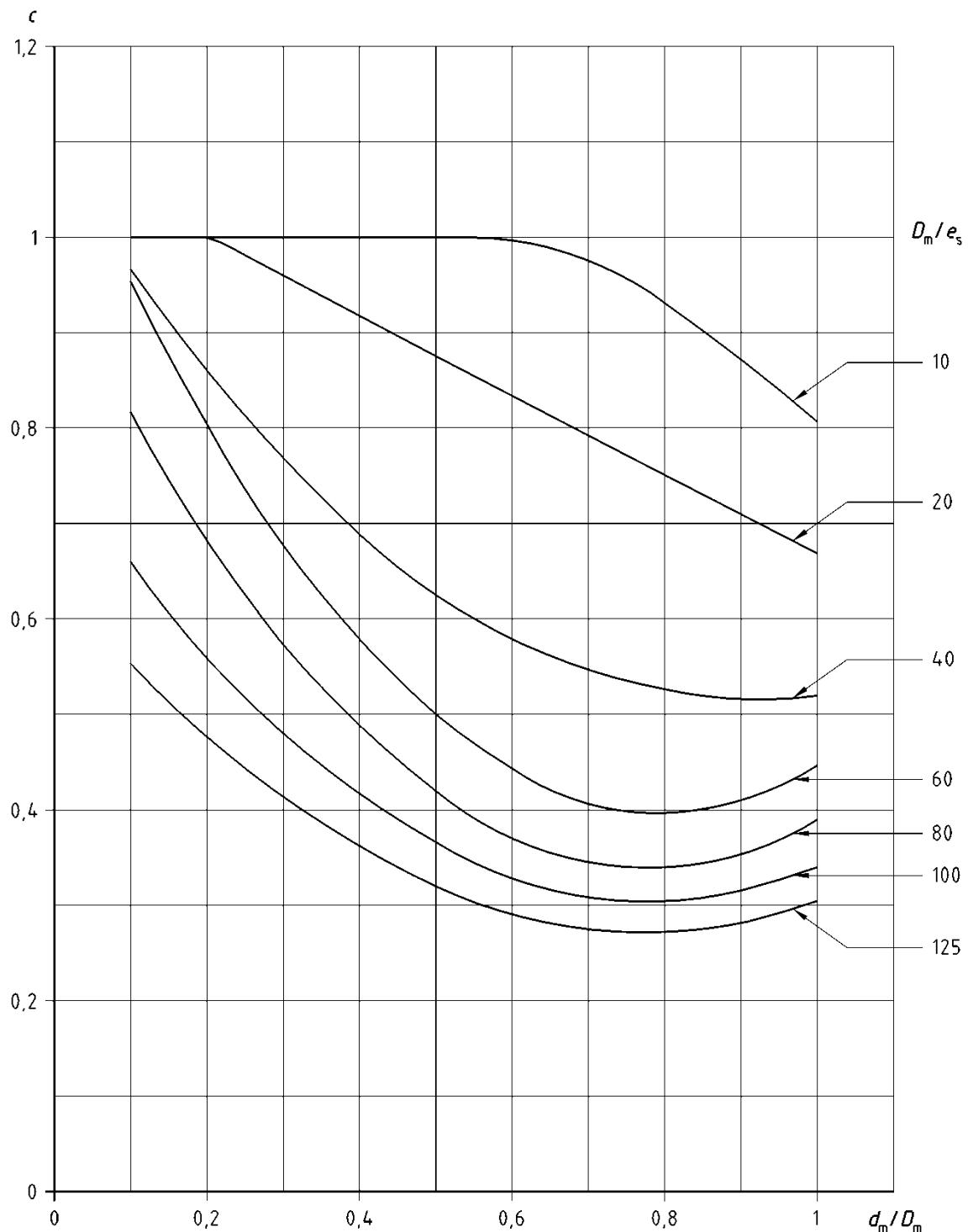


Bild O.3.2-20 — Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 0,8$

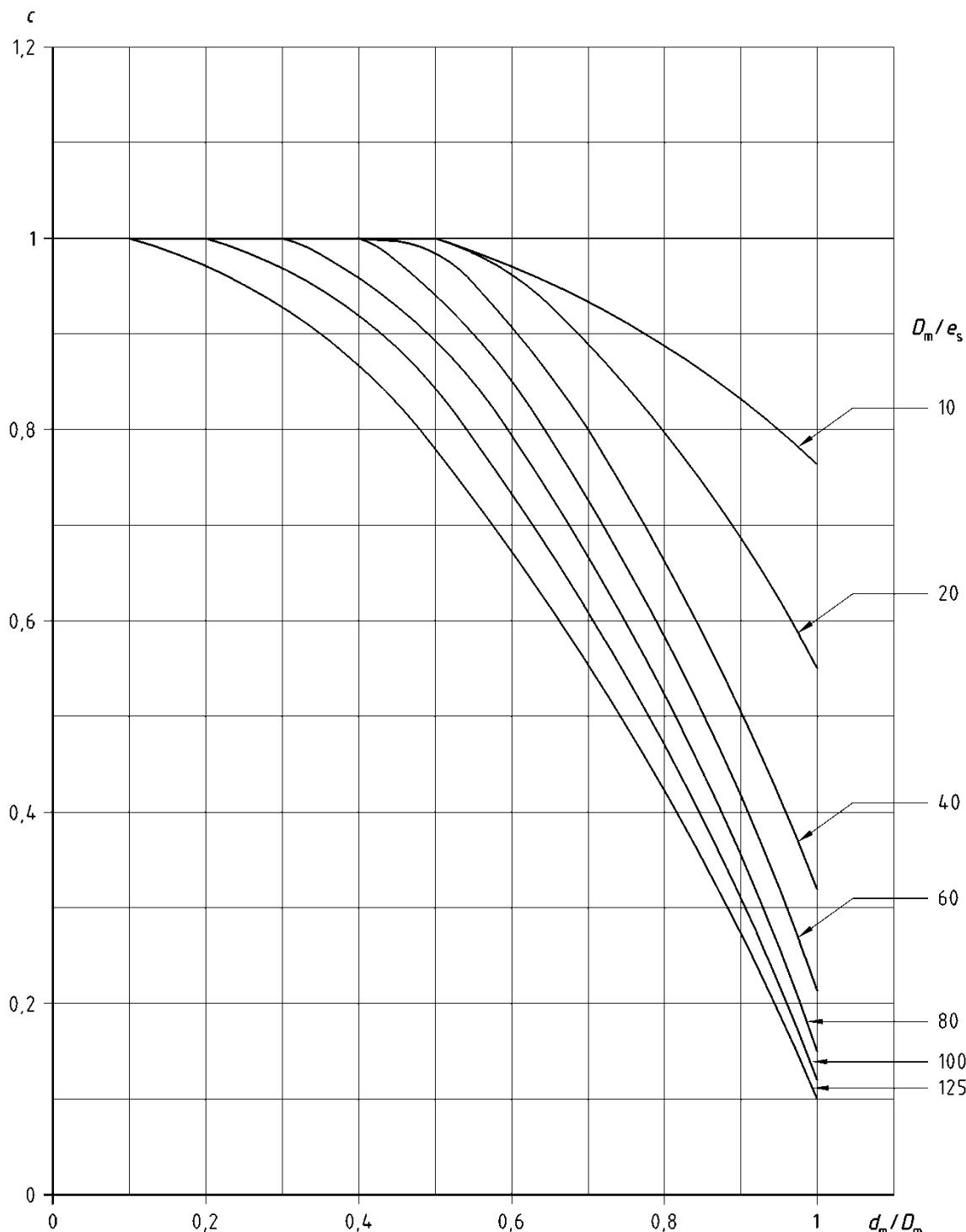


Bild O.3.2-21 — Koeffizient c_{t_b} für $e_b/e_s = 0,8$

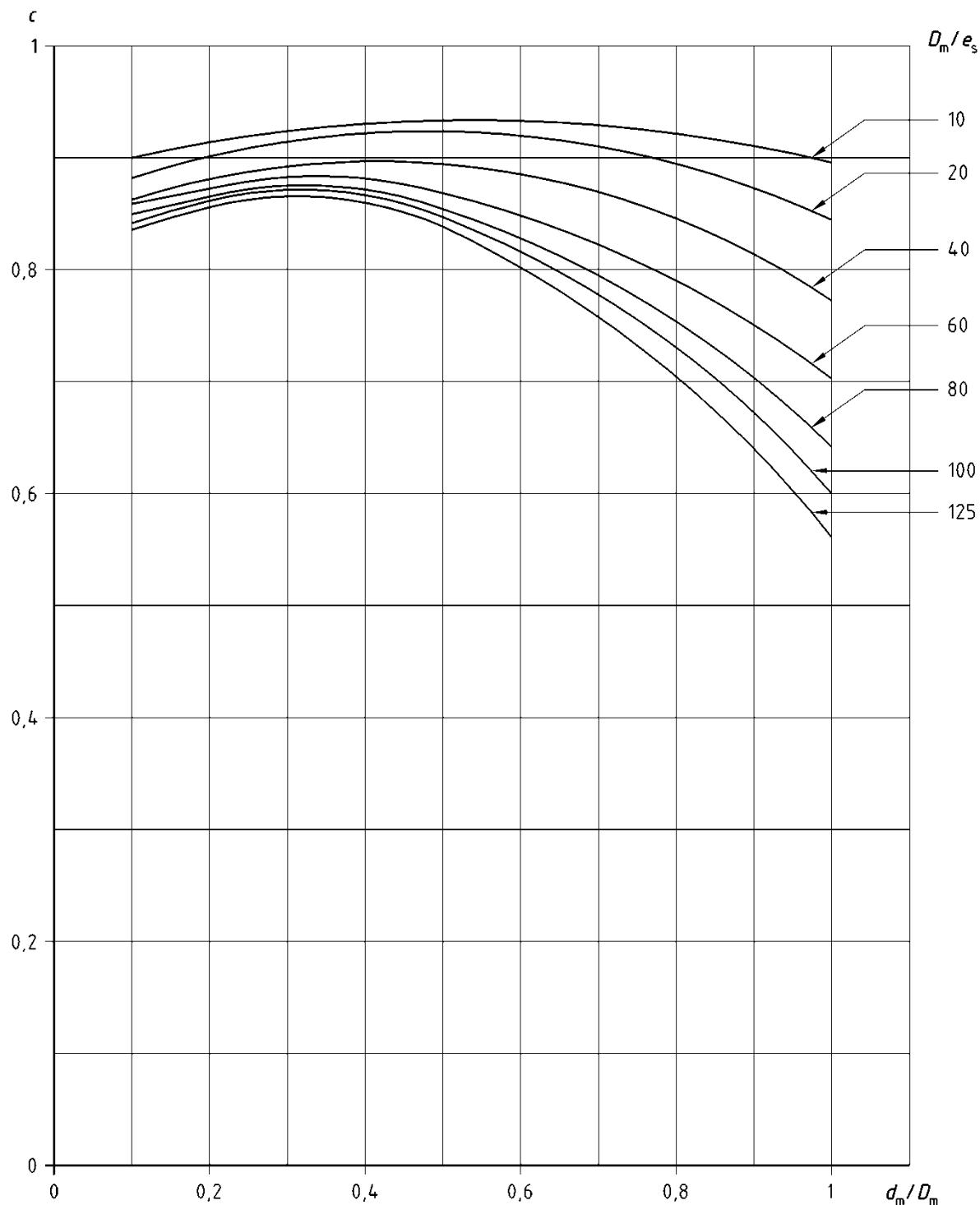


Bild 0.3.2-22 — Koeffizient $c f h_s$ für $e_b/e_s = 0,8$

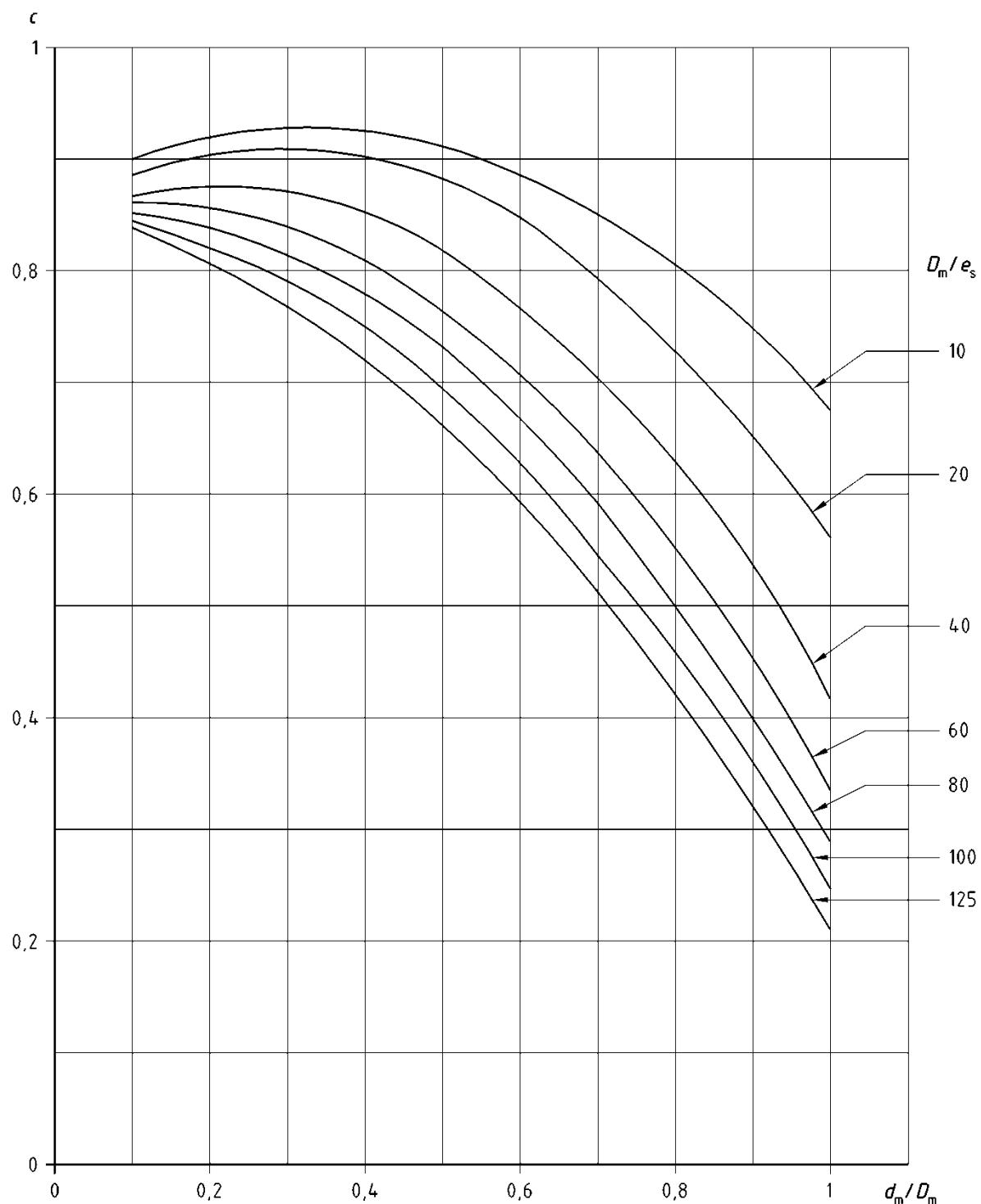


Bild O.3.2-23 — Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 0,8$

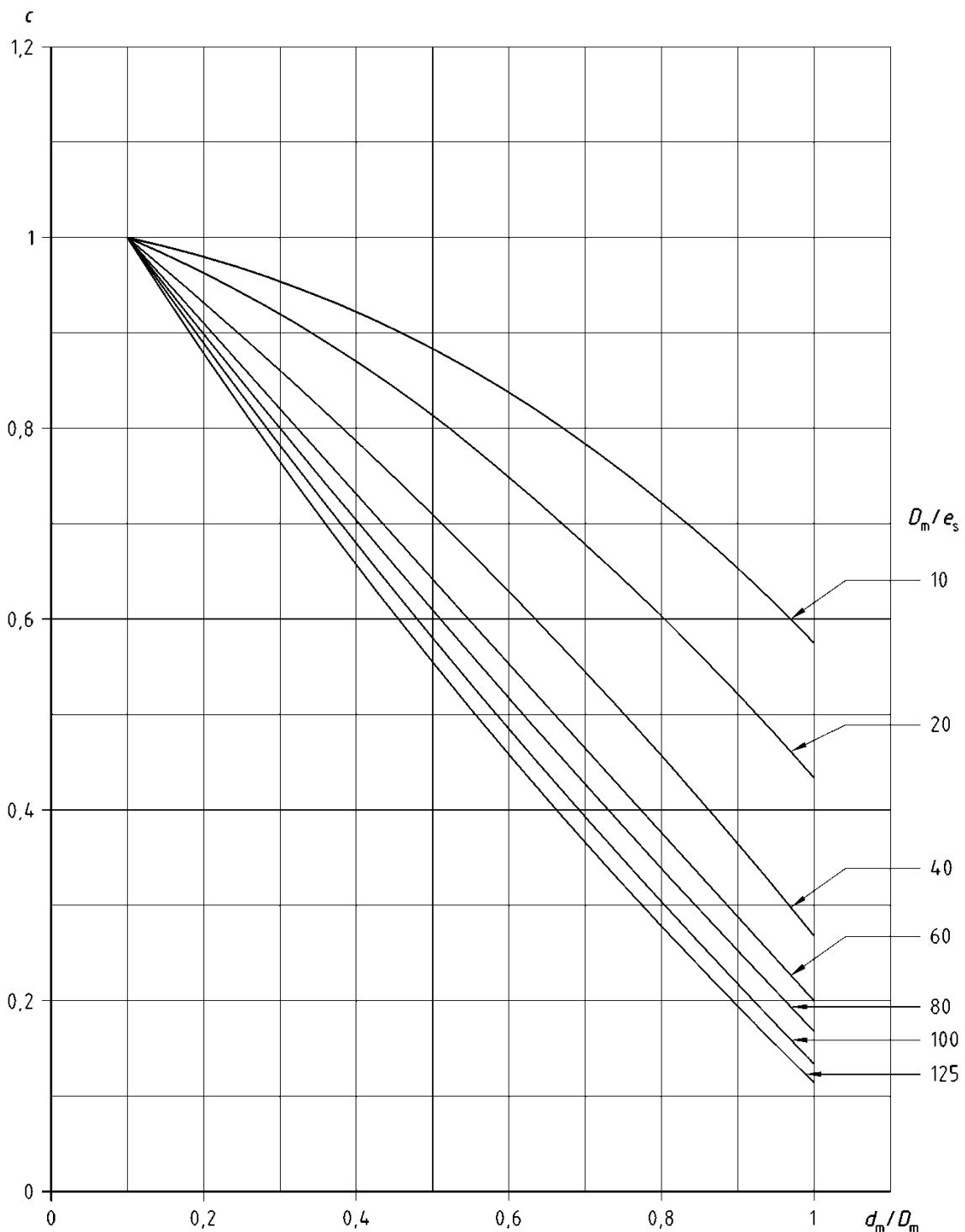


Bild O.3.2-24 — Koeffizient c_{t_s} für $e_b/e_s = 0,8$

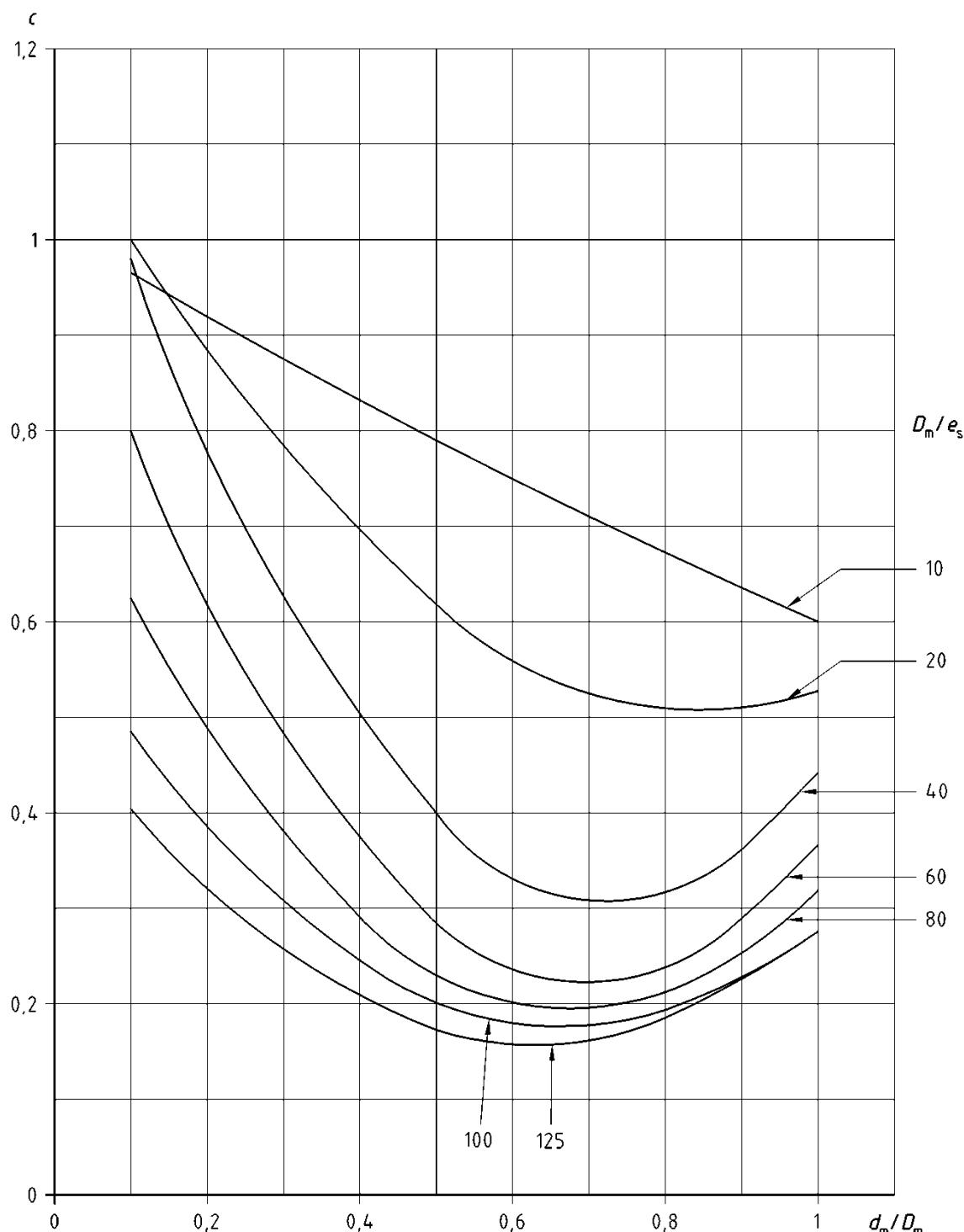


Bild 0.3.2-25 — Koeffizient c/h_b für $e_b/e_s = 1$

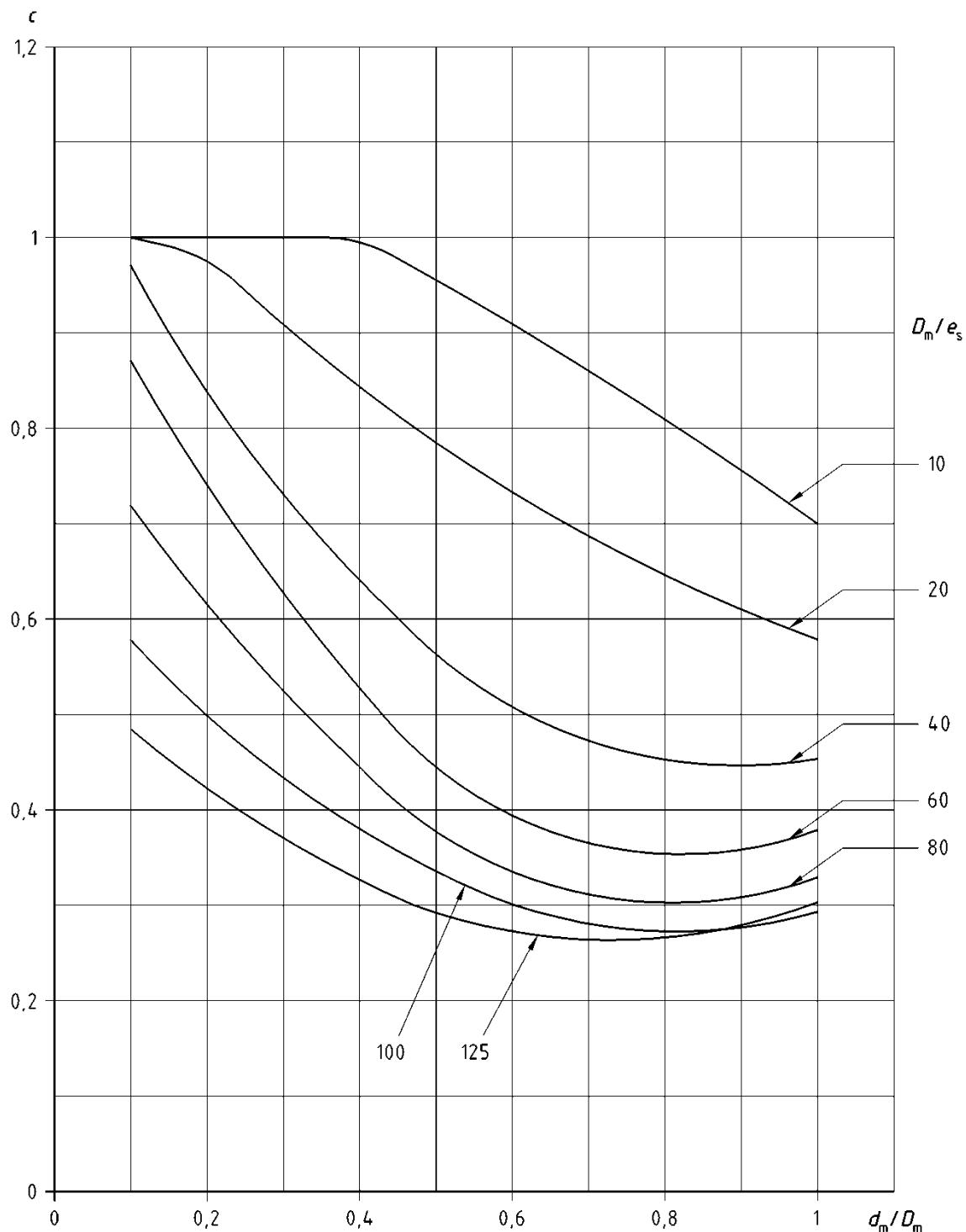


Bild O.3.2-26 — Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 1$

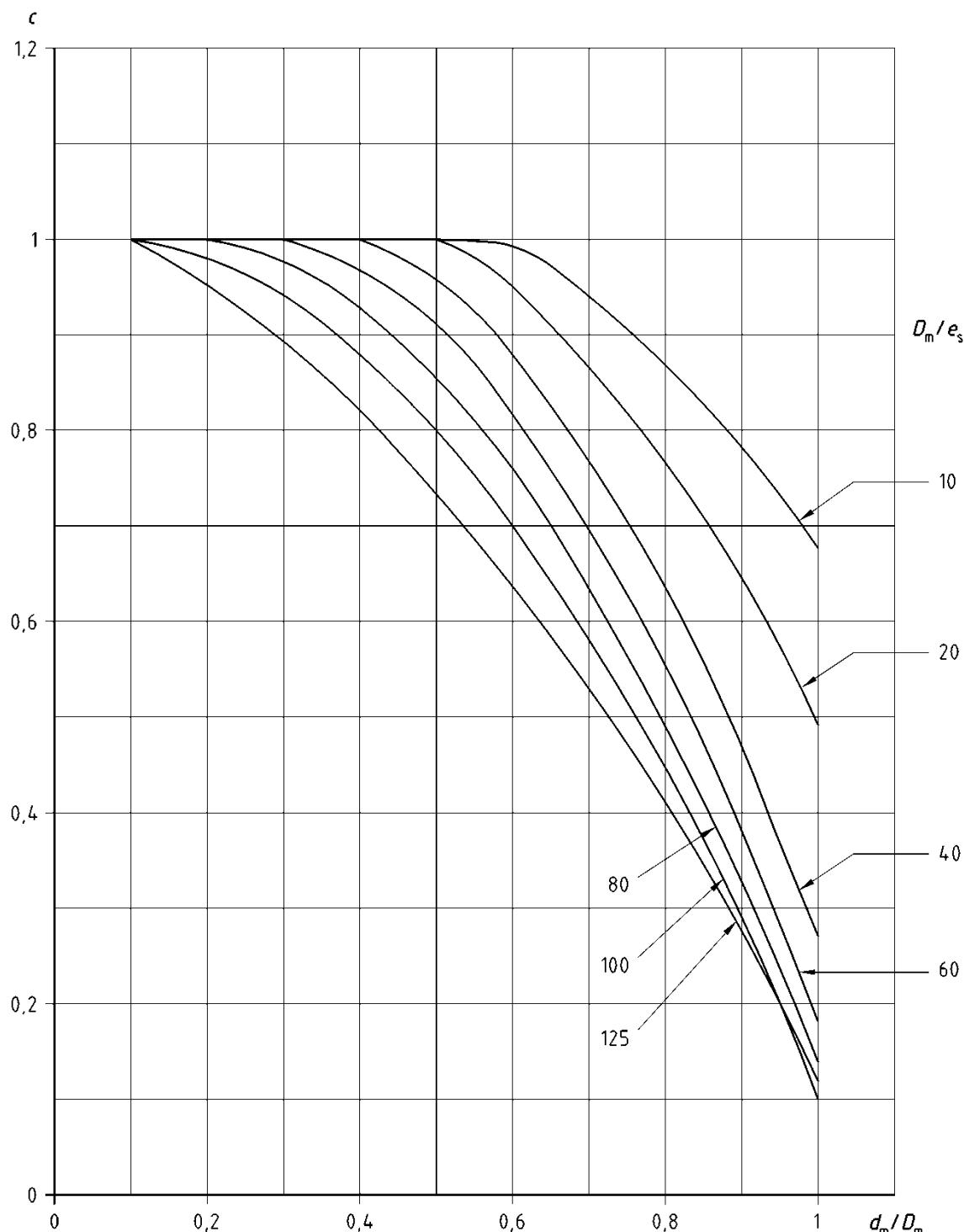


Bild O.3.2-27 — Koeffizient c_{t_b} für $e_b/e_s = 1$

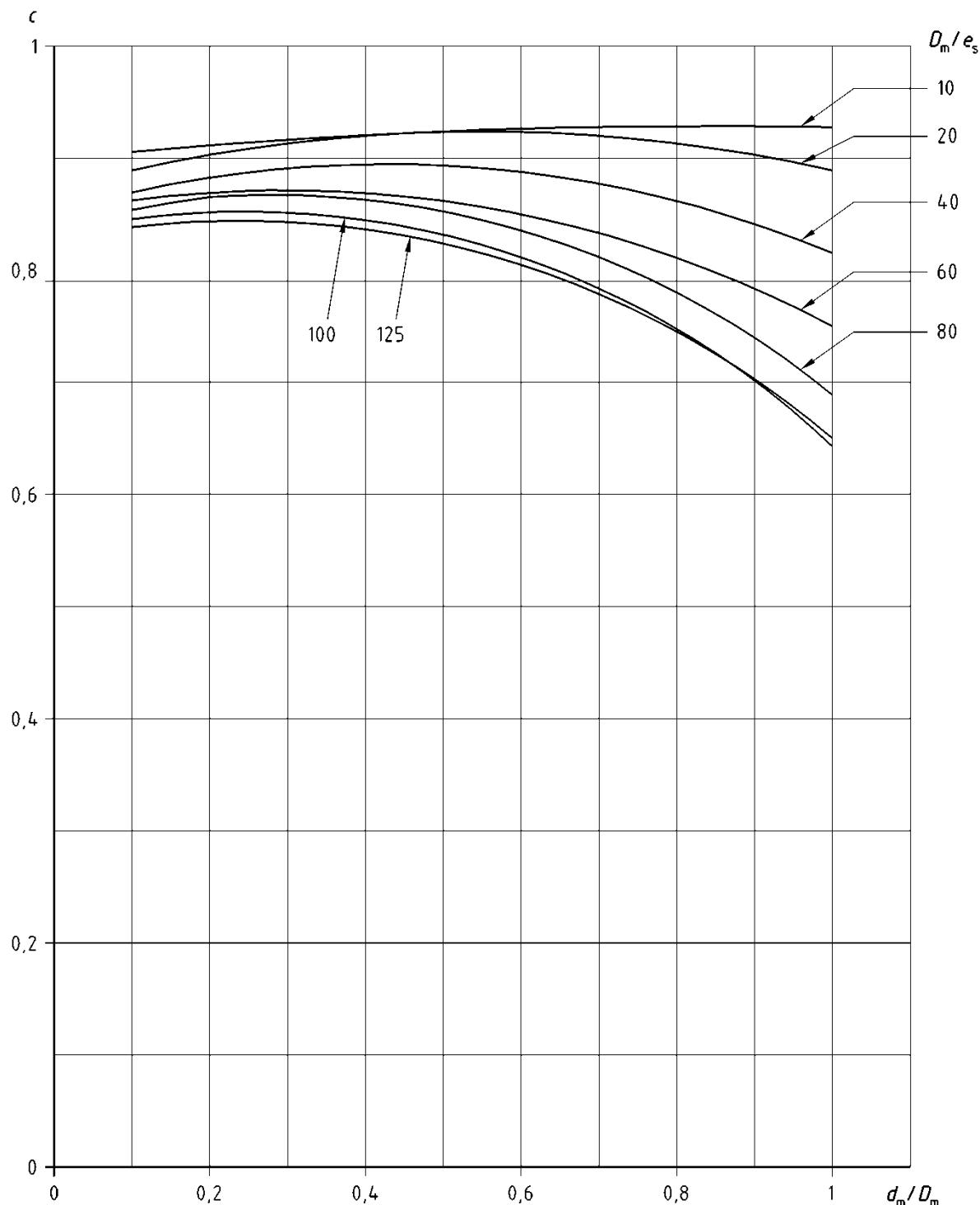


Bild O.3.2-28 — Koeffizient $c f h_s$ für $e_b/e_s = 1$

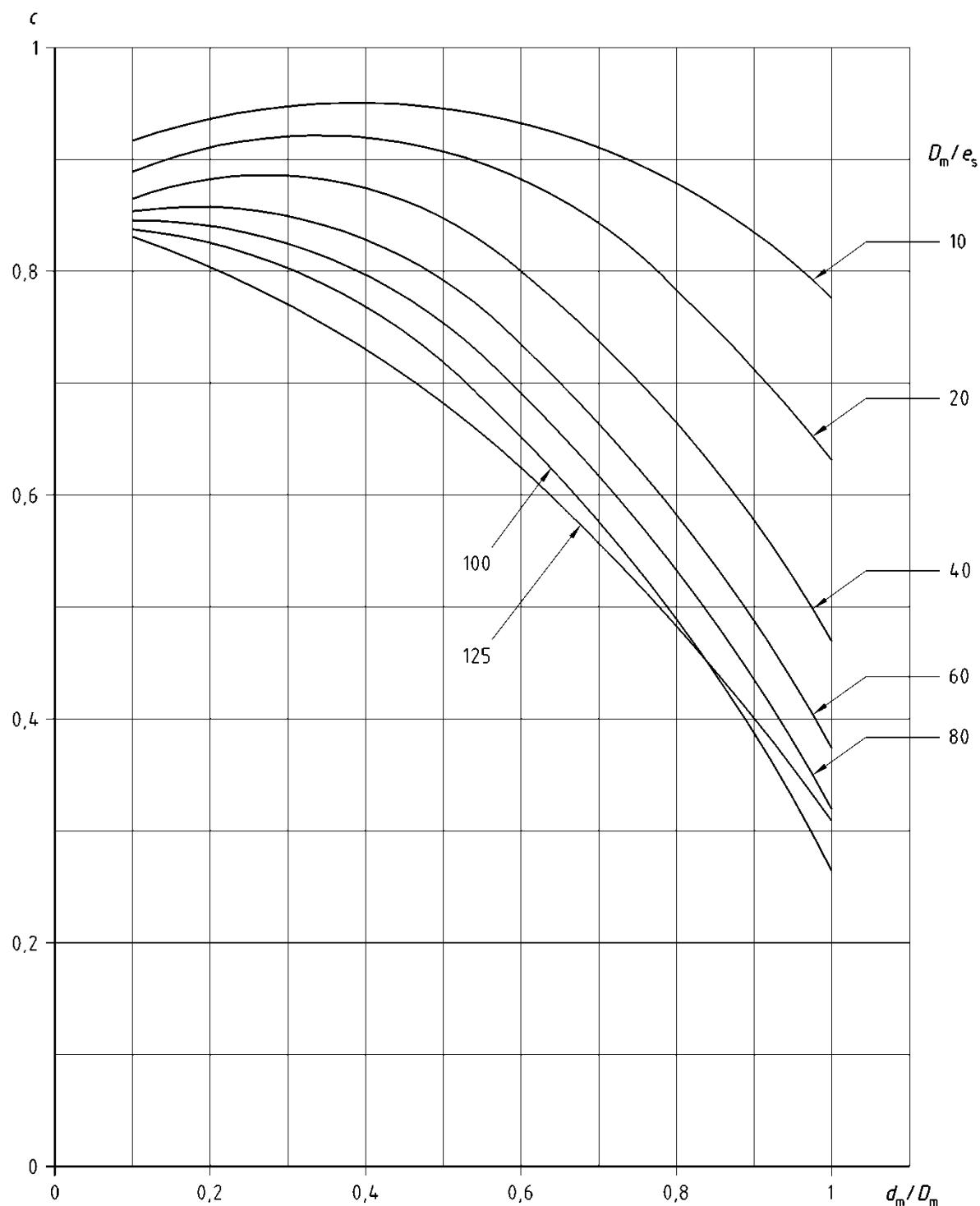


Bild O.3.2-29 — Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 1$

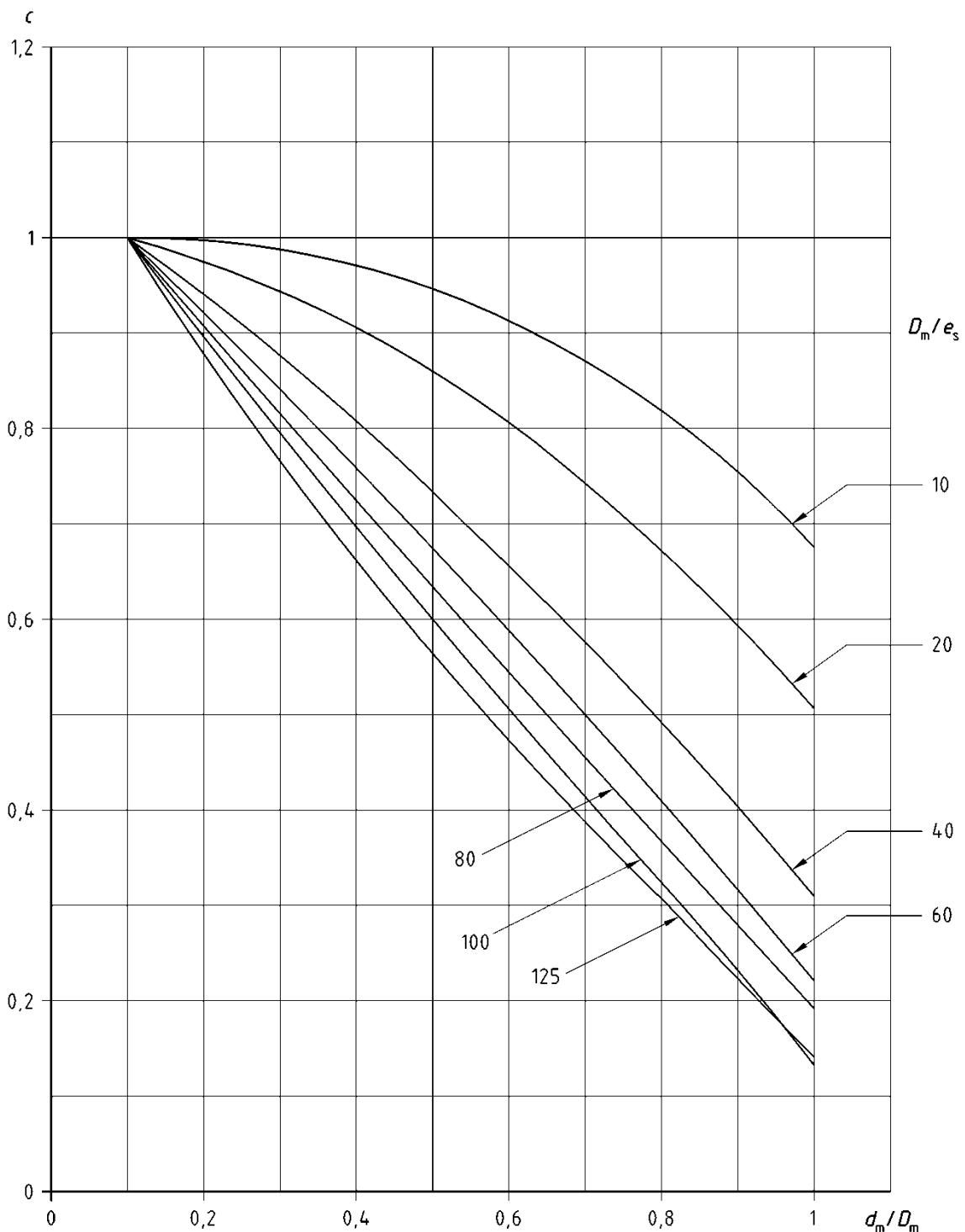


Bild O.3.2-30 — Koeffizient $c t_s$ für $e_b/e_s = 1$

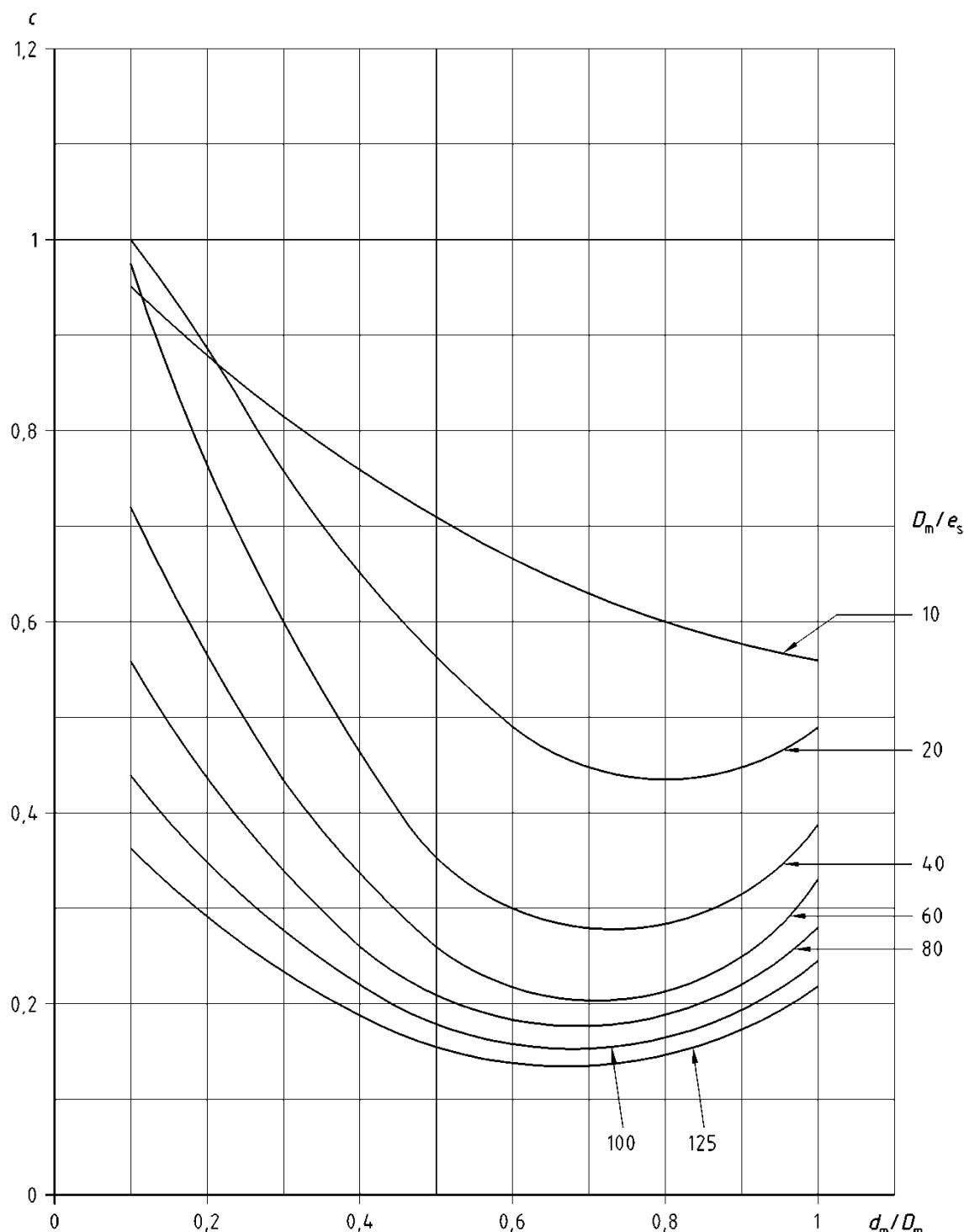


Bild O.3.2-31 — Koeffizient $c f h_b$ für $e_b/e_s = 1,2$

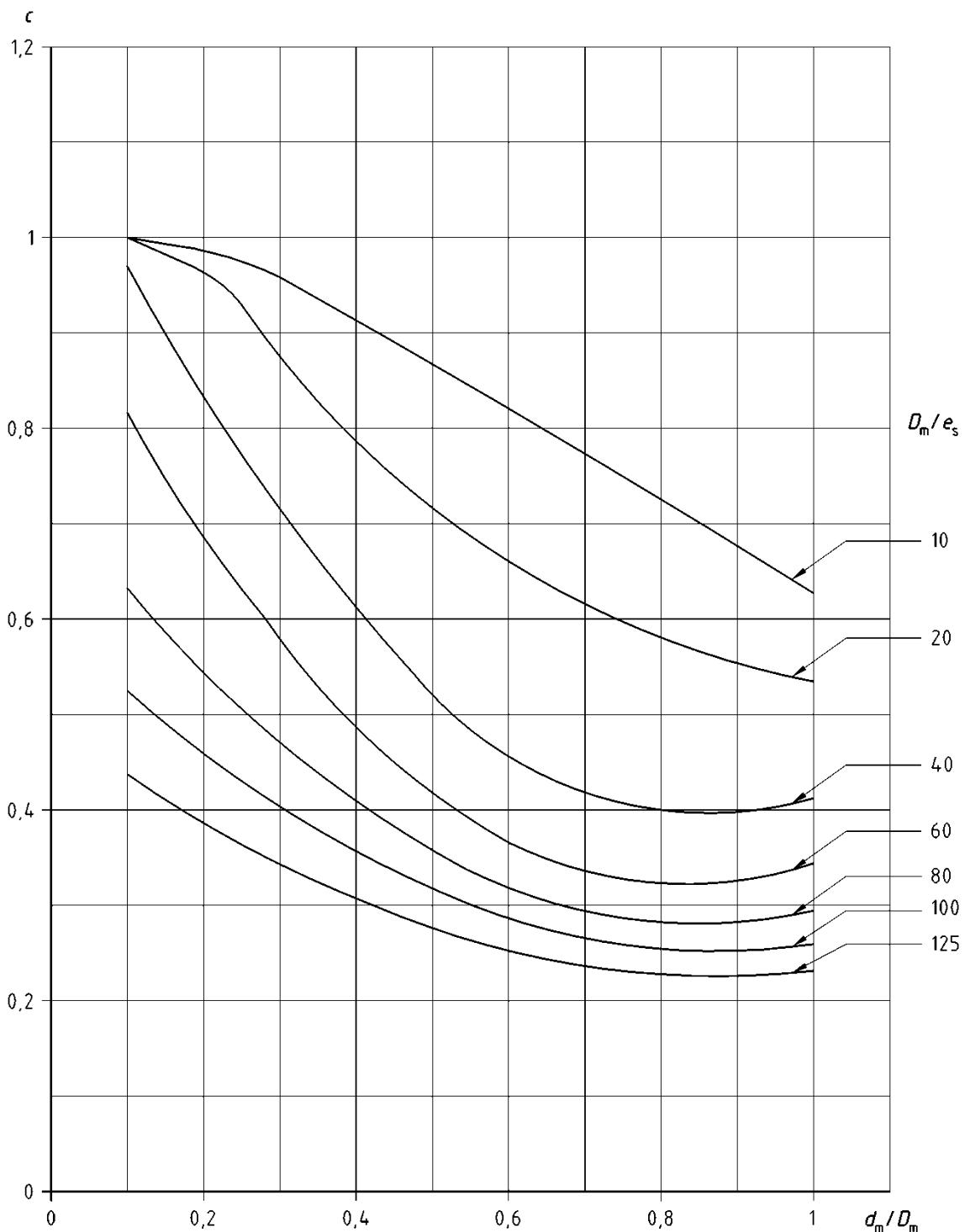


Bild O.3.2-32 — Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 1,2$

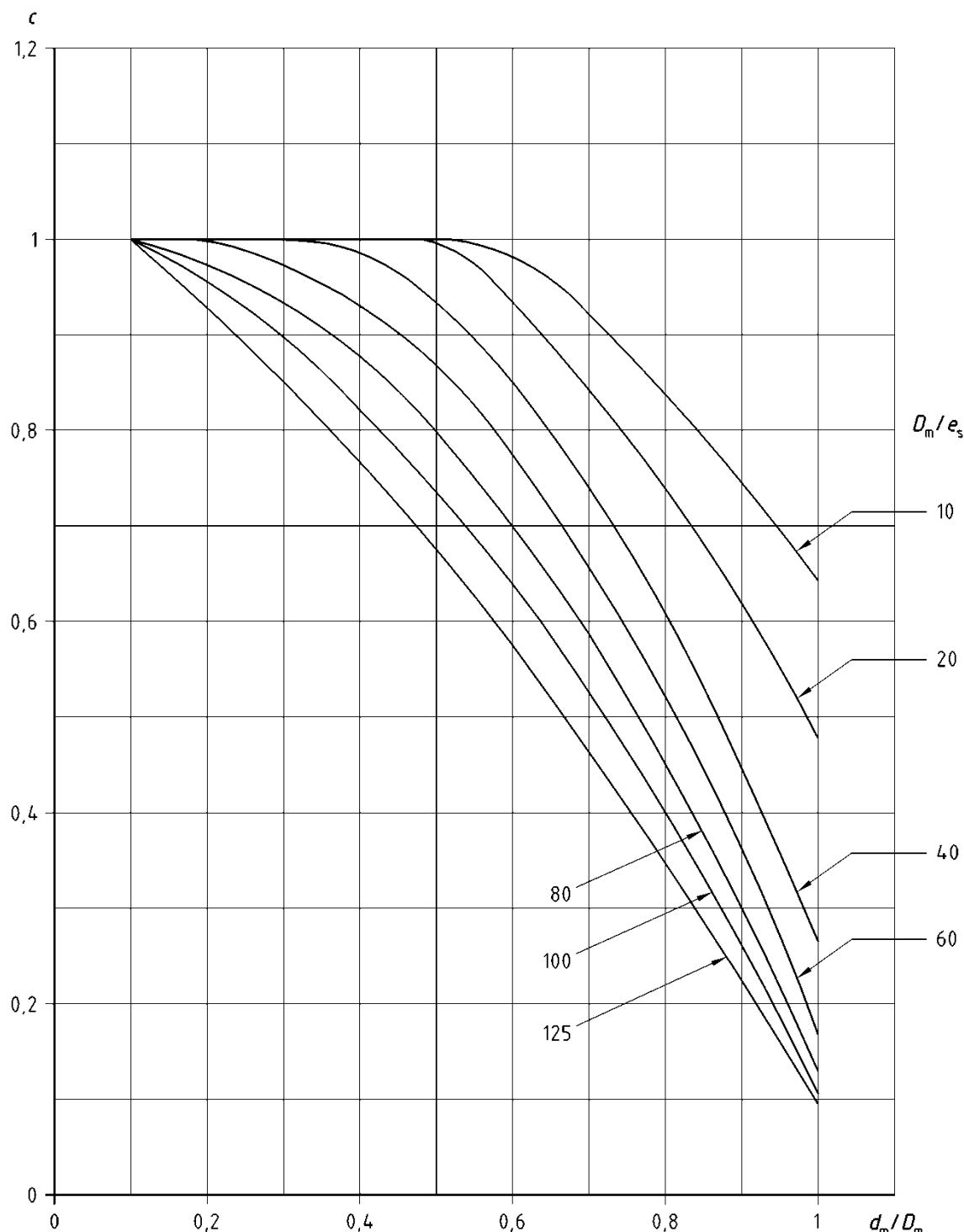


Bild O.3.2-33 — Koeffizient c_{t_b} für $e_b/e_s = 1,2$

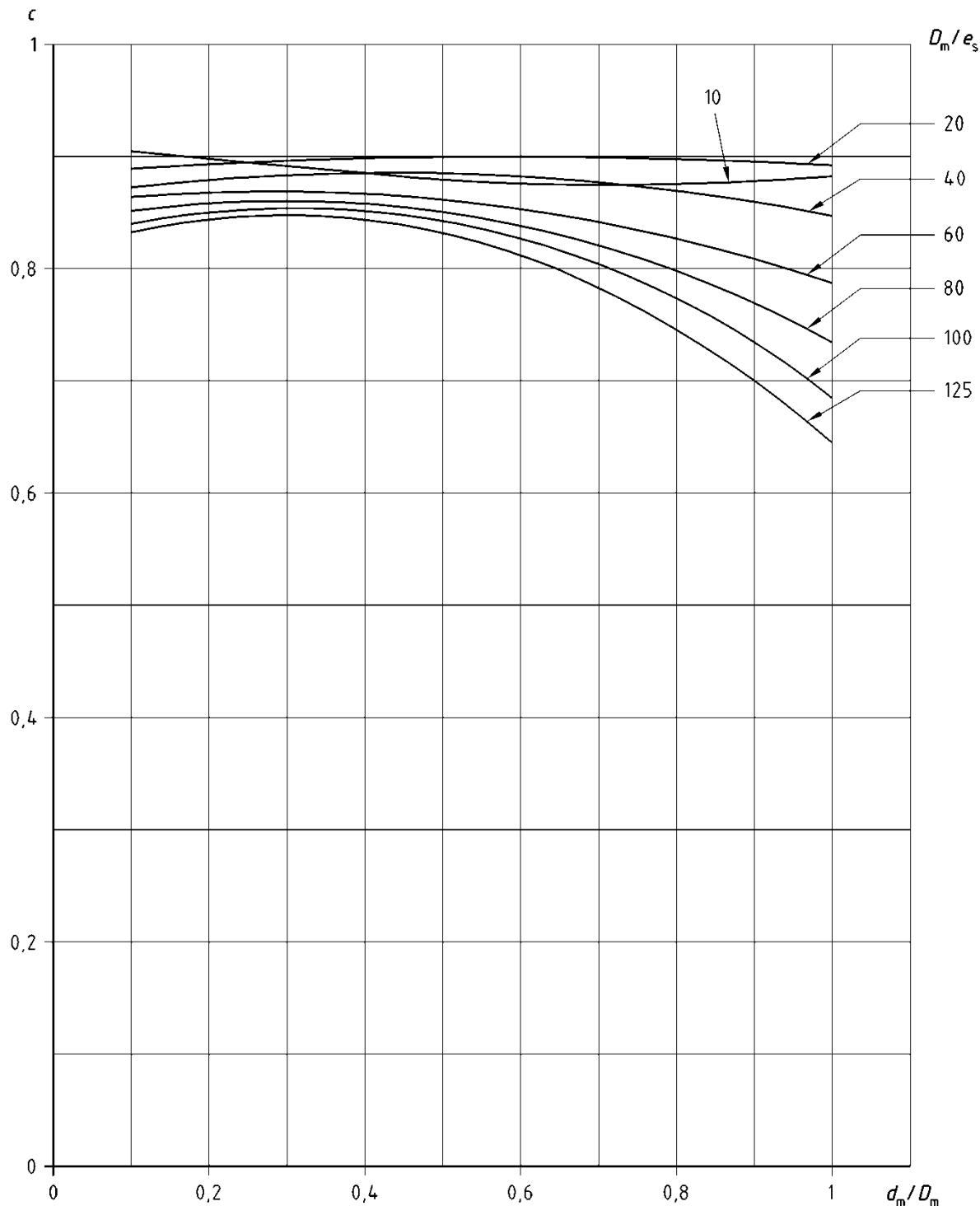


Bild 0.3.2-34 — Koeffizient $c f h_s$ für $e_b/e_s = 1,2$

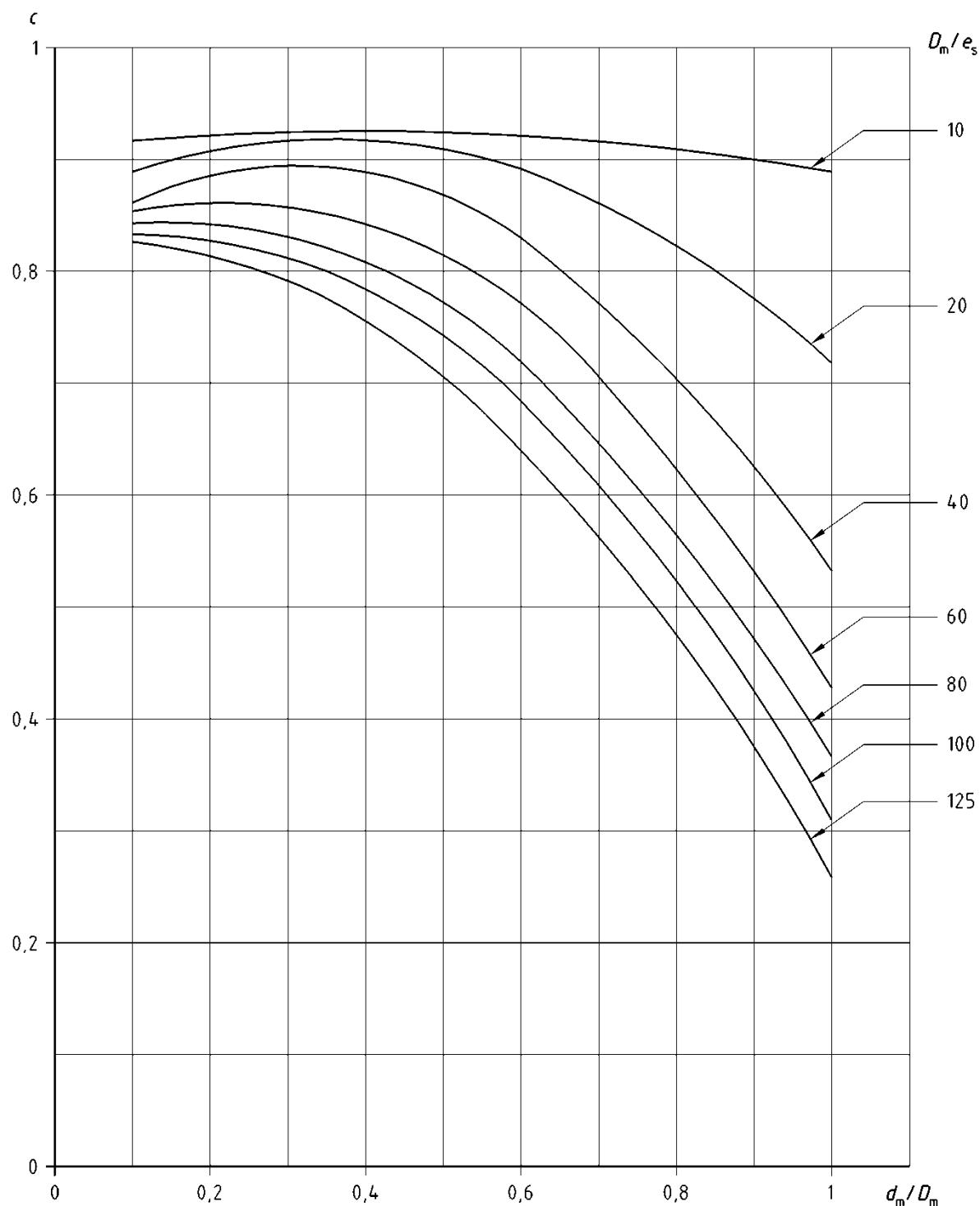


Bild O.3.2-35 — Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 1,2$

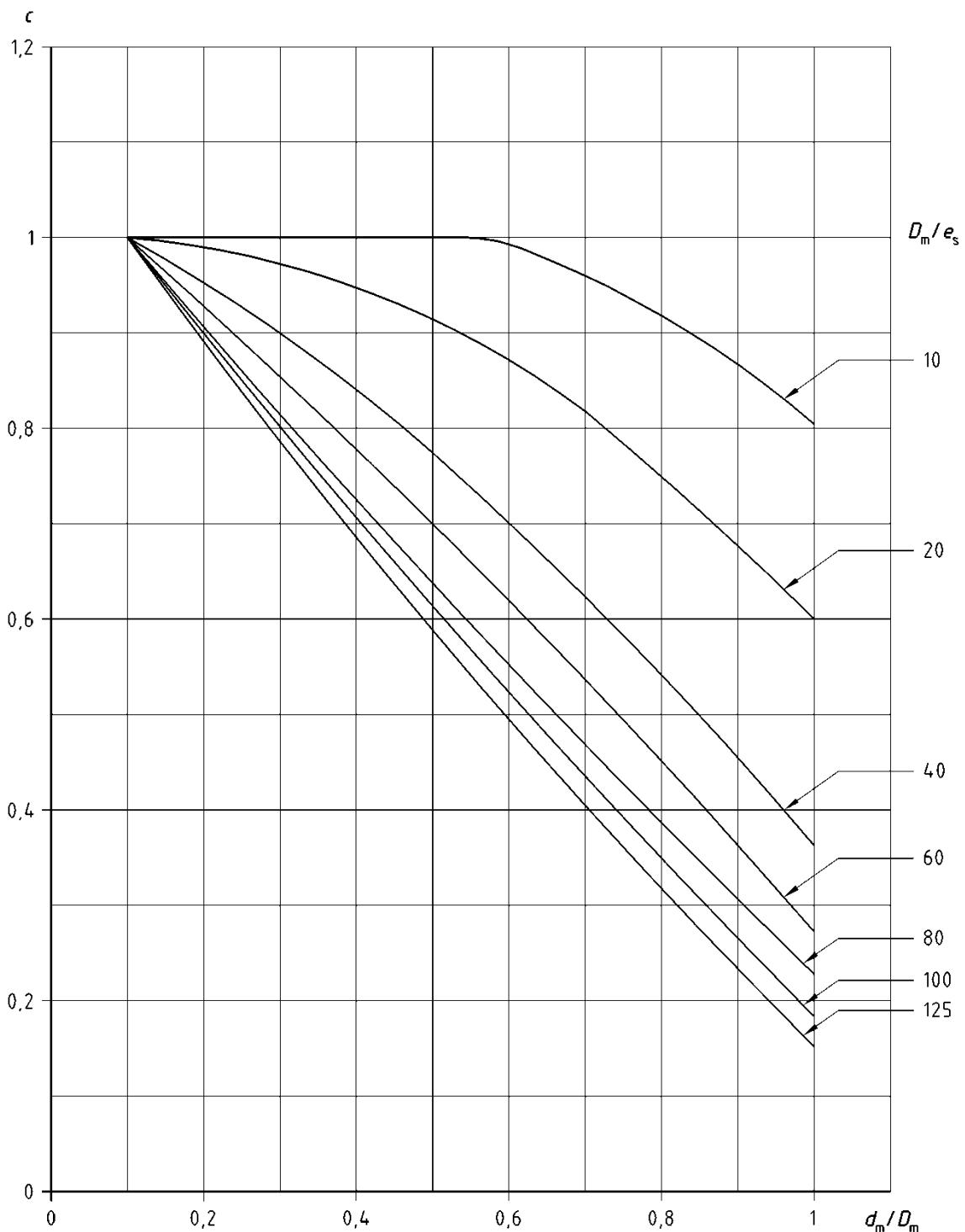


Bild O.3.2-36 — Koeffizient c_{ts} für $e_b/e_s = 1,2$

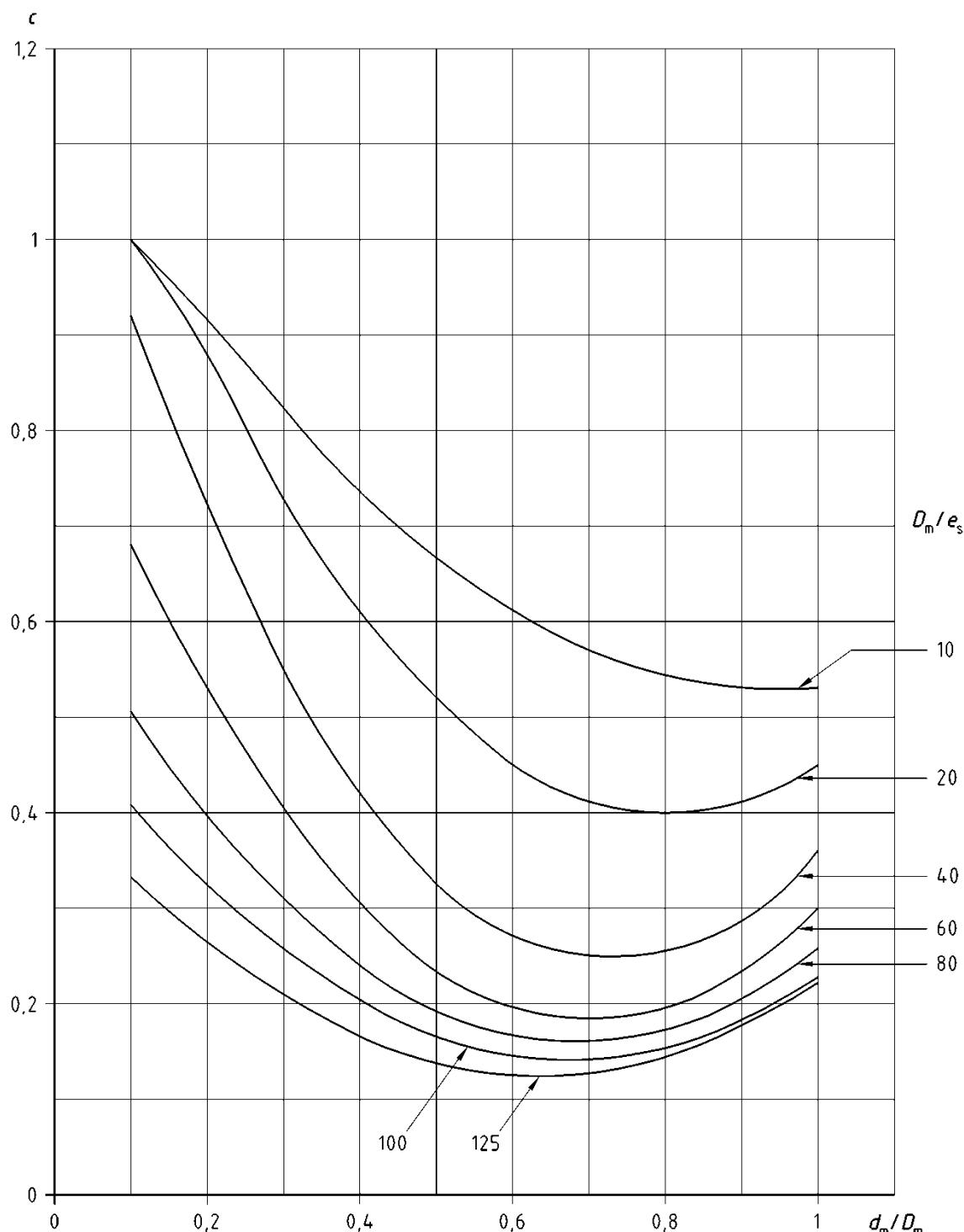


Bild 0.3.2-37 — Koeffizient c/fh_b für $e_b/e_s = 1,5$

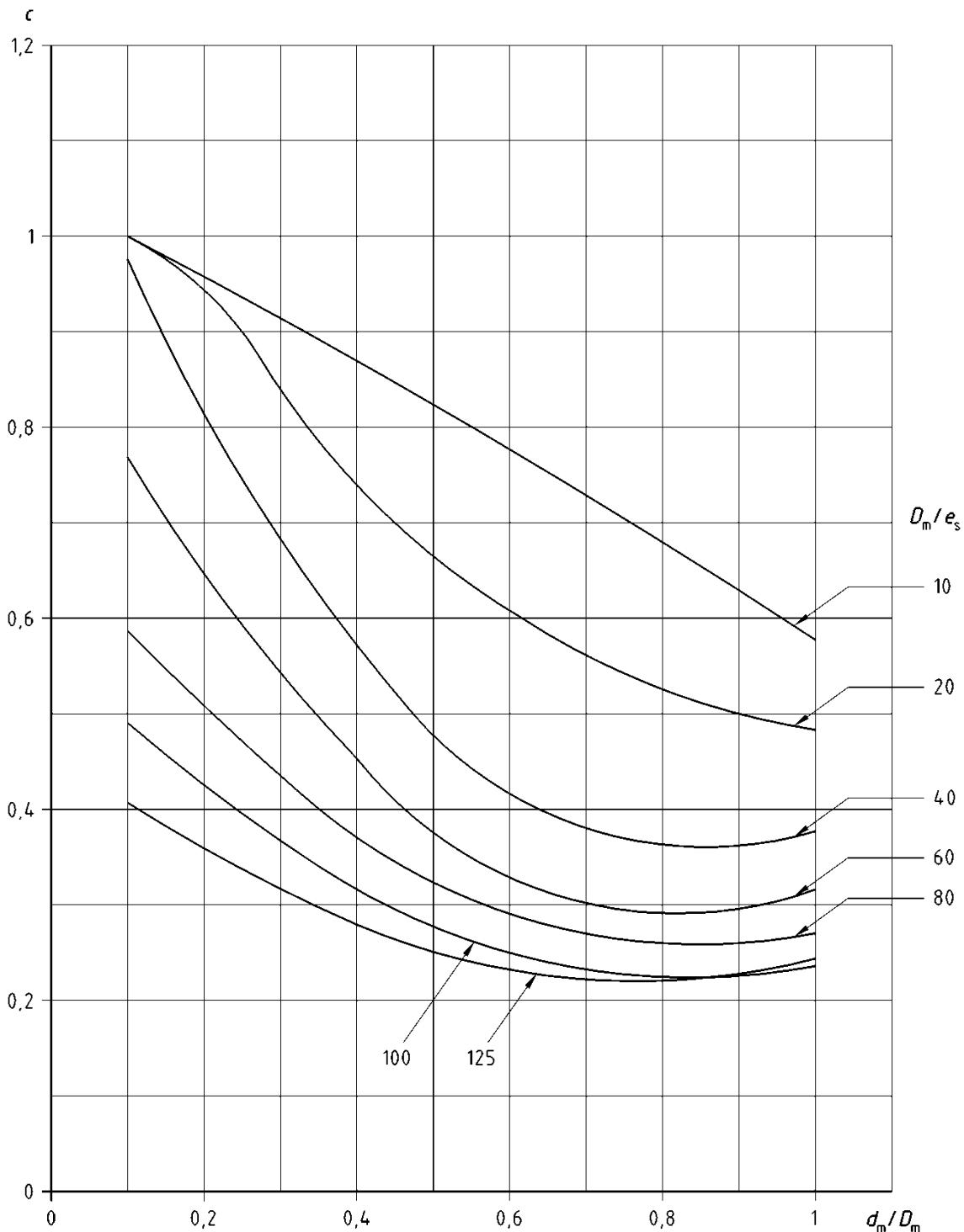


Bild O.3.2-38 — Koeffizient c_{fp_b} für $e_b/e_s = 1,5$

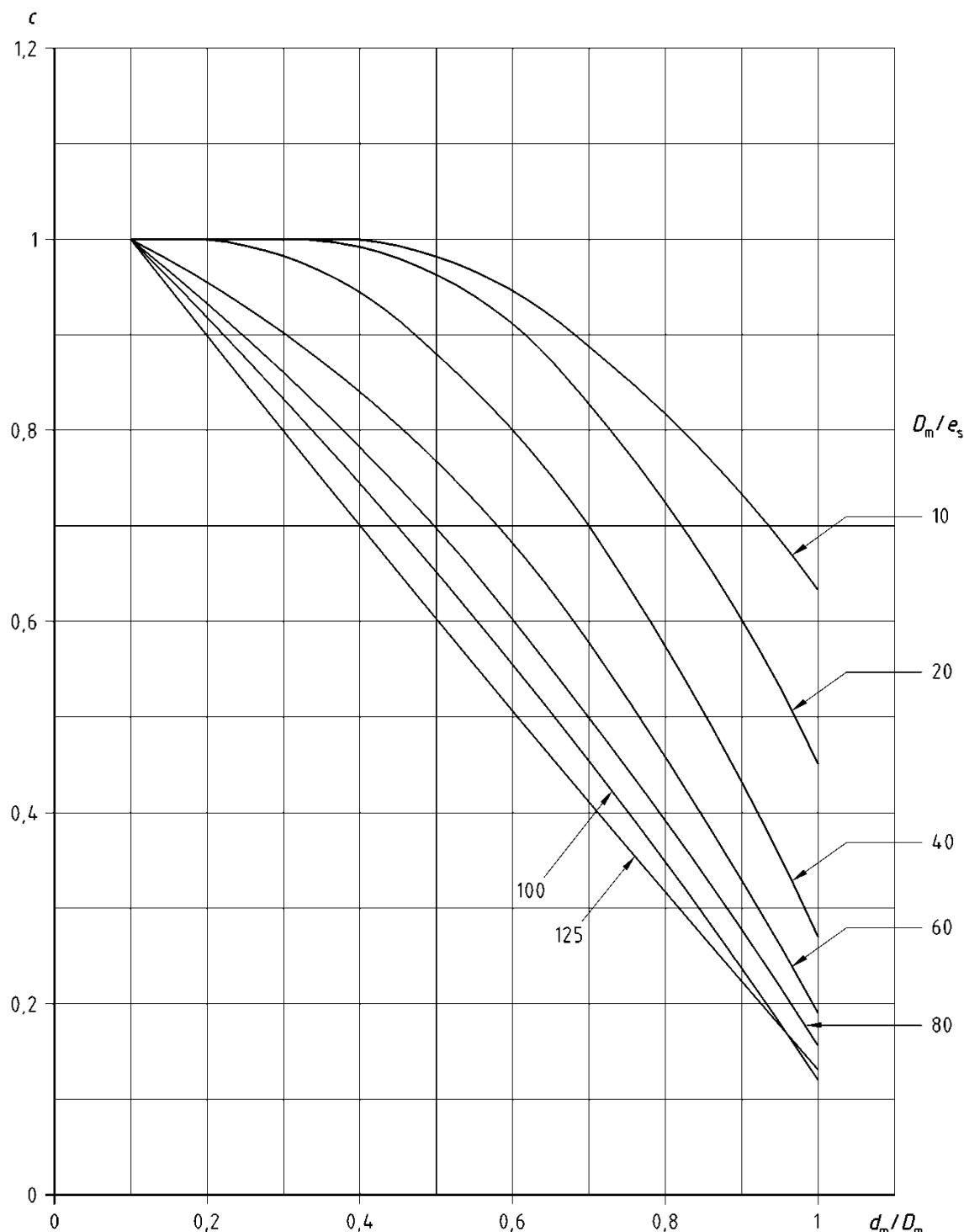


Bild O.3.2-39 — Koeffizient c_{t_b} für $e_b/e_s = 1,5$

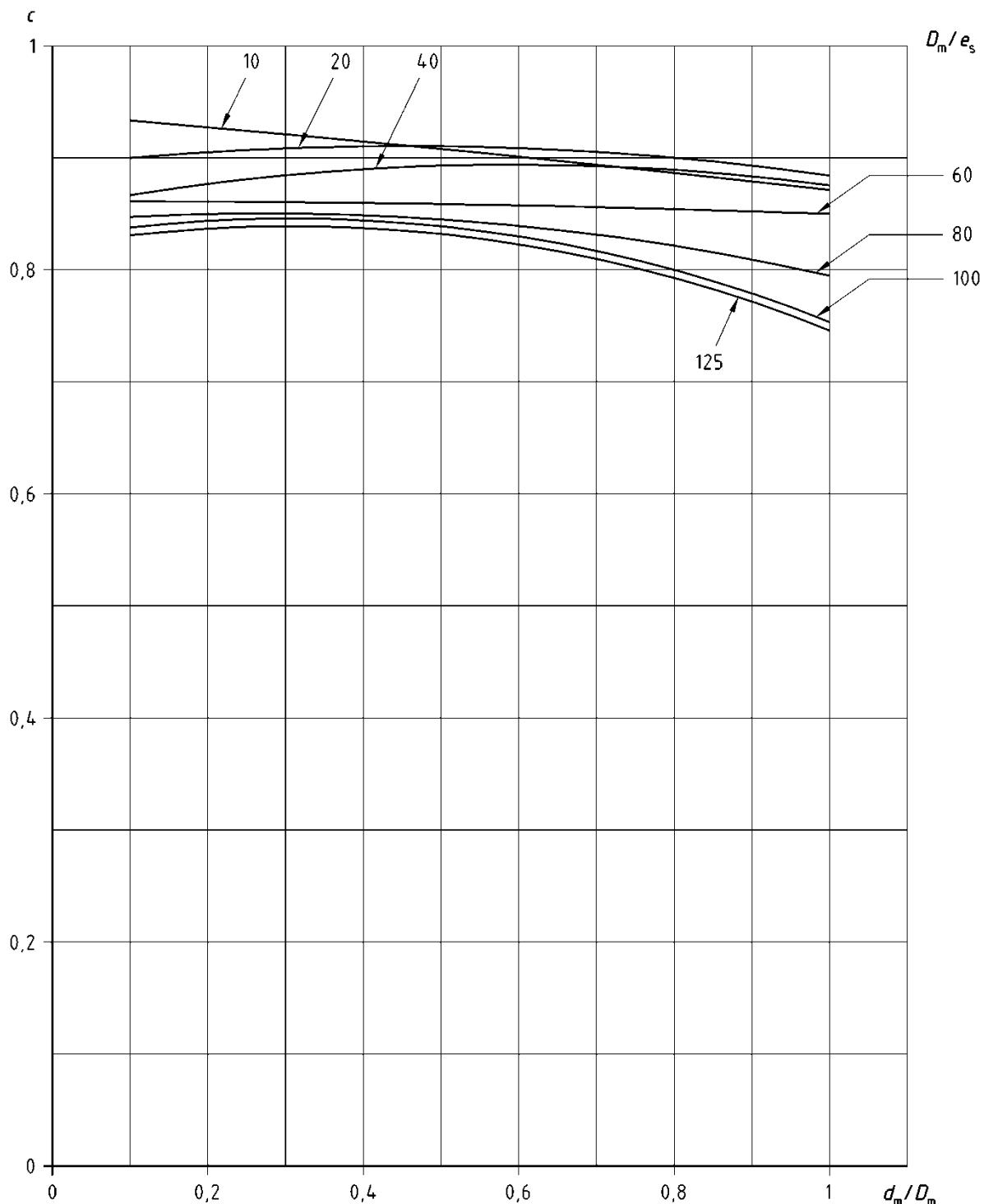


Bild O.3.2-40 — Koeffizient $c f h_s$ für $e_b/e_s = 1,5$

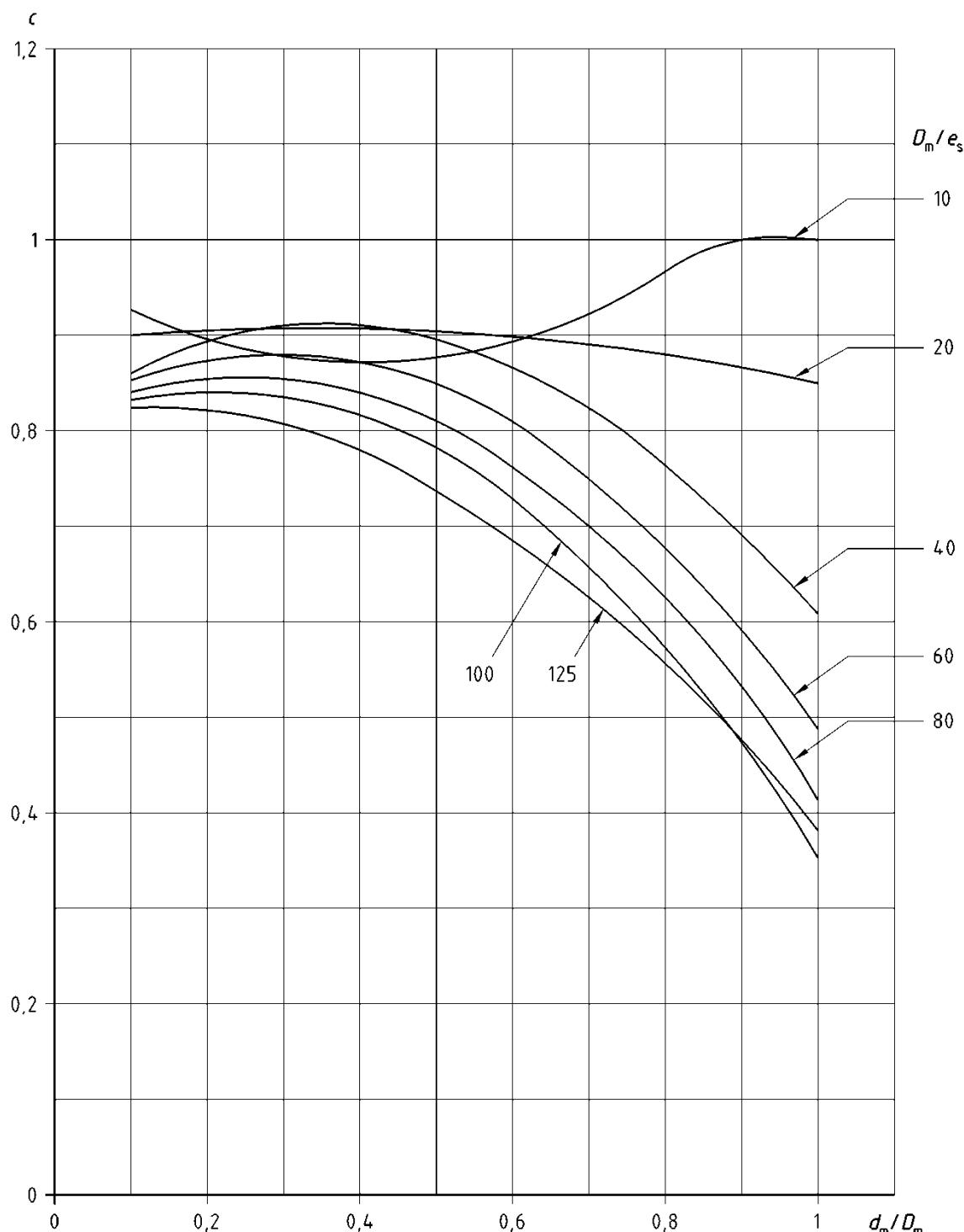


Bild O.3.2-41 — Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 1,5$

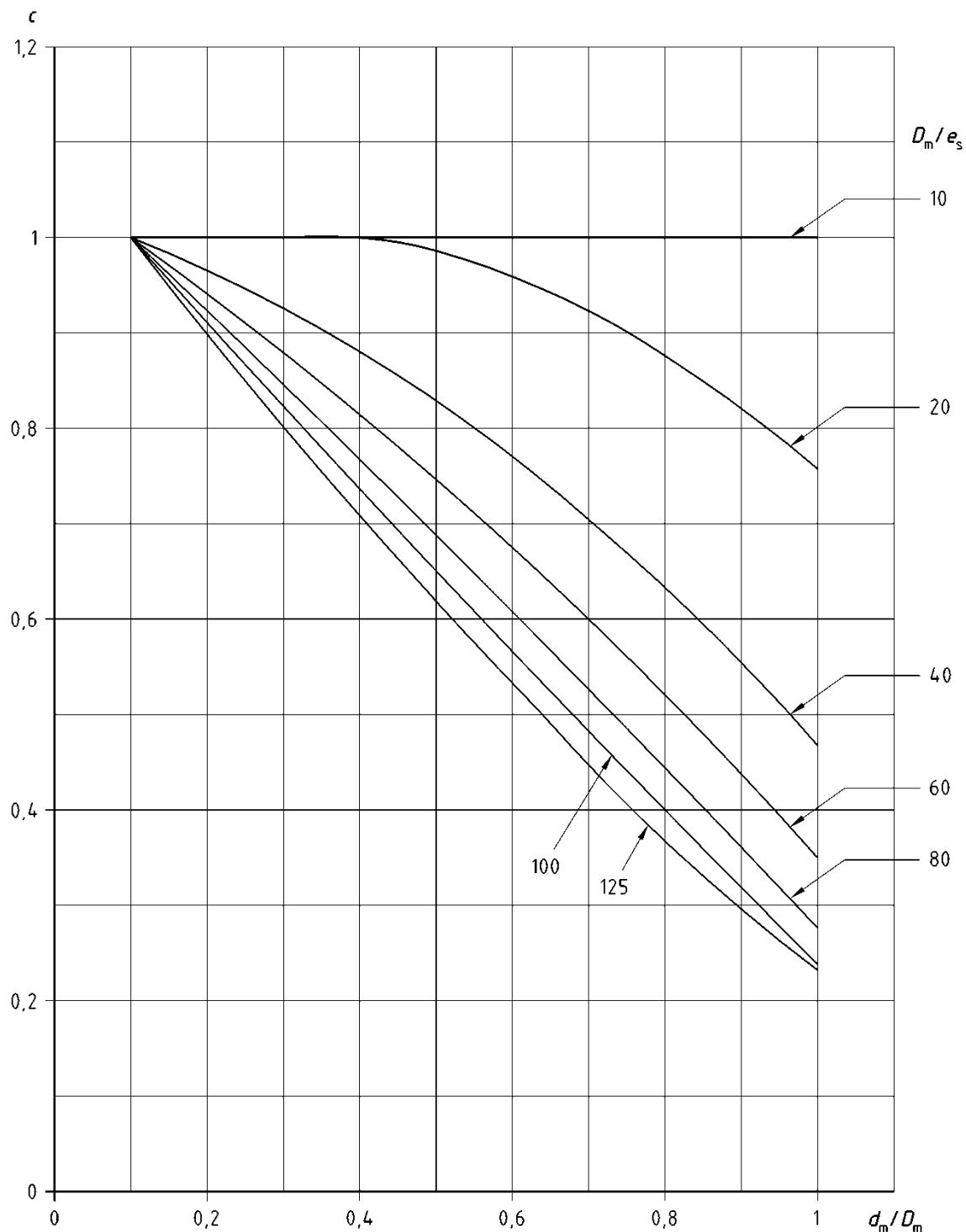


Bild O.3.2-42 — Koeffizient c_{ts} für $e_b/e_s = 1,5$

Tabelle O.3.2-2 — Koeffizienten für die Polynominalgleichungen zur Darstellung der Kurven in den Bildern O.3.2-7 bis O.3.2-42

	D_m/e_s	A	B	C
Bild O.3.2-7 Koeffizient cjh_b für $e_b/e_s = 0,2$	10	0,763 7	- 1,155 6	1,310 4
	20	0,676 8	- 0,952 0	1,182 4
	40	0,322 6	- 0,475 4	1,023 7
	60	0,225 9	- 0,348 9	0,980 9
	80	0,542 1	- 0,675 0	1,001 3
	100	1,210 8	- 1,371 2	1,065 0
	125	1,675 7	- 1,875 5	1,093 6
Bild O.3.2-8 Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 0,2$	10	0,960 7	- 1,385 4	1,325 5
	20	0,604 2	- 0,917 2	1,178 4
	40	0,303 5	- 0,470 4	1,018 3
	60	0,206 9	- 0,332 8	0,969 4
	80	0,196 5	- 0,300 4	0,952 8
	100	0,130 5	- 0,282 5	0,946 2
	125	0,292 5	- 0,525 9	0,945 4
Bild O.3.2-9 Koeffizient ct_b für $e_b/e_s = 0,2$	10	- 0,028 6	0,012 7	1,011 0
	20	0,057 2	- 0,072 3	1,028 4
	40	- 0,003 4	- 0,024 5	1,017 2
	60	- 0,482 0	0,272 1	0,988 2
	80	- 0,877 9	0,516 0	0,966 0
	100	- 1,095 5	0,653 4	0,952 9
	125	- 1,348 9	0,818 2	0,938 4
Bild O.3.2-10 Koeffizient cjh_s für $e_b/e_s = 0,2$	10	- 0,394 7	0,234 8	0,872 6
	20	- 0,519 4	0,388 9	0,843 4
	40	- 0,657 1	0,488 0	0,816 4
	60	- 0,702 1	0,453 3	0,814 1
	80	- 0,763 2	0,463 8	0,808 4
	100	- 0,809 2	0,488 2	0,799 2
	125	- 0,859 9	0,515 5	0,790 9
Bild O.3.2-11 Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 0,2$	10	- 0,604 7	0,138 3	0,887 1
	20	- 0,670 1	0,184 8	0,865 4
	40	- 0,661 8	0,113 6	0,853 5
	60	- 0,546 8	- 0,066 1	0,863 6
	80	- 0,390 0	- 0,279 0	0,877 8
	100	- 0,249 1	- 0,456 2	0,888 0
	125	- 0,128 8	- 0,610 9	0,896 6
Bild O.3.2-12 Koeffizient ct_s für $e_b/e_s = 0,2$	10	- 0,022 1	- 0,690 7	1,067 2
	20	- 0,092 0	- 0,707 9	1,069 8
	40	0,021 4	- 0,933 2	1,090 6
	60	0,286 6	- 1,261 8	1,120 5
	80	0,539 9	- 1,560 7	1,147 6
	100	0,736 0	- 1,787 4	1,168 1
	125	0,924 8	- 2,006 3	1,187 6
Bild O.3.2-13 Koeffizient cjh_b für $e_b/e_s = 0,5$	10	0,449 7	- 0,789 8	1,310 6
	20	0,304 5	- 0,594 6	1,112 1
	40	0,899 6	- 1,315 5	1,091 9
	60	1,617 9	- 2,143 4	1,151 3
	80	2,003 6	- 2,627 4	1,206 7
	100	1,741 7	- 2,223 8	1,015 4
	125	1,489 0	- 1,836 0	0,838 5
Bild O.3.2-14 Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 0,5$	10	1,191 3	- 1,520 5	1,282 7
	20	0,447 8	- 0,705 3	1,125 9
	40	0,153 7	- 0,446 5	1,006 5
	60	0,686 4	- 1,135 4	1,041 5
	80	1,034 0	- 1,592 6	1,077 4
	100	1,205 0	- 1,816 0	1,075 5
	125	1,002 5	- 1,510 6	0,912 5

(fortgesetzt)

Tabelle O.3.2-2 (fortgesetzt)

	D_m/e_s	A	B	C
Bild 0.3.2-15 Koeffizient ct_b für $e_b/e_s = 0,5$	10	0,176 5	- 0,181 4	1,041 0
	20	- 0,439 2	0,230 8	0,999 2
	40	- 1,171 2	0,700 5	0,951 7
	60	- 1,460 5	0,859 1	0,935 6
	80	- 1,498 3	0,811 1	0,939 4
	100	- 1,438 7	0,686 9	0,950 4
	125	- 1,291 4	0,476 9	0,969 3
Bild 0.3.2-16 Koeffizient cjh_s für $e_b/e_s = 0,5$	10	- 0,371 1	0,300 2	0,875 2
	20	- 0,439 8	0,370 1	0,848 9
	40	- 0,505 4	0,386 9	0,826 7
	60	- 0,551 0	0,363 7	0,821 5
	80	- 0,609 7	0,369 9	0,818 8
	100	- 0,695 8	0,429 9	0,803 9
	125	- 0,757 6	0,461 3	0,795 3
Bild 0.3.2-17 Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 0,5$	10	- 0,576 6	0,246 4	0,881 2
	20	- 0,701 2	0,306 7	0,857 3
	40	- 0,726 5	0,236 5	0,843 4
	60	- 0,639 0	0,080 8	0,849 9
	80	- 0,539 4	- 0,070 6	0,860 3
	100	- 0,494 4	- 0,149 1	0,859 1
	125	- 0,420 3	- 0,262 8	0,864 4
Bild 0.3.2-18 Koeffizient ct_s für $e_b/e_s = 0,5$	10	- 0,173 2	- 0,416 3	1,044 0
	20	- 0,185 4	- 0,530 0	1,054 5
	40	- 0,072 6	- 0,793 3	1,078 7
	60	0,097 8	- 1,033 2	1,100 4
	80	0,258 4	- 1,236 8	1,118 9
	100	0,354 7	- 1,364 2	1,130 4
	125	0,471 4	- 1,511 2	1,143 8
Bild 0.3.2-19 Koeffizient cjh_b für $e_b/e_s = 0,8$	10	- 0,053 8	- 0,363 7	1,110 3
	20	0,660 4	- 1,220 7	1,158 1
	40	1,505 3	- 2,199 9	1,183 0
	60	1,809 7	- 2,513 9	1,140 4
	80	1,485 5	- 2,005 7	0,905 5
	100	1,153 1	- 1,515 6	0,706 4
	125	0,960 4	- 1,227 3	0,579 6
Bild 0.3.2-20 Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 0,8$	10	- 0,274 7	- 0,108 3	1,189 4
	20	0,027 1	- 0,452 9	1,094 8
	40	0,683 9	- 1,251 6	1,084 5
	60	1,163 5	- 1,843 1	1,127 5
	80	1,045 7	- 1,624 8	0,968 8
	100	0,768 6	- 1,201 7	0,773 8
	125	0,619 4	- 0,963 0	0,646 3
Bild 0.3.2-21 Koeffizient ct_b für $e_b/e_s = 0,8$	10	- 0,484 6	0,254 4	0,996 2
	20	- 0,986 9	0,576 5	0,966 7
	40	- 1,423 8	0,792 6	0,942 9
	60	- 1,414 9	0,671 5	0,952 7
	80	- 1,327 0	0,514 8	0,966 0
	100	- 1,173 2	0,308 4	0,984 8
	125	- 0,907 8	- 0,005 9	1,013 3
Bild 0.3.2-22 Koeffizient cjh_s für $e_b/e_s = 0,8$	10	- 0,157 1	0,168 1	0,884 8
	20	- 0,256 7	0,246 9	0,861 6
	40	- 0,342 2	0,273 0	0,841 0
	60	- 0,372 6	0,233 4	0,840 7
	80	- 0,457 1	0,275 2	0,826 7
	100	- 0,554 8	0,342 4	0,811 2
	125	- 0,619 3	0,375 8	0,802 4

(fortgesetzt)

Tabelle O.3.2-2 (fortgesetzt)

	D_m/e_s	A	B	C
Bild O.3.2-23 Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 0,8$	10	- 0,551 9	0,363 1	0,867 5
	20	- 0,706 6	0,419 0	0,847 6
	40	- 0,771 8	0,351 4	0,835 8
	60	- 0,695 6	0,191 0	0,845 1
	80	- 0,626 3	0,069 3	0,847 5
	100	- 0,584 9	- 0,011 0	0,845 7
	125	- 0,493 1	- 0,141 0	0,852 4
Bild O.3.2-24 Koeffizient ct_s für $e_b/e_s = 0,8$	10	- 0,359 4	- 0,075 0	1,011 2
	20	- 0,317 4	- 0,283 7	1,031 9
	40	- 0,163 7	- 0,635 8	1,064 8
	60	- 0,008 5	- 0,878 0	1,086 9
	80	0,131 2	- 1,069 7	1,104 3
	100	0,209 7	- 1,184 4	1,114 7
	125	0,311 9	- 1,317 8	1,126 8
Bild O.3.2-25 Koeffizient cfh_b für $e_b/e_s = 1,0$	10	0,084 8	- 0,508 8	1,024 7
	20	0,971 8	- 1,640 6	1,197 8
	40	1,684 0	- 2,472 7	1,214 2
	60	1,577 5	- 2,216 6	1,004 2
	80	1,258 6	- 1,724 3	0,783 7
	100	0,970 1	- 1,298 2	0,610 5
	125	0,858 3	- 1,080 2	0,502 8
Bild O.3.2-26 Koeffizient cfp_b für $e_b/e_s = 1,0$	10	- 0,176 3	- 0,242 7	1,119 6
	20	0,284 1	- 0,835 0	1,133 0
	40	0,857 0	- 1,520 4	1,113 6
	60	1,052 5	- 1,708 0	1,041 3
	80	0,838 8	- 1,349 7	0,845 3
	100	0,597 4	- 0,977 4	0,672 4
	125	0,564 4	- 0,826 2	0,564 4
Bild O.3.2-27 Koeffizient ct_b für $e_b/e_s = 1,0$	10	- 0,815 5	0,519 2	0,974 6
	20	- 1,117 3	0,650 8	0,958 9
	40	- 1,376 7	0,699 9	0,950 3
	60	- 1,339 9	0,556 8	0,962 7
	80	- 1,187 6	0,337 1	0,982 0
	100	- 0,968 1	0,065 8	1,006 9
	125	- 0,613 3	- 0,308 8	1,040 8
Bild O.3.2-28 Koeffizient cfh_s für $e_b/e_s = 1,0$	10	- 0,029 2	0,058 5	0,900 5
	20	- 0,147 6	0,163 5	0,875 1
	40	- 0,234 1	0,198 9	0,850 7
	60	- 0,264 9	0,165 8	0,846 3
	80	- 0,353 6	0,212 1	0,831 9
	100	- 0,454 9	0,281 5	0,816 3
	125	- 0,421 4	0,256 4	0,812 4
Bild O.3.2-29 Koeffizient cfp_s für $e_b/e_s = 1,0$	10	- 0,453 8	0,351 2	0,884 2
	20	- 0,662 3	0,445 8	0,850 4
	40	- 0,777 5	0,409 1	0,832 7
	60	- 0,735 5	0,275 8	0,837 5
	80	- 0,677 3	0,160 6	0,838 7
	100	- 0,641 9	0,083 0	0,836 7
	125	- 0,388 0	- 0,147 6	0,851 7
Bild O.3.2-30 Koeffizient ct_s für $e_b/e_s = 1,0$	10	- 0,472 0	0,161 2	0,989 3
	20	- 0,399 3	- 0,110 8	1,015 7
	40	- 0,218 5	- 0,525 6	1,054 8
	60	- 0,063 8	- 0,782 5	1,078 4
	80	0,068 2	- 0,974 6	1,095 9
	100	0,145 9	- 1,093 4	1,106 7
	125	0,299 9	- 1,258 7	1,121 4

(fortgesetzt)

Tabelle O.3.2-2 (fortgesetzt)

	D_m/e_s	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Bild 0.3.2-31 Koeffizient $c_f h_b$ für $e_b/e_s = 1,2$	10	0,344 1	- 0,804 4	1,022 6
	20	1,220 8	- 1,961 3	1,232 8
	40	1,749 8	- 2,566 4	1,208 6
	60	1,442 9	- 2,032 3	0,918 5
	80	1,097 0	- 1,505 2	0,691 7
	100	0,874 6	- 1,176 8	0,553 4
	125	0,721 4	- 0,946 7	0,452 2
Bild 0.3.2-32 Koeffizient $c_f p_b$ für $e_b/e_s = 1,2$	10	- 0,093 8	- 0,340 1	1,061 1
	20	0,520 8	- 1,156 3	1,169 4
	40	0,981 1	- 1,704 8	1,134 4
	60	0,930 9	- 1,547 1	0,962 3
	80	0,641 6	- 1,084 1	0,739 5
	100	0,481 9	- 0,830 6	0,609 3
	125	0,367 5	- 0,641 5	0,505 3
Bild 0.3.2-33 Koeffizient $c_t b$ für $e_b/e_s = 1,2$	10	- 0,835 3	0,501 2	0,974 7
	20	- 1,126 2	0,635 1	0,959 3
	40	- 1,290 8	0,591 3	0,960 0
	60	- 1,166 3	0,358 2	0,980 5
	80	- 0,888 5	0,007 8	1,012 2
	100	- 0,662 2	- 0,269 6	1,037 9
	125	- 0,400 7	- 0,575 9	1,066 2
Bild 0.3.2-34 Koeffizient $c_f h_s$ für $e_b/e_s = 1,2$	10	0,055 5	- 0,082 9	0,913 4
	20	- 0,046 9	0,055 8	0,884 7
	40	- 0,139 1	0,139 7	0,855 7
	60	- 0,168 6	0,109 3	0,850 2
	80	- 0,256 1	0,154 7	0,836 1
	100	- 0,357 4	0,222 7	0,821 2
	125	- 0,433 9	0,263 9	0,811 7
Bild 0.3.2-35 Koeffizient $c_f p_s$ für $e_b/e_s = 1,2$	10	- 0,133 5	0,119 2	0,900 9
	20	- 0,486 9	0,348 1	0,858 4
	40	- 0,772 7	0,464 2	0,827 0
	60	- 0,764 4	0,354 5	0,829 8
	80	- 0,724 4	0,251 6	0,829 5
	100	- 0,692 7	0,172 2	0,828 8
	125	- 0,613 1	0,045 7	0,834 4
Bild 0.3.2-36 Koeffizient $c_t s$ für $e_b/e_s = 1,2$	10	- 0,529 7	0,362 5	0,970 4
	20	- 0,445 6	0,043 9	1,000 9
	40	- 0,265 4	- 0,411 6	1,044 2
	60	- 0,111 5	- 0,686 4	1,069 7
	80	0,017 5	- 0,885 9	1,088 0
	100	0,094 8	- 1,010 7	1,099 4
	125	0,186 7	- 1,142 5	1,111 4
Bild 0.3.2-37 Koeffizient $c_f h_b$ für $e_b/e_s = 1,5$	10	0,675 6	- 1,300 2	1,147 0
	20	1,354 7	- 2,162 1	1,231 5
	40	1,687 4	- 2,475 2	1,146 7
	60	1,373 6	- 1,934 2	0,862 6
	80	1,014 6	- 1,390 9	0,634 5
	100	0,828 4	- 1,116 7	0,516 3
	125	0,702 3	- 0,891 4	0,412 4
Bild 0.3.2-38 Koeffizient $c_f p_b$ für $e_b/e_s = 1,5$	10	- 0,033 2	- 0,439 6	1,052 4
	20	0,696 3	- 1,412 8	1,205 8
	40	1,136 9	- 1,913 3	1,153 1
	60	0,899 0	- 1,490 3	0,905 4
	80	0,587 1	- 1,005 6	0,685 6
	100	0,422 0	- 0,753 1	0,563 5
	125	0,366 6	- 0,588 1	0,461 3

(fortgesetzt)

Tabelle O.3.2-2 (fortgesetzt)

	D_m/e_s	A	B	C
Bild O.3.2-39 Koeffizient $c t_b$ für $e_b/e_s = 1,5$	10	- 0,685 2	0,336 7	0,986 0
	20	- 1,039 4	0,530 7	0,967 2
	40	- 1,052 0	0,333 0	0,982 9
	60	- 0,657 7	- 0,182 4	1,029 9
	80	- 0,369 9	- 0,545 3	1,063 6
	100	- 0,182 8	- 0,782 2	1,086 2
	125	0,078 2	- 1,065 2	1,112 7
Bild O.3.2-40 Koeffizient $c f h_s$ für $e_b/e_s = 1,5$	10	0,007 0	- 0,068 2	0,940 3
	20	- 0,070 0	0,060 5	0,896 5
	40	- 0,076 3	0,099 6	0,858 9
	60	- 0,026 9	0,013 8	0,862 2
	80	- 0,116 6	0,070 4	0,843 1
	100	- 0,211 9	0,132 8	0,829 5
	125	- 0,210 5	0,129 7	0,822 9
Bild O.3.2-41 Koeffizient $c f p_s$ für $e_b/e_s = 1,5$	10	0,529 5	- 0,433 8	0,966 5
	20	- 0,150 4	0,108 8	0,889 6
	40	- 0,725 5	0,509 4	0,821 9
	60	- 0,770 3	0,435 4	0,824 1
	80	- 0,771 6	0,368 2	0,818 1
	100	- 0,754 0	0,295 6	0,817 6
	125	- 0,523 5	0,075 7	0,831 1
Bild O.3.2-42 Koeffizient $c t_s$ für $e_b/e_s = 1,5$	10	- 0,492 6	0,563 4	0,950 2
	20	- 0,476 6	0,253 8	0,980 5
	40	- 0,335 0	- 0,224 1	1,026 5
	60	- 0,174 6	- 0,535 6	1,055 7
	80	- 0,049 6	- 0,750 1	1,075 6
	100	0,025 6	- 0,884 5	1,088 1
	125	0,184 7	- 1,066 1	1,104 3

ANMERKUNG Die Kurven in den Diagrammen O.3.2-7 bis O.3.2-42 können durch die folgende Polynominalgleichung dargestellt werden:

$$c = \text{MIN} [(Ax^2 + Bx + C); 1] \quad (\text{T.O.3.3-2.2})$$

Dabei ist

$$x = d_m/D_m$$

Die Koeffizienten A, B und C sind für jede Kurve des jeweiligen Diagramms in Abhängigkeit von dem Verhältnis D_m/e_s angegeben.

**Anhang P
(informativ)**

Empfohlene Dichtungen für industrielle Rohrleitungen

Die für industrielle Rohrleitungen empfohlenen Dichtungen sind in Tabelle P.1 enthalten.

Tabelle P.1 — Empfohlene Dichtungen für industrielle Rohrleitungen

Dichtungsart	EN 1514 (Flansche PN)	EN 12560 (Flansche CLASS)	Chemische Verträglichkeit	Maximale Temperatur	Maximaler Innendruck des Fluids (bar)	PN max (EN 1514)	CLASS max (EN 12560)	Oberflächen- beschaffenheit (Ra)
Faser	1514-1	12560-1	Alle Fluide (Achtung bei Dampf: Hydrolysegefahr)	250 °C	50	63	900	3,2 µm bis 12,5 µm
Graphit	1514-1	12560-1	Oxidationsgefahr	350 °C (in oxidierender Umgebung) 550 °C mit Inhibitor oder nicht oxidierender Umgebung	50	63	900	3,2 µm bis 12,5 µm
PTFE	1514-1	12560-1	Alle Fluide	Pure PTFE: 120 °C codified PTFE 225 °C	50	63	900	3,2 µm bis 12,5 µm
Spiraldichtung	1514-2	12560-2	Je nach Einlage, Werkstoffe für Spiraldichtung und Ringdichtung (Oxidationsgefahr bei Graphit-Einlage)	> 600 °C (Vermiculit-Einlage) 600 °C (Graphit-Einlage) 250 °C (PTFE-Einlage) 400	400	100 (mit Innenring)	900 (ohne Innenring) 2500 (mit Innenring)	12,5 µm für P < 12 bar 6,4 µm für P > 20 bar 3,2 µm für harte Bedingungen 1,6 µm für Vakuum
Kammprofil	1514-6	12560-6	Je nach den Werkstoffen innen und für die Umhüllung (Oxidationsgefahr bei Graphit-Umhüllung)	600 °C (darf begrenzt werden auf 260 °C, z. B. durch PTFE-Umhüllung)	400	100	2500	3,2 µm bis 6,4 µm 1,6 µm für Vakuum
Metallummantelt	1514-4 (metallummantelt) 1514-7 (metallummantelt mit Auflage))	1514-4 (metallummantelt) 1514-7 (metallummantelt mit Auflage)	Die meisten industriellen Fluide	Je nach Umhüllung	> 400	100	2500	0,8 µm bis 3,2 µm (nicht umhüllt) 1,6 µm bis 12,5 µm (umhüllt)
Metal	1514-4	12560-5 (RT) 12560-4 (Flachdichtungen aus Metall)	Je nach Werkstoff	Hoch	500	100	2500	1,6 µm
Ring-joint			Je nach Werkstoff	Je nach Werkstoff	> 400			1,6 µm
Expandiertes Graphit			Alle Fluide	600 °C	500			1,6 µm bis 6,4 µm

Anhang Q (informativ)

Vereinfachte Analyse von Spannungen in Rohrleitungen

Q.1 Allgemeines

Die Auslegung aller Rohrleitungsteile gegen Innen- und Außendruck sollte nach EN 13840-3 erfolgen. Spannungen aufgrund von ständig wirkenden, gelegentlich wirkenden und außergewöhnlichen Lasten sowie Wärmedehnung und Lastwechseln sind zu berücksichtigen, um die Anforderungen der Norm an die Spannung für den betreffenden Lastfall zu erfüllen.

Q.2 Vereinfachtes Verfahren

Q.2.1 Allgemeines

Abweichend von Q.1 können die Spannungen durch Massenkräfte und Temperaturschwankungen einfach nach Q.2.2 und Q.2.3, unabhängig von den jeweils anderen Lasten, einfach bestimmt werden (siehe 12.2.10).

Dieses Verfahren sollte ausschließlich von erfahrenem Personal angewendet werden. Es liefert keine Angaben zu den Lasten an Verankerungspunkten und sollte nicht bei Rohrleitungen angewendet werden, die innerhalb des Zeitstandbereiches betrieben werden.

Dieses Verfahren gilt ausschließlich für nicht erdverlegte Rohrleitungen. Erdverlegte Rohrleitungen erfordern zusätzliche Überlegungen, z. B. hinsichtlich senkrecht wirkender Erddichten, behinderter Ausdehnung durch Bodenwiderstand oder -senkung. Diese werden beim vereinfachten Verfahren nicht berücksichtigt.

Q.2.2 Festlegung der zulässigen Abstände zwischen Rohrhalterungen

Die Spezifikation der zulässigen Stützweiten begrenzt die Auswirkungen des Eigengewichtes der Rohrleitung auf die Durchbiegungen und Spannungen. Dies ermöglicht es, Innendruck und Eigengewicht der Rohrleitung unabhängig voneinander zu betrachten. Die Zulässigkeit der Stützweiten ist für Stahlrohre bei Einhaltung der in Tabelle Q.1 festgelegten Werte und bei Berücksichtigung der Erläuterungen zur Festlegung der zulässigen Abstände zwischen Rohrhalterungen nachgewiesen. Bei anderen Parametern, z. B. anderen Werkstoffen, können die Werte in Tabelle Q.1 entsprechend den Angaben in den diesbezüglichen Erläuterungen in Tabelle Q.1 umgerechnet werden.

Q.2.3 Elastizitätskontrolle

Für die Einhaltung der Spannungsgrenzen im Lastfall Wärmedehnung muss die Rohrleitung eine ausreichende Elastizität aufweisen. Dies wird gewöhnlich durch eine Leitungsführung erreicht, die durch kompensierende Maßnahmen Biege- und Torsionsverformung ermöglicht. Eine Konstruktionsberechnung für die Elastizitätsbemessung ist nicht erforderlich, wenn die kompensierende Länge den Bedingungen in Bild Q.2 entspricht. Es wird angenommen, dass die Bedeutung von Torsionsspannungen aufgrund der Leitungsführung geringer ist.

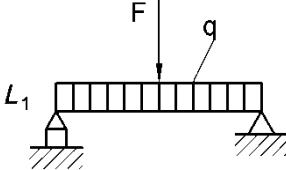
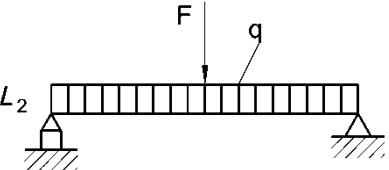
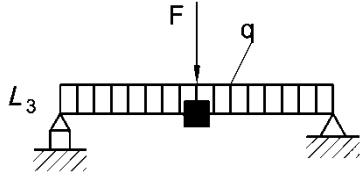
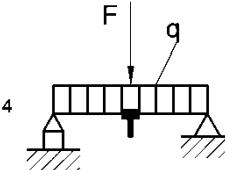
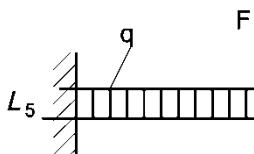
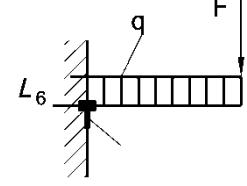
Beispiele und Erläuterungen für die in Bild Q.2 dargestellte Anwendung sind Q.9 zu entnehmen.

Tabelle Q.1 — Zulässige Stützweiten für Stahlrohre
 (Lagerungsbedingungen sind den Erläuterungen zu Tabelle Q.1 zu entnehmen)

			Leere Rohrleitung ohne Dämmung						Mit Wasser gefüllte Rohrleitung ohne Dämmung						Mit Wasser gefüllte Rohrleitung, Dicke der Dämmung 40 mm						Mit Wasser gefüllte Rohrleitung, Dicke der Dämmung 80 mm									
DN	d_a	s	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	q	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
	mm	kg/m			m					kg/m			m				kg/m			m				kg/m			m			
25	33,7	2,0	1,6	2,9	5,6	4,8	2,9	2,8	1,5	2,3	2,7	4,6	4,0	2,5	2,3	1,2	7,0	2,0	2,7	2,3	1,4	1,3	0,7	11,8	1,8	2,0	1,8	1,1	1,0	0,5
25	33,7	4,0	2,9	2,9	5,2	5,2	3,6	2,6	1,8	3,5	2,8	4,8	4,8	3,3	2,4	1,7	8,1	2,2	3,2	3,2	2,2	1,6	1,1	13,0	2,0	2,5	2,5	1,7	1,3	0,9
40	48,3	2,0	2,3	3,6	6,8	5,2	3,2	3,4	1,6	3,9	3,1	5,2	4,0	2,4	2,6	1,2	9,2	2,5	3,4	2,6	1,6	1,7	0,8	14,3	2,3	2,7	2,1	1,3	1,4	0,6
40	48,3	4,0	4,4	3,5	6,5	6,4	3,9	3,3	1,9	5,7	3,3	5,7	5,6	3,4	2,9	1,7	11,0	2,8	4,1	4,0	2,5	2,1	1,2	16,1	2,5	3,4	3,3	2,0	1,7	1,0
50	60,3	2,0	2,9	4,0	7,6	5,4	3,3	3,8	1,7	5,4	3,4	5,6	4,0	2,4	2,8	1,2	11,3	2,9	3,9	2,7	1,7	1,9	0,8	16,6	2,6	3,2	2,3	1,4	1,6	0,7
50	60,3	4,5	6,2	3,9	7,3	6,9	4,2	3,7	2,1	8,3	3,6	6,4	6,0	3,6	3,2	1,8	14,2	3,2	4,9	4,6	2,8	2,4	1,4	19,4	2,9	4,2	3,9	2,4	2,1	1,2
80	88,9	2,3	5,0	5,5	9,3	6,1	3,7	4,7	1,9	10,6	4,6	6,4	4,2	2,5	3,2	1,3	17,8	4,0	4,9	3,2	2,0	2,5	1,0	23,5	3,7	4,3	2,8	1,7	2,1	0,9
80	88,9	5,6	11,5	5,4	9,0	8,0	4,9	4,5	2,4	16,3	5,0	7,6	6,7	4,1	3,8	2,1	23,5	4,5	6,3	5,6	3,4	3,2	1,7	29,2	4,3	5,7	5,0	3,1	2,8	1,5
100	114,3	2,6	7,3	6,3	10,6	6,6	4,0	5,3	2,0	16,6	5,1	7,0	4,4	2,7	3,5	1,3	25,0	4,6	5,7	3,5	2,2	2,9	1,1	31,1	4,4	5,1	3,2	1,9	2,6	1,0
100	114,3	6,3	16,8	6,2	10,3	8,7	5,3	5,1	2,7	24,9	5,6	8,5	7,1	4,4	4,2	2,2	33,3	5,2	7,3	6,2	3,8	3,7	1,9	39,4	5,0	6,7	5,7	3,5	3,4	1,7
150	168,3	2,6	10,8	7,6	13,0	7,1	4,3	6,5	2,2	31,7	5,8	7,6	4,1	2,5	3,8	1,3	42,6	5,4	6,5	3,6	2,2	3,3	1,1	49,5	5,2	6,0	3,3	2,0	3,0	1,0
150	168,3	7,1	28,2	7,5	12,6	9,7	5,9	6,3	3,0	46,9	6,6	9,8	7,6	4,6	4,9	2,3	57,8	6,3	8,8	6,8	4,2	4,4	2,1	64,7	6,1	8,4	6,4	3,9	4,2	2,0
200	219,1	2,9	15,7	8,7	14,8	7,7	4,7	7,4	2,3	51,4	6,5	8,2	4,2	2,6	4,1	1,3	64,7	6,1	7,3	3,8	2,3	3,6	1,2	72,3	5,9	6,9	3,6	2,2	3,4	1,1
200	219,1	7,1	37,1	8,6	14,6	10,2	6,2	7,3	3,1	70,1	7,4	10,6	7,4	4,5	5,3	2,3	83,4	7,1	9,7	6,8	4,2	4,9	2,1	91,0	6,9	9,3	6,5	4,0	4,7	2,0
250	273,0	2,9	19,6	9,8	16,6	8,0	4,9	8,3	2,4	75,6	6,9	8,4	4,1	2,5	4,2	1,2	91,5	6,6	7,7	3,7	2,3	3,8	1,1	99,9	6,5	7,3	3,5	2,2	3,7	1,1
250	273,0	7,1	46,6	9,7	16,4	10,6	6,5	8,2	3,3	99,2	8,0	11,2	7,3	4,5	5,6	2,2	115,0	7,7	10,4	6,8	4,1	5,2	2,1	123,4	7,6	10,1	6,6	4,0	5,0	2,0
300	323,9	2,9	23,3	10,6	18,1	8,2	5,0	9,1	2,5	102,7	7,3	8,6	3,9	2,4	4,3	1,2	120,9	7,0	7,9	3,6	2,2	4,0	1,1	130,1	6,9	7,6	3,5	2,1	3,8	1,1
300	323,9	8,0	62,3	10,6	17,8	11,4	7,0	8,9	3,5	136,8	8,7	12,1	7,7	4,7	6,0	2,4	155,0	8,4	11,3	7,2	4,4	5,7	2,2	164,2	8,3	11,0	7,0	4,3	5,5	2,2
350	355,6	3,2	28,2	11,1	19,0	8,6	5,3	9,5	2,6	123,9	7,7	9,0	4,1	2,5	4,5	1,3	143,6	7,4	8,4	3,8	2,3	4,2	1,2	153,3	7,3	8,1	3,7	2,3	4,1	1,1
350	355,6	8,8	75,3	11,1	18,7	12,0	7,3	9,4	3,7	165,0	9,1	12,7	8,1	4,9	6,3	2,5	184,7	8,8	12,0	7,7	4,7	6,0	2,3	194,3	8,7	11,7	7,5	4,6	5,8	2,3
400	406,4	3,2	32,2	11,9	20,3	8,8	5,4	10,2	2,7	157,9	8,0	9,2	4,0	2,4	4,6	1,2	179,9	7,7	8,6	3,7	2,3	4,3	1,1	190,4	7,6	8,3	3,6	2,2	4,2	1,1
400	406,4	10,0	97,8	11,8	20,0	12,8	7,8	10,0	3,9	215,0	9,7	13,5	8,6	5,3	6,8	2,6	237,0	9,5	12,9	8,2	5,0	6,4	2,5	247,5	9,4	12,6	8,0	4,9	6,3	2,5
500	508,0	4,0	50,4	13,3	22,7	9,9	6,0	11,4	3,0	246,7	8,9	10,2	4,4	2,7	5,1	1,4	273,4	8,7	9,7	4,2	2,6	4,9	1,3	285,4	8,6	9,5	4,1	2,5	4,8	1,3
500	508,0	11,0	134,8	13,2	22,4	13,7	8,4	11,2	4,2	320,3	10,7	14,6	8,9	5,4	7,3	2,7	347,1	10,5	14,0	8,6	5,2	7,0	2,6	359,1	10,4	13,8	8,4	5,1	6,9	2,6

Q.3 Erläuterungen zu Tabelle Q.1

Tabelle Q.2

L_1		$f_{\text{all}} = 3 \text{ mm } \text{DN} \leq 50$ $f_{\text{all}} = 5 \text{ mm } \text{DN} > 50$
L_2		$\sigma_{\max} = \text{MIN}(40 \text{ N/mm}^2; 0,4 f_h)$
L_3		$\sigma_{\max} = \text{MIN}(40 \text{ N/mm}^2; 0,4 f_h)$ i nach Anhang H
L_4		$\sigma_{\max} = \text{MIN}(40 \text{ N/mm}^2; 0,4 f_h)$ i nach Anhang H
L_5		$\sigma_{\max} = \text{MIN}(40 \text{ N/mm}^2; 0,4 f_h)$
L_6		$\sigma_{\max} = \text{MIN}(40 \text{ N/mm}^2; 0,4 f_h)$ i nach Anhang H

Bedingungen:

Geschmiedete oder geschweißte T-Stücke mit waagerechtem Abzweig

Spannungen durch Innendruck nicht berücksichtigt

Toleranzen und Zuschläge nicht berücksichtigt

Tabelle Q.3

Fall	System	Last	Kriterium	Bemerkungen	Index der Kurve in Bild 1	
			Durchbiegung	Spannung		
A		$q \text{ [kg/m]}$ $m \text{ [kg]}$	$f_A = \frac{l_{AF}^3 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot 10^6}{384EI} \cdot (q \cdot l_{AF} + 1,6 \text{ m})$	$l_{AS} = -\frac{m}{q} + \sqrt{\left(\frac{m}{q}\right)^2 + \frac{8 \cdot W \cdot \sigma_{max}}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$		1
B		$q \text{ [kg/m]}$ $m \text{ [kg]}$	$f_B = \frac{l_{BF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{24EI} \cdot (3q \cdot l_{BF} + 8 \text{ m})$	$l_{BS} = -\frac{m}{q} + \sqrt{\left(\frac{m}{q}\right)^2 + \frac{2 \cdot W \cdot \sigma_{max}}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$		1
C		$q +$ Einzellast auf jeder Strecke	$f_C = \frac{l_{CF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{384EI} \cdot (q \cdot l_{CF} + 2 \text{ m})$	$l_{CS} = -\frac{3m}{4q} + \sqrt{\left(\frac{3m}{4q}\right)^2 + \frac{12 \cdot W \cdot \sigma_{max}}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	gerade Rohrleitung, gleich Abstände der Rohrhalterungen mit gleicher Streckenlänge (Einzelmasse auf jeder Strecke)	4
D		$q +$ Einzellast nur auf einer bestimmten Strecke	$f_D = \frac{l_{DF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{384EI} \cdot (q \cdot l_{DF} + 6,1 \text{ m})$	$l_{DS} = -\frac{126m}{265q} + \sqrt{\left(\frac{126m}{265q}\right)^2 + \frac{12 \cdot W \cdot \sigma_{max}}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	$\frac{m}{q} \leq 0,38 l^*$ $l^* = \sqrt{\frac{12 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	3
E		$q +$ Einzellast nur auf einer bestimmten Strecke	$f_E = \frac{l_{EF}^3 \cdot 9,81 \cdot 10^6}{384EI} \cdot (q \cdot l_{EF} + 6,1 \text{ m})$	$l_{ES} = -\frac{543m}{265q} + \sqrt{\left(\frac{543m}{265q}\right)^2 + \frac{24 \cdot W \cdot \sigma_{max}}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	$\frac{m}{q} > 0,38 l^*$ $l^* = \sqrt{\frac{12 \cdot W \cdot \sigma}{9,81 \cdot 10^3 \cdot q \cdot i}}$	2

$$I = \frac{\pi}{64} (d_a^4 - d_i^4) [\text{mm}^4]; W = I \frac{2}{d_a} [\text{mm}^3]; E [\text{kN/mm}^2]$$

Q.4 Symbole

d_{Am}	[mm]	mittlerer Durchmesser des Abzweigs
d_m	[mm]	mittlerer Rohrdurchmesser
d_a	[mm]	Außendurchmesser des Rohres
d_i	[mm]	Innendurchmesser des Rohres
f	[mm]	Durchbiegung
l^*	[m] = m/q^*	äquivalente Länge
i	[-]	Spannungserhöhungsfaktor
l	[m]	Stützweite, Kragträgerlänge (allgemein)
m	[kg]	zusätzliche (Einzel-)Masse
q	[kg/m]	Streckenlast
s	[mm]	Nennwanddicke
v	[-]	Schweißnahtwertigkeit
x	[-] = l/L	Verhältnis der Längen mit/ohne Zusatzmasse
y	[-] = l^*/L	Verhältnis äquivalente Länge/Länge ohne zusätzliche Masse
DN		Nennweite
E	[kN/mm ²]	Elastizitätsmodul bei Berechnungstemperatur
F	[N] = $m \cdot g$	Einzellast
I	[mm ⁴]	Trägheitsmoment
f_h	[N/mm ²]	zulässige Spannung bei maximaler Metalltemperatur nach 12.1.3
L	[m]	Länge ohne Zusatzmasse
W	[mm ³]	Widerstandsmoment
ρ	[kg/m ³]	Dichte
σ_{max}	[N/mm ²]	maximal zulässige Biegespannung für Massenkräfte
g	$\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$	Erdbeschleunigung

Q.5 Indizes f_L

- A, B, C, D, E Bezugnahme auf Fälle in Tabelle Q.3
- F, S Bezugnahme auf Durchbiegungs-Spannungs-Kriterium
- * von Tabelle Q.1 abweichender Parameter
- abhängig von durchgehender Rohrhalterung

Q.6 Erläuterungen zu Q.2.2

Q.6.1 Festlegung der zulässigen Stützweiten

Q.6.1.1 Allgemeines

Q.6.1.1.1 Werte

Die Stützweiten nach Tabelle Q.1 „Zulässige Stützweiten für Stahlrohre“ wurden anhand der Gleichungen in Q.3 „Erläuterungen zu Tabelle Q.1“ bestimmt. Die folgenden Daten wurden für die Streckenlast q verwendet:

$$\text{Medium} \quad \rho_M = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rohrwerkstoff} \quad \rho_R = 7\,900 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Wärmedämmung} \quad \rho_D = 120 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Blechmantel} \quad \rho_S \cdot s_B = 10 \text{ kg/m}^2$$

Überlappungen und Befestigungsmaterial sind eingeschlossen. Die Versteifungswirkung des Blechmantels wurde nicht berücksichtigt, obwohl sie unter bestimmten Umständen erheblich sein kann. Zusatzlasten $F = m \cdot g$ bleiben bei den Stützweiten nach Tabelle Q.1 unberücksichtigt.

Q.6.1.1.2 Begrenzung der Durchbiegung, L_1

Die Stützweite L_1 wurde in Übereinstimmung mit dem Kriterium für die „Begrenzung der Durchbiegung“ festgelegt. Die Grenzdurchbiegung f wurde daher wie folgt berücksichtigt, um mögliche „Pfützenbildung“ zu vermeiden:

- bei $\text{DN} \leq 50 f = 3 \text{ mm}$;
- bei $\text{DN} > 50 f = 5 \text{ mm}$.

Das Berechnungsmodell für L_1 ist der beiderseits gelenkig gelagerte Einfeldträger (Fall A in Tabelle Q.2 „Erläuterungen zu Tabelle Q.1“). Für den Elastizitätsmodul wurde ein Mittelwert $E \approx 200 \text{ kN/mm}^2$ angenommen.

$$L_1 = l_{\text{AF}}(f, q, m=0, E \cdot I) = L_{\text{AF}}(f, q, E \cdot I)$$

Q.6.1.1.3 Begrenzung der Spannung, L_2 bis L_6

Die Stützweiten L_2 bis L_6 wurden in Übereinstimmung mit dem Kriterium für die „Begrenzung der Spannung“ bestimmt. Bei Einhaltung der Stützweiten L_2 bis L_6 werden die Spannungen σ infolge q bei L_2 und L_5 in der unverzweigten Rohrleitung (ohne T-Stück) sowie bei L_3 und L_6 in Rohrleitungen mit T-Stück (geschweißt oder geschmiedet) am Punkt des höchsten Moments auf $\sigma = \text{MIN}(40 \text{ N/mm}^2; 0,4 f_h)$ begrenzt.

Q.6.1.2 Gelenkig gelagerter Einfeldträger, L_2 bis L_4

Die Stützweiten in Tabelle Q.1 wurden unter Verwendung der Gleichung für l_{AS} in Tabelle Q.3 bestimmt. Zu diesem Zweck wurde für L_2 eine unverzweigte Rohrleitung mit einem Spannungserhöhungsfaktor $i = 1$ angenommen. Für L_3 wurde ein geschmiedetes T-Stück mit einem Spannungserhöhungsfaktor $i = 0,9/(8,8 \cdot s/d_m)^{2/3}$ in der Streckenmitte angenommen.

Für L_4 wurde ein geschweißtes T-Stück mit einem Spannungserhöhungsfaktor $i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3}$ in der Feldmitte angenommen.

$$L_2 = l_{AS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 1) = L_{AS}(\sigma, q, W, i = 1)$$

$$L_3 = l_{AS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 0,9/(8,8 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

$$= l_{AS}(\sigma, q, W, i = 0,9/(8,8 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

$$L_4 = l_{AS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

$$= l_{AS}(\sigma, q, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

Q.6.1.3 Kragträger, L_5 und L_6

Die Kragträgerlängen wurden unter Verwendung der Gleichung für l_{BS} in Tabelle Q.3 bestimmt. Zu diesem Zweck wurde für L_5 eine unverzweigte Rohrleitung mit $i = 1$ angenommen. Für L_6 wurde ein geschweißtes T-Stück mit einem Spannungserhöhungsfaktor $i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3}$ angenommen.

$$L_5 = l_{BS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 1) = L_{BS}(\sigma, q, W, i = 1)$$

$$L_6 = l_{BS}(\sigma, q, m = 0, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

$$L_6 = l_{BS}(\sigma, q, W, i = 0,9/(2 \cdot s/d_m)^{2/3})$$

Q.7 Umrechnung der zulässigen Längen

Q.7.1 Andere Lagerungsbedingungen

Die Stützweiten L_1 bis L_4 gehen vom gelenkig gelagerten Einfeldträger aus. Die Annahme eines Mittelfeldes eines Durchlaufträgers ist häufig realistischer. Für diese Lagerungsbedingung können die zulässigen Stützweiten L_1^* bis L_4^* wie folgt von L_1 bis L_4 abgeleitet werden:

$$L_1^* = \sqrt[4]{5} \cdot L_1 \sim 1,5 \cdot L_1$$

$$L_i^* = \sqrt{1,5} \cdot L_i \sim 1,225 \cdot L_i \quad (i = 2, 3 \text{ und } 4)$$

Q.7.2 Sonstige Parameter

Weichen Trägheitsmoment I^* und Widerstandsmoment W^* , gleichmäßig verteilte Last q^* , Elastizitätsmodul E^* , die voreingestellten Werte f^* und σ^* oder der Spannungskonzentrationsfaktor i^* erheblich von den festgelegten Werten ab, können die zulässigen Stützweiten oder die Kragträgerlängen von den Längen in Tabelle Q.1 abgeleitet werden.

Bei Begrenzung der Durchbiegung gilt:

$$L_1^* = \sqrt[4]{\frac{I^*}{I} \cdot \frac{E^*}{E} \cdot \frac{q}{q^*} \cdot \frac{f^*}{f} \cdot L_1}$$

Bei Begrenzung der Spannung gilt:

$$L_i^* = \sqrt{\frac{W^*}{W} \cdot \frac{q}{q^*} \cdot \frac{\sigma^*}{\sigma} \cdot \frac{i}{i^*} \cdot L_i} \quad (i = 2, 3, 4, 5 \text{ und } 6)$$

Für andere Rohrhalterungsbedingungen können die zulässigen Längen L^* dementsprechend von der Länge L nach Q.7.1 umgerechnet werden.

Q.8 Zusätzliche Einzellasten

Q.8.1 Allgemeines

Einzellasten, die zusätzlich zu den gleichmäßig verteilten Lasten zu betrachten sind, können in den Fällen L_1 bis L_6 unter Verwendung der in Tabelle Q.3 angegebenen Gleichungen berücksichtigt werden. Die Stützweiten oder Kragträgerlängen können für das Kriterium der „Begrenzung der Spannung“ in diesem Fall ebenfalls unter Verwendung von Tabelle Q.1 und Q.6.1.3 bestimmt werden.

Dazu wird die Einzellast mit $l^* = \frac{m}{q^*}$ in eine äquivalente Länge l^* umgerechnet. Die zutreffende Stützweite oder die Kragträgerlänge ohne Einzellast wird dann nach Tabelle Q.1 oder unter Verwendung der geeigneten Gleichungen aus Tabelle Q.3 bestimmt. Der Wert für $x = l/L$ wird Bild Q.1 als Funktion von $y = l^*/L$ entnommen. Die zulässige Stützweite unter Berücksichtigung der zusätzlichen Einzellast bei $F = m \cdot g$ wird wie folgt ermittelt:

$$l = x \cdot L.$$

Weichen die Parameter von denen ab, die als Grundlage in Tabelle Q.1 verwendet wurden, muss zuerst diese Abweichung nach Q.7.1 und dann die Auswirkung der Einzellast nach Q.8.1 berücksichtigt werden.

BEISPIEL Eine Rohrleitung DN 150 mit $s = 7,1$ mm ist als Durchlaufträger über mehrere Rohrhalterungen geführt. Die Streckenlast (Masse je Längeneinheit) der befüllten Rohrleitung beträgt $q^* = 60$ kg/m.

In einem Mittelfeld ist ein Rohrabzweig vorhanden, durch den eine Zusatzmasse von $m = 250$ kg auf dieses Feld wirkt. Bei Annahme, dass der Rohrabzweig geschmiedet ist, gilt $i/i^* \approx 2,7$. Aufgrund der hohen Betriebstemperaturen sollte die Spannung σ^* auf 30 N/mm 2 begrenzt werden.

Aus der Stützweitentabelle erhält man bei $q = 57,8$ [kg/m] eine Stützweite von $L_4 = 4,2$ m.

$$L = L_4^* = \sqrt{\frac{W^*}{W} \cdot \frac{q}{q^*} \cdot \frac{\sigma^*}{\sigma} \cdot \frac{i}{i^*} \cdot L_4 \cdot 1,225}$$

$$= \sqrt{1 \cdot \frac{57,8}{60} \cdot \frac{30}{40} \cdot 2,7 \cdot 4,2 \cdot 1,225} = 7,2 \text{ m}$$

$$l^* = \frac{m}{q^*} = \frac{250}{60} = 4,17 \text{ m}$$

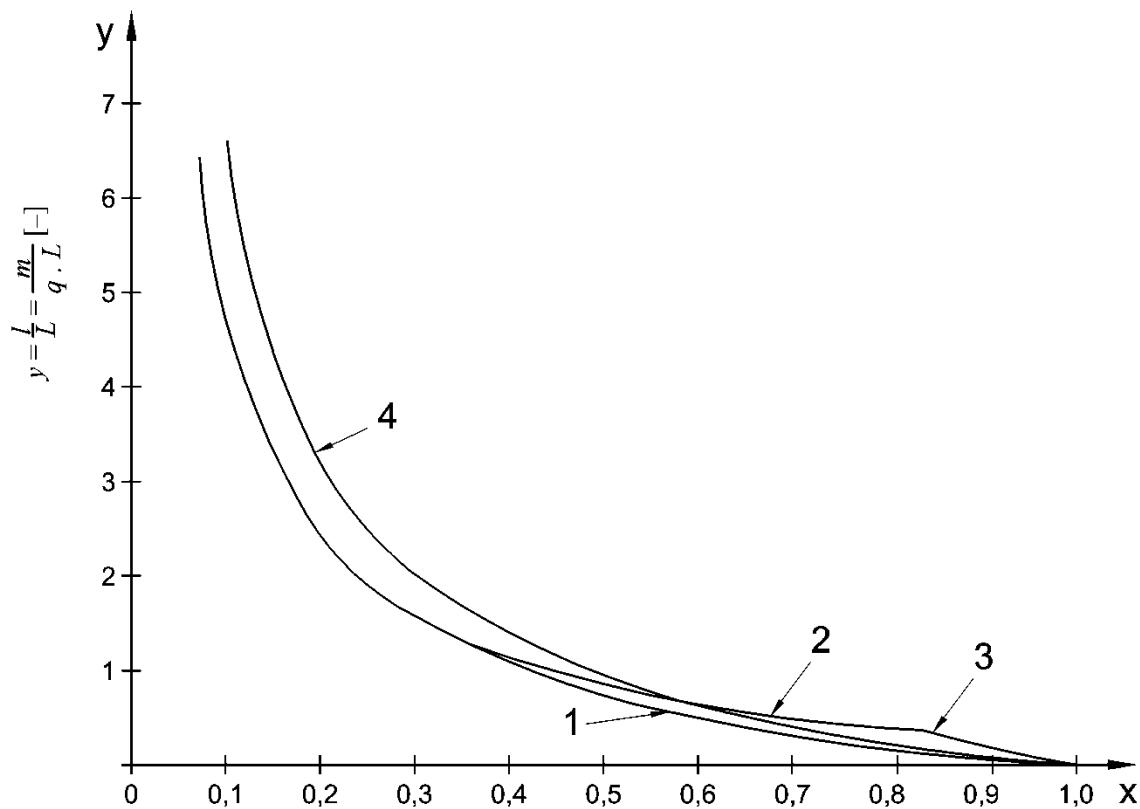
$$y = \frac{l^*}{L} = \frac{4,17}{7,2} = 0,58 > 0,38 \quad \text{Kurve 2 nach Bild Q.1}$$

Aus Bild Q.1 wird unter Verwendung von Kurve 2 nach für $y = 0,58$ ein Wert $x = 0,65$ bestimmt.

Die zulässige Stützweite beträgt:

$$l = x \cdot L = 0,65 \cdot 7,2 = 4,7 \text{ [m]}$$

Die Durchbiegung kann nach Fall E in Tabelle Q.3 ermittelt werden mit $l_{\text{requ.}} = l_{\text{EF}} = 4,7 \text{ m}$ und $q = q^*$.



Legende

1 Träger auf 2 Rohrhalterungen und Kragarm: $y = \frac{1-x^2}{2x}$

2 Durchlaufträger mit Einzellast: $y = \frac{265(2-x^2)}{1086x}$ bei $y > 0,380$

3 Durchlaufträger mit Einzellast: $y = \frac{265(1-x^2)}{252x}$ bei $y \leq 0,380$

4 Durchlaufträger mit Einzellast auf jeder Strecke: $y = \frac{2(1-x^2)}{3x}$

maximales Biegemoment:

in Feldmitte bei 1 und 2

im Stützenbereich bei 3 und 4

$$x = \frac{l}{L} \text{ (Reduzierfaktor)}$$

Bild Q.1 — Diagramm zur Berücksichtigung von Einzellasten ausgehend von der zulässigen Spannung

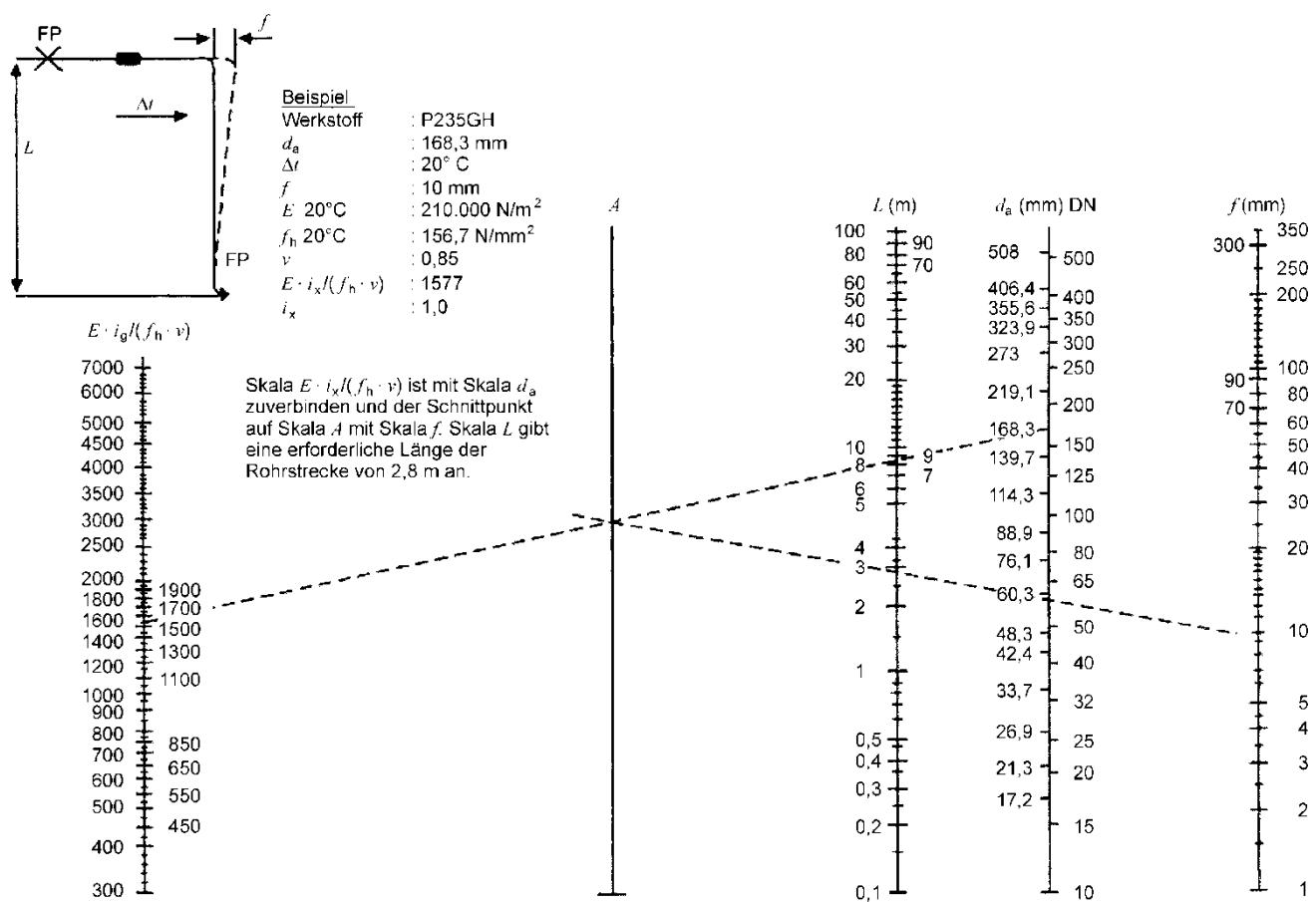


Bild Q.2

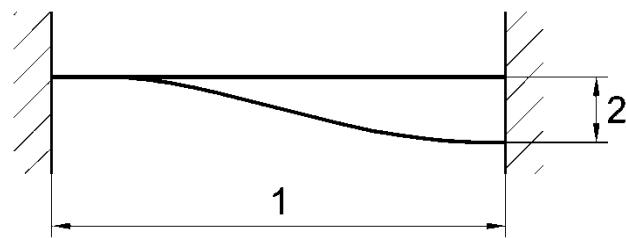
Q.9 Erläuterung zu Bild Q.2

Q.9.1 Allgemeines

Bestimmung der erforderlichen kompensierenden Länge zur Aufnahme der Wärmedehnung aufgrund von Temperatureinwirkung für den Nennweitenbereich DN 10 bis DN 500 mit Nomogramm.

Variablen E, f_h, v und d_a

Nomogrammaufbau: beidseits eingespanntes Rohr ohne Bogen



Legende

- 1 Länge der Rohrstrecke L
2 Verschiebung

Bild Q.3

Dem Nomogramm liegt das beidseits eingespannte Rohr als statisches System zugrunde.

Der Einfluss von Rohrbogen auf die Spannung wurde über den Spannungserhöhungs faktor nach EN 13480-3, Anhang H, berücksichtigt. Er ist in das Nomogramm eingearbeitet.

Abzweige können mit dem Nomogramm erfasst werden, indem das Verhältnis der Spannungserhöhungs faktoren von Rohrbogen/Abzweig — bezeichnet als Abminderungsfaktor i_x — bei der Berechnung berück sichtigt wird.

E = Elastizitätsmodul $[N/mm^2]$

f_h = zulässige Spannung bei maximaler Metalltemperatur nach 12.1.3 $[N/mm^2]$

i_x = Reduzierungsfaktor

$i_x = 1,0$ für Rohrbiegungen von $R \geq 1,5 \cdot D$

$i_x = 2,1$ für geschweißte Rohrabzweige mit dem gleichen Wanddicken-Durchmesser-Verhältnis

v = Schweißnahtfaktor

f = aufzunehmende Wärmedehnung

[mm]

$$f = 10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

L = Länge der Rohrstrecke

[m]

α = linearer Ausdehnungskoeffizient

[K⁻¹]

Δt = Temperaturdifferenz

[K]

d_a = Außendurchmesser des Rohres

[mm]

d_i = Innendurchmesser des Rohres

[mm]

DN = Nennweite

$$M = \frac{6 \cdot E \cdot I \cdot f}{L^2} \quad [1]$$

$$M = f_h \cdot v \cdot W$$

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(d_a^4 - d_i^4)}{d_a}$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_a^4 - d_i^4)$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot E \cdot d_a \cdot f \cdot i_x}{10^6 \cdot f_h \cdot v} \right)}$$

Wird die Wärmedehnung f von mehr als einer Rohrstrecke aufgenommen, sind die entsprechenden Längen der Rohrstrecke L_1, L_2, \dots, L_i für die Anwendung des Nomogramms wie folgt zu einer äquivalenten Länge der Rohrstrecke L^* zu addieren:

$$L^* = \sqrt{(L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_i^2)}$$

Dieses wird in den folgenden Beispielen 1, 2 und 3 näher erläutert.

BEISPIEL 1 Rohrausdehnung in zwei Richtungen

Bestimmung der Länge der Rohrstrecke

Werkstoff:	P235GH
d_a	168,3 mm
Δt	200 °C
L	12,3 m
f_1	30 mm aus L
E 200 °C	191 000 N/mm ²
f_h 200 °C	123,3 N/mm ²

v	0,85
$E \cdot i_x / (f_h \cdot v)$	1 822
α	$12,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
i_x	1,0

FP = Festpunkt

FL = Führungslager

LL = Loslager

$$f = 10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

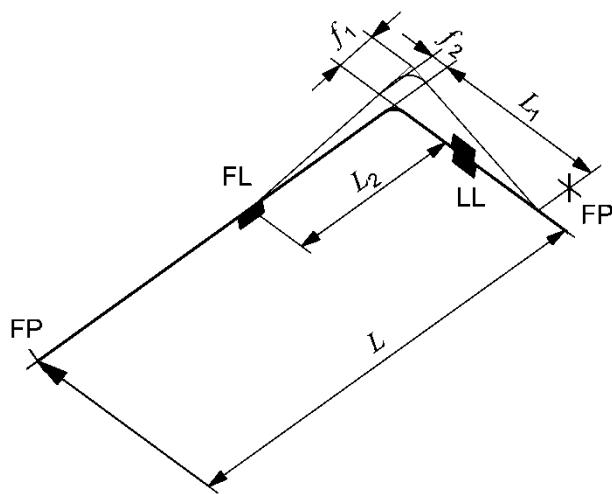


Bild Q.4

Q.9.2 Erforderliche Länge der Rohrstrecke L_1 für f_1 nach Nomogramm

Skala $E \cdot i_x / (f_h \cdot v)$ ist mit Skala d_a zu verbinden und der Schnittpunkt auf Skala A mit Skala f . Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_1 = 5,3$ m an.

Q.9.3 Erforderliche Länge der Rohrstrecke L_2 für f_2 nach Nomogramm

Q.9.3.1 Allgemeines

Ausdehnung $f_2 = 13$ mm von L_1

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f zu verbinden. Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 3,5$ m an.

BEISPIEL 2 Rohrausdehnung in drei Richtungen

Überprüfen der vorhandenen Längen der Rohrstrecken.

Werkstoff:	P235GH
d_a	168,3 mm
Δt	200 °C
L_1	9,4 m

f_1	23 mm von L_1
L_2	3 m
f_2	7,3 mm von L_2
L_3	7,5 m
f_3	18 mm von L_3
f_4	12 mm von Dehnung Behälter
L_4	2,5 m
L_5	3,5 m
L_6	3,4 m
E 200 °C	191 000 N/mm ²
f_h 200 °C	123,3 N/mm ²
ν	0,85
$E \cdot i_x / (f_h \cdot \nu)$	1 822
i_x	1,0
α	$12,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

FP = Festpunkt

FL = Führungslager

LL = Loslager

$$f = 10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

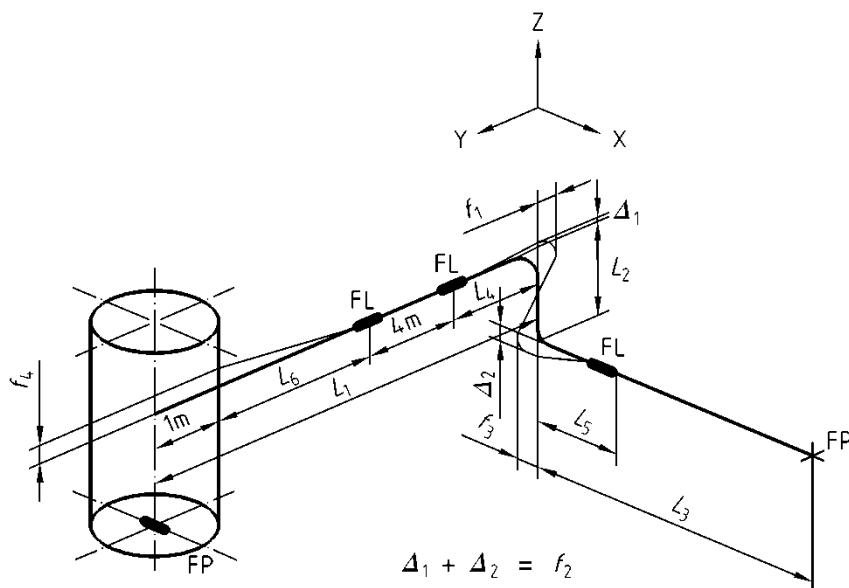


Bild Q.5

Q.9.3.2 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_1 nach Nomogramm

Skala $E \cdot i_x / (f_h \cdot \nu)$ ist mit Skala d_a und der Schnittpunkt auf Skala A mit Skala $f(f_1)$ zu verbinden; Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 4,6 \text{ m}$ an.

$$L^*_{\text{avail.}} = \sqrt{L_2^2 + L_5^2} = 4,6 = L_{\text{requ.}}$$

Q.9.3.3 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_2 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_2) zu verbinden. Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 2,6 \text{ m}$ an.

$$L^*_{\text{avail.}} = \sqrt{L_4^2 + L_5^2} = 4,3 = L_{\text{requ.}}$$

Q.9.3.4 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_2 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_2) zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 2,6 \text{ m}$ an.

$$L^*_{\text{avail.}} = \sqrt{L_4^2 + L_5^2} = 4,3 > L_{\text{requ.}}$$

Q.9.3.5 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_3 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_3) zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 4 \text{ m}$ an.

$$L^*_{\text{avail.}} = \sqrt{L_2^2 + L_4^2} = 3,9 \leq L_{\text{requ.}}$$

Q.9.3.6 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_4 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_4) zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 3,4 \text{ m}$ an.

$$L_{\text{avail.}} = 3,4 \text{ m} = L_{\text{requ.}}$$

BEISPIEL 3 Rohrleitungsführung in drei Richtungen mit Rohrabzweig

Überprüfen der vorhandenen Längen der Rohrstrecken.

Werkstoff:	P235GH
d_a	168,3 mm
Δt	200 °C
L_1	7 m
f_1	17 mm von L_1
L_2	3,5 m
f_2	8,5 mm von L_2
L_3	7 m
f_3	17 mm von L_3
L_4	5 m
f_4	12 mm von L_4
L_5	5 m
f_5	12 mm von L_5
L_6	4,5 m

L_7	5,0 m
E 200 °C	191 000 N/mm ²
f_h 200 °C	123,3 N/mm ²
α	$12,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
i_x	2,1
v	0,85
$E \cdot i_x / (f_h \cdot v)$	3 826

FP = Festpunkt

FL = Führungslager

LL = Loslager

$$f = 10^3 \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

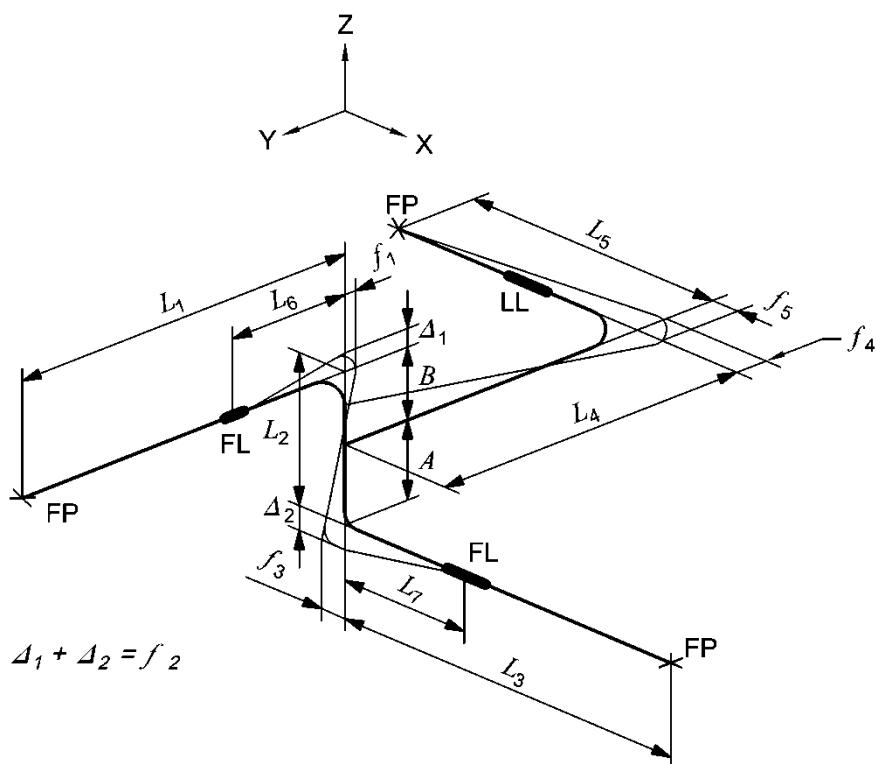


Bild Q.6

Q.9.3.7 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_1 nach Nomogramm

Skala $E \cdot i_x / (f_h \cdot v)$ ist mit Skala d_a und dann der Schnittpunkt auf Skala A mit Skala $f(f_1)$ zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 5,7 \text{ m}$ an.

$$L^*_{\text{avail.}} = \sqrt{L_2^2 + L_7^2} = 6,1 \text{ m} > L_{\text{requ.}}$$

Bei dem Beispiel für f_1 ergibt sich die erforderliche Elastizität für die Verschiebung f_1 , wenn die Gesamtlänge L_2 zusätzlich zu L_7 wirkt. Dies kann durch eine möglichst geringe Biegesteifigkeit für L_5 im Vergleich zu L_2 erreicht werden. Die Biegesteifigkeit entspricht annähernd der dritten Potenz der Rohrlänge. In diesem Fall weist die Strecke L_5 nur 1/3 der Biegesteifigkeit von Strecke L_2 auf. Daher kann die Anforderung als erfüllt angesehen werden.

Q.9.3.8 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_2 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_2) zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 4,1$ m an.

$$L^*_{\text{avail.}} = \sqrt{L_6^2 + L_7^2} = 6,7 \text{ m} > L_{\text{requ.}}$$

Aufgrund der großen Länge von Abzweigrohr L_4 , stellt L_5 kein nennenswertes Hindernis für die Dehnung für f_2 dar.

Q.9.3.9 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_3 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_3) zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 5,7$ m an.

$$L^*_{\text{avail.}} = \sqrt{L_2^2 + L_6^2} = 5,7 \text{ m} = L_{\text{requ.}}$$

Die Erläuterungen zu f_1 gelten hier für das Trennen des Rohrabzweiges.

Q.9.3.10 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_4 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_4) zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 4,8$ m an.

$$L_{\text{avail.}} = L_5 = 5 \text{ m} > L_{\text{requ.}}$$

Q.9.3.11 Erforderliche Länge der Rohrstrecke für f_5 nach Nomogramm

Der Schnittpunkt auf Skala A ist mit Skala f (f_5) zu verbinden, Skala L gibt eine erforderliche Länge der Rohrstrecke von $L_{\text{requ.}} = 4,8$ m an.

$$L_{\text{avail.}} = L_4 = 5 \text{ m} > L_{\text{requ.}}$$

Anhang Y (informativ)

Entwicklung der EN 13480-3

Y.1 Unterschiede zwischen EN 13480-3:2012 und EN 13480-3:2017

Die Ausgabe der EN 13480-3 von 2017 enthält die Ausgabe der Norm von 2012 sowie alle in der Zwischenzeit veröffentlichten Änderungen und/oder Korrekturen.

Die maßgeblichen technischen Änderungen sind:

- Aktualisierung der normativen Verweisungen;
- Ergänzung von Normativen Verweisungen in Abschnitt 2 hinsichtlich der Arten von Prüfbescheinigungen für metallische Erzeugnisse und der Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe;
- Überarbeitung von 4.2.3.4 zum Berechnungsdruck;
- Überarbeitung von 4.3 zur Wanddicke;
- Überarbeitung von 4.6 zur Dimensionierung von druckbeaufschlagten Rohrleitungsbauteilen;
- Überarbeitung von 5.2 zur zeitunabhängigen zulässigen Spannung;
- Überarbeitung von 5.3 zur zeitabhängigen zulässigen Spannung;
- Überarbeitung von 6.2.3 zur erforderlichen Wanddicke;
- Überarbeitung von 6.3 zu den Segmentkrümmern;
- Überarbeitung von 6.4.4 zu den Kegelschalen;
- Überarbeitung von 6.6 zu den verschraubten Flanschverbindungen;
- Überarbeitung von Tabelle 7.2.4-1 zu den empfohlenen Dichtungsbeiwerten und Werten für Mindestflächenpressung;
- Überarbeitung von Abschnitt 8 zu Ausschnitten und Abzweigen;
- Hinzufügung von 8.3.9 zum geschmiedeten T-Stück;
- Überarbeitung von 10.3.2.3 zur Ermittlung der zulässigen Lastspielzahl;
- Überarbeitung von Abschnitt 11 zu festen Anbauteilen;
- Überarbeitung von 12.1.3 zu den zulässigen Spannungen;
- Überarbeitung von 12.2 zur Elastizität von Rohrleitungen;

- Überarbeitung von 12.3 zur Elastizitätsanalyse;
- Hinzufügung von 12.3.8 zu alternativen Methoden zur Spannungsberechnung;
- Überarbeitung von Abschnitt 13 zu Rohrhalterungen;
- Überarbeitung von Anhang B zur genaueren Berechnung von Rohrbiegungen und Bögen;
- Überarbeitung von Anhang C zu Kompensatoren;
- Überarbeitung von Anhang D zu Flanschen;
- Überarbeitung von Anhang E zur Auslegung von Abzweiganschlüssen in Rohrleitungsbauteilen;
- Überarbeitung von Anhang H zu Elastizität, Elastizitäts- und Spannungserhöhungsfaktoren sowie Widerstandsmomenten von Rohrleitungsbauarten und geometrischen Diskontinuitäten;
- Überarbeitung von Anhang I zur Fertigungsprüfungen von federnden Halterungen und Stoßbremsen;
- Überarbeitung von Anhang K zur Befestigung von Rohrhalterungen an Tragwerken;
- Überarbeitung von Anhang L zum Knicken von stabförmigen Rohrhalterungen;
- Überarbeitung von Anhang N zur Dokumentation für Rohrhalterungen;
- Ergänzung des neuen Anhang O zum alternativen Verfahren für die Prüfung von Abzweigverbindungen;
- Überarbeitung des Anhangs P zu empfohlenen Dichtungen für industrielle Rohrleitungen;
- Ergänzung des neuen Anhang Q zur vereinfachten Analyse von Spannungen in Rohrleitungen;
- Überarbeitung des Anhang ZA in Verbindung zur Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU;
- Aktualisierung der Literaturhinweise;
- Editorielle Überarbeitung der Norm.

ANMERKUNG Die oben genannten Änderungen beinhalten die maßgeblichen technischen Änderungen, stellen aber keine umfassende Auflistung aller Modifikationen dar.

Anhang ZA (informativ)

Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2014/68/EU

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen eines von der Europäischen Kommission erteilten Normungsauftrages M/071 „Normungsauftrag an CEN über Druckgeräte“ erarbeitet, um ein freiwilliges Mittel zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen der Druckgeräte-Richtlinie 2014/68/EU bereitzustellen.

Sobald diese Norm im Amtsblatt der Europäischen Union im Sinne dieser Richtlinie in Bezug genommen worden ist, berechtigt die Übereinstimmung mit den in Tabelle ZA.1 aufgeführten normativen Abschnitten dieser Norm innerhalb der Grenzen des Anwendungsbereiches dieser Norm zur Vermutung der Konformität mit den entsprechenden grundlegenden Anforderungen der Richtlinie und der zugehörigen EFTA Vorschriften.

Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und der Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU

Grundlegende Sicherheitsanforderungen der Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU Anhang I	Abschnitte/Unterabschnitte dieser Europäischen Norm	Erläuterungen/Anmerkungen
2.1 - 1. Absatz	4.2	Auslegung unter Verwendung der relevanten Beiwerte
2.1 - 2. Absatz	Abschnitt 5	Sicherheitsbeiwerte und -margen
2.2.1 bis 2.2.3	Abschnitt 4	Auslegung auf erforderliche Belastbarkeit
2.2.1 - 1. Absatz	4.2	Zu berücksichtigende Faktoren
2.2.1 - 2. Absatz	4.2.2, 4.2.5	Gleichzeitiges Auftreten von Belastungen
2.2.3	Abschnitte 6, 7, 8, 9, 11 und Anhänge B, D, E, H und O	Berechnungsverfahren
2.2.3 b) - 1. Strich	4.2.3.4	Berechnungsdruck
2.2.3 b) - 2. Strich	4.2.3.5	Berechnungstemperaturen und Temperaturbereiche
2.2.3 b) - 3. Strich	4.2.3.3	Kombinationen von Druck und Temperatur
2.2.3 b) - 4. Strich	Abschnitte 5, 12.3	Zulässige Spannung und Spannungskonzentrationen
2.2.3 c)	Abschnitte 9, 12	Stabilitätsaspekte
2.6	4.3	Korrosion und andere chemische Einflüsse
2.7	4.3	Verschleiß
6 a)	12.2	Gefahr der Überbeanspruchung
7.1	Abschnitt 5, 12.3, 13.2	Zulässige Spannungen
7.1.2 - 1. Strich	5.2.1	Ferritische Stähle
7.1.2 - 2. Strich	5.2.2	Austenitische Stähle
7.1.2 - 3. Strich	5.2.4	Unlegierter oder niedriglegierter Stahlguß
7.2	4.5	Schweißnahtfaktoren

WARNHINWEIS 1 — Die Konformitätsvermutung bleibt nur bestehen, so lange die Fundstelle dieser Europäischen Norm in der im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlichten Liste erhalten bleibt. Anwender dieser Norm sollten regelmäßig die im Amtsblatt der Europäischen Union zuletzt veröffentlichte Liste einsehen.

WARNHINWEIS 2 — Für Produkte, die in den Anwendungsbereich dieser Norm fallen, können weitere Anforderungen und weitere EU-Richtlinien anwendbar sein.

Literaturhinweise

Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt

EN 764-2, *Druckgeräte — Teil 2: Größen, Symbole und Einheiten*

EN 1514 (alle Teile), *Flansche und ihre Verbindungen — Maße für Dichtungen für Flansche mit PN-Bezeichnung*

EN 12560 (alle Teile), *Flansche und ihre Verbindungen — Dichtungen für Flansche mit Class-Bezeichnung*

EN 12952-3, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile*

EN 13555, *Flansche und ihre Verbindungen — Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen*

EN 14917:2009+A1:2012, *Kompensatoren mit metallischen Bälgen für Druckanwendungen*

ISO 15348, *Pipework — Metal bellows expansion joints — General*

BS 903, Part A26, *Physical testing of rubber. Method for determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD)*

BS 3059-2, *Steel boiler and superheater tubes. Specification for carbon, alloy and austenitic stainless steel tubes with specified elevated temperature properties*

PD 5500, *Specification for unfired fusion welded pressure vessels*

- [1] Schwaigerer, S.: Festigkeitsberechnung von Bauteilen des Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbaus; 2. überarbeitete Fassung, Springer, Berlin/Heidelberg/New York (1970)
- [2] Makkinjad, N.: Berechnung des Rohrbogens unter Innendruckbeanspruchung. VGB Kraftwerkstechnik (1989) Nr. 9, S. 944-949
- [3] Welding Research Council Bulletin 107, überarbeitete Fassung
- [4] Welding Research Council Bulletin 297, überarbeitete Fassung
- [5] FDBR-Handbuch: Methoden der Festigkeitsberechnung
- [6] PG Hodge, *Yield condition for rotationally symmetric stells under axisymmetric loading* (1960), Trans. ASME. J. Appl. Mech. Series E, vol 82, n°2
- [7] EC Rodebaugh, RL Cloud, *Assessment of the plastic strength of pressure vessel nozzle* (1968), Journal of Engineering for Industry
- [8] WS Cottam, SS Gill, *Experimental investigation of the behaviour beyond the elastic limit of flush nozzles in cylindrical pressure vessels* (1966), Journal Mech. Eng. Sciences, 8, n°3, 330-350

- [9] K Delare, SS Gill, *Effect of vessel diameter/thickness ratio on the behaviour beyond the elastic limit on flush nozzles in cylindrical pressure vessel – experimental investigation* (1966), J. Mech. Eng. Sciences
- [10] J Schroeder, *Upper bonds to limit pressures of branch pipe lateral connections – Part II : Bounds and reliability for branch pipe diameter ratios larger than 0,7*, ASME, paper n°71 PVP 44
- [11] F Ellyin, N Turkkan, *Limit pressure of nozzles in cylindrical shells* (1972), ASME, paper n°WA PVP 1
- [12] F Ellyin, *An experimental study of elasto-plastic response of branch-pipe tee connections subjected internal pressure-external couples and combined loadings* (1977), WRC, n°230
- [13] Code 1969 de Construction des Appareils non soumis à l'Action de la Flamme, règles de calcul.
- [14] A Turbat, *Etude des problèmes d'ouverture et intersection dans les coques* (1977), Rapport CETIM n°1.11.09 14A600
- [15] Rapport CETIM n°14B091, *A Handtschoewercker* (1986)
- [16] JF Maurel, *Dimensionnement des jonctions de tuyauteries en Té*, Rapports CETIM NTI 02/95, 01/96, 50/96, 63/97, 55/98, 38/99
- [17] HB Bickell, C Ruiz, *Pressure Vessel Design and Analysis*, Macmillan (1967)
- [18] DG Moffat, *Experimental stress analysis of four fabricated equal diameter branch pipe connections subjected to moment loadings and the implications on branch junction design* (1985), Proc.I.Mech.E. Vol.119 n°A4
- [19] DG Moffat, J Mistry, *Interaction of external moment loads and internal pressure on a variety of branch pipe intersections* (1988), Proc. 6th Int. Conf. Pressure Vessel technology Beijing Pergamon
- [20] Stahl im Hochbau, 14. Ausgabe, Bd. 1/Teil 2, Nr. 6.5.1, S. 154, System 13
- [21] AD 2000 Merkblatt HP100R, Ausgabe Juni 2001
- [22] KTA 3205.3, *Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA), Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen Teil 3: Serienmäßige Standardhalterungen*