

Metallische industrielle Rohrleitungen
Teil 3: Konstruktion und Berechnung
Deutsche Fassung EN 13480-3:2002

DIN
EN 13480-3

ICS 23.040.01

Ersatz für
DIN 2413-1:1993-10 und
DIN 2413-2:1993-10

Metallic industrial piping — Part 3: Design and calculation;
German version EN 13480-3:2002

Tuyauteries industrielles métalliques — Partie 3: Conception et calcul;
Version allemande EN 13480-3:2002

Die Europäische Norm EN 13480-3:2002 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm ist vom Technischen Komitee CEN/TC 267 „Industrielle Rohrleitungen“ (Sekretariat: AFNOR) unter deutscher Mitwirkung ausgearbeitet worden.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Gemeinschaftsausschuss GA-267 „Industrielle Rohrleitungen“ im Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) verantwortlich.

Änderungen

Gegenüber DIN 2413-1:1993-10 und DIN 2413-2:1993-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Inhalt der Normen wurde in Abstimmung mit Berechnungscodes anderer CEN-Mitglieder in die vorliegende Norm übernommen.

Frühere Ausgaben

DIN 2413: 1927-01, 1936-09, 1954-05, 1966-06, 1972-06
DIN 2413-1: 1993-10
DIN 2413-2: 1993-10

Fortsetzung 236 Seiten EN

Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD)
im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

— Leerseite —

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 23. Mai 2002 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 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole und Einheiten	9
4 Grundlegende Auslegungskriterien	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Belastungen	11
4.2.1 Allgemeines	11
4.2.2 Kombination von Lasten	11
4.2.3 Bei der Dimensionierung zu berücksichtigende Lasten	11
4.2.4 Weitere zu berücksichtigende Belastungen	13
4.2.5 Auslegungsbedingungen	14
4.3 Wanddicke	16
4.4 Toleranzen	18
4.5 Schweißnahtfaktor	18
4.6 Dimensionierung von druckbeaufschlagten Rohrleitungsbauteilen	18
5 Zulässige Spannungen	19
5.1 Allgemeines	19
5.2 Zeitunabhängige zulässige Spannung	19
5.2.1 Nichtaustenitische Stähle	19
5.2.2 Austenitische Stähle	20
5.2.3 Nickel-, Chromnickel- und Chromstähle	20
5.2.4 Stahlguss	20
5.2.5 Zusätzliche Anforderungen an Stähle ohne besondere Qualitätsüberwachung	20
5.3 Zeitabhängige zulässige Spannung	21
5.3.1 Allgemeines	21
5.3.2 Stähle	21
5.3.3 Nickel-, Chromnickel- und Chromstähle	22
6 Auslegung von Rohrleitungsbauteilen unter Innendruck	22
6.1 Gerade Rohre	22
6.2 Rohrbiegungen und Rohrbögen	22
6.2.1 Allgemeines	22
6.2.2 Symbole	23
6.2.3 Erforderliche Wanddicke	23
6.3 Segmentkrümmer	24
6.3.1 Allgemeines	24



6.3.2	Symbole	25
6.3.3	Effektiver Radius des Segmentkrümmers.....	26
6.3.4	Segmentkrümmen mit mehr als einem Gehrungsschnitt.....	26
6.3.5	Segmentkrümmen mit einem Gehrungsschnitt.....	26
6.3.6	An Segmentkrümmen anschließende gerade Rohrsegmente	26
6.4	Reduzierstücke.....	27
6.4.1	Gültigkeitsbedingungen	27
6.4.2	Spezielle Begriffe	27
6.4.3	Spezielle Symbole und Abkürzungen	28
6.4.4	Kegelschalen	28
6.4.5	Verbindungsstellen – Allgemeines	29
6.4.6	Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder ohne Krempe und einem Kegel an dessen großem Durchmesserende	29
6.4.7	Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder mit Krempe und einem Kegel an dessen großem Durchmesserende	32
6.4.8	Verbindungsstellen zwischen einem Zylinder und einem Kegel an dessen kleinem Durchmesser- ende.....	33
6.4.9	Reduzierstücke mit Mittellinienversatz.....	34
6.4.10	Geschmiedete Spezialreduzierstücke.....	35
6.5	Flexible Rohrleitungselemente.....	35
6.5.1	Allgemeines	35
6.5.2	Kompensatoren.....	36
6.5.3	Wellenschlauchleitungen	36
6.6	Verschraubte Flanschverbindungen.....	37
7	Auslegung von Böden unter Innendruck	38
7.1	Gewölbte Böden.....	38
7.1.1	Symbole	38
7.1.2	Halbkugelförmige Böden.....	38
7.1.3	Torisphärische Böden	39
7.1.4	Elliptische Böden	41
7.1.5	Berechnung des Beiwerts β	41
7.2	Runde ebene Böden	43
7.2.1	Allgemeines	43
7.2.2	Symbole	43
7.2.3	Mit Zylinderschalen oder -rohren verschweißte ebene runde Böden, nicht verankert	45
7.2.4	Unverankerte, verschraubte ebene runde Böden.....	52
7.2.5	Verstärkung von Ausschnitten in unverankerten ebenen Böden.....	56
8	Ausschnitte und Abzweige	59
8.1	Allgemeines	59
8.2	Symbole	59
8.3	Einschränkungen	60
8.3.1	Wanddickenverhältnis	60

	Seite
8.3.2 Ausschnitte im Bereich von Störstellen	62
8.3.3 Verfahren zur Verstärkung	63
8.3.4 Berechnungsverfahren	64
8.3.5 Elliptische Ausschnitte und schräge Abzweige	64
8.3.6 Verstärkungsscheiben	65
8.3.7 Unterschiedliche Werkstoffe von Schale und Verstärkung	65
8.3.8 Ausgehalste Abzweige	65
8.3.9 Abzweige in Rohrbiegungen oder -bögen	66
8.3.10 Eingeschraubte Stutzen	66
8.4 Einzelausschnitte	67
8.4.1 Allgemeines	67
8.4.2 Unverstärkte Ausschnitte	70
8.4.3 Verstärkte Ausschnitte mit Durchmesserhältnissen $d/D_1 < 0,8$	70
8.4.4 Verstärkung von Einzelausschnitten mit $0,8 < d/D \leq 1,0$	75
8.5 Benachbarte Ausschnitte	76
8.5.1 Unverstärkte Ausschnitte	76
8.5.2 Verstärkte Ausschnitte mit $d/D \leq 0,8$	76
8.6 Auslegung besonderer Rohrleitungsbauteile	77
8.6.1 Zylindrische Y-Abzweige	77
8.6.2 Kugelförmige Y-Abzweige	77
8.6.3 Abzweige mit rippenförmiger Verstärkung	78
9 Auslegung von Rohrleitungsbauteilen unter Außendruck	79
9.1 Allgemeines	79
9.2 Symbole und Elastizitätsgrenzen	80
9.2.1 Symbole	80
9.2.2 Elastizitätsgrenzen	82
9.3 Zylindrische Rohre, Rohrbiegungen und Rohrbögen	82
9.3.1 Ermittlung der Längen	82
9.3.2 Versagen zwischen Versteifungen	84
9.3.3 Gesamtversagen von versteiften Rohren	86
9.3.4 Stabilität von Versteifungen	86
9.3.5 Heiz- oder Kühlkanäle	89
9.4 Reduzierstücke (kegelförmige Rohre)	90
9.5 Gewölbte Böden	91
9.5.1 Halbkugelförmige Böden	91
9.5.2 Torisphärische Böden	92
9.5.3 Elliptische Böden	92
10 Auslegung für Wechselbeanspruchung	92
10.1 Allgemeines	92
10.2 Ausnahmen von einer Ermüdungsanalyse	93
10.3 Auslegung für Wechselbeanspruchung durch Druckschwankungen	93

10.3.1	Anzahl äquivalenter Volllastspiele	93
10.3.2	Vereinfachte Auslegung für Wechselbeanspruchung	94
10.4	Auslegung gegen Ermüdung durch Wärmebeanspruchung	106
10.4.1	Allgemeines	106
10.4.2	Hinweise zur Auslegung	106
10.5	Auslegung gegen Ermüdung durch Lastkombinationen	107
11	Feste Anbauteile	107
11.1	Allgemeines	107
11.2	Zulässige Spannungen	107
11.3	Analyseverfahren für mit Rohrleitungen verschweißte Anbauteile	108
11.3.1	Allgemeines	108
11.3.2	Symbole	108
11.3.3	Einschränkungen	109
11.3.4	Vorausgehende Berechnungen	109
11.3.5	Spannungsberechnung für mit durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile	112
11.3.6	Spannungsberechnung für mit Kehlnähten oder teilweise durchgeschweißten Nähten am Rohr angeschweißte Anbauteile	113
11.3.7	Spannungsberechnung des Grundrohrs	113
11.4	Alternative Berechnungsverfahren	114
12	Spannungsanalyse und Annahmekriterien	114
12.1	Grundlegende Bedingungen	114
12.1.1	Allgemeines	114
12.1.2	Lastzustände	114
12.1.3	Zulässige Spannungen	114
12.2	Elastizität von Rohrleitungen	116
12.2.1	Allgemeines	116
12.2.2	Grundlegende Bedingungen	116
12.2.3	Dehnungen durch aufgeprägte Verschiebungen	117
12.2.4	Spannungen durch aufgeprägte Verschiebungen	117
12.2.5	Spannungsschwingbreite	118
12.2.6	Kaltvorspannung	118
12.2.7	Parameter für die Elastizitätsanalyse	119
12.2.8	Stützzustände	119
12.2.9	Kompensatoren	120
12.2.10	Elastizitätsanalyse	120
12.3	Elastizitätsanalyse	122
12.3.1	Allgemeines	122
12.3.2	Spannungen aufgrund ständig wirkender Lasten	123
12.3.3	Spannungen aufgrund gelegentlich wirkender oder außergewöhnlicher Lasten	123
12.3.4	Spannungsschwingbreite aufgrund von Wärmeausdehnung und Wechselbeanspruchung	124
12.3.5	Zusätzliche Bedingungen für den Zeitstandbereich	124

	Seite
12.3.6 Spannungen aufgrund einmaliger Verschiebung von Rohrhalterungen	125
12.3.7 Bestimmung der resultierenden Momente	125
12.3.8 Reaktionskräfte	127
12.4 Ermüdungsanalyse	127
13 Abstützungen	127
13.1 Allgemeine Anforderungen	127
13.1.1 Allgemeines	127
13.1.2 Klassifizierung von Abstützungen	127
13.1.3 Zusätzliche Begriffe	128
13.1.4 Abgrenzung	128
13.1.5 Geschweißte Abstützungen	130
13.2 Anforderungen an den Werkstoff	131
13.3 Auslegung	131
13.3.1 Allgemeines	131
13.3.2 Auslegungstemperaturen für Abstützungsbauteile	132
13.3.3 Einzelheiten der Auslegung	134
13.3.4 Beulen	134
13.3.5 Schwingungen	134
13.3.6 Anordnung von Abstützungen	135
13.3.7 Bestimmung der Bauteilabmessungen	135
13.4 Verbindungen	136
13.4.1 Schweißverbindungen	136
13.4.2 Schraubverbindungen	137
13.5 Anforderungen an die Auslegung von besonderen Bauteilen	137
13.5.1 Konstanthänger und -stützen	137
13.5.2 Federstützen	138
13.5.3 Gelenkstreben	139
13.5.4 Stoßbremsen	140
13.5.5 Gleitlager	140
13.5.6 Verankerungen	141
13.6 Dokumentation zu Abstützungen	141
13.7 Kennzeichnung von Abstützungen	141
Anhang A (informativ) Dynamische Analyse	142
Anhang B (normativ) Genauere Berechnung von Rohrbiegungen und Bögen	154
Anhang C (informativ) Kompensatoren	161
Anhang D (normativ) Flansche	172
Anhang E (normativ) Auslegung von Abzweiganschlüssen in Rohrleitungsanbauteilen	201
Anhang F (informativ) Prüfung während des Betriebs unter Wechselbeanspruchung	205
Anhang G (informativ) Physikalische Eigenschaften von Stählen	206
Anhang H (normativ) Elastizität, Elastizitäts- und Spannungserhöhungsfaktoren sowie Widerstandsmomente von Rohrleitungsbauteilen und geometrische Diskontinuitäten	213
Anhang I (informativ) Fertigungsprüfungen von federnden Halterungen und Stoßbremsen	220

Anhang J (normativ) Baumusterprüfung von Abstützungsbauteilen.....	225
Anhang K (informativ) Befestigung von Abstützungen an Tragwerken	226
Anhang L (informativ) Knicken von stabförmigen Abstützungen	228
Anhang M (informativ) Anleitung für die Auslegung tragender Bauteile	231
Anhang N (normativ) Dokumentation für Abstützungen.....	234
Anhang ZA (informativ) Abschnitte in dieser Europäischen Norm, die grundlegende Anforderungen oder andere Vorgaben von EG-Richtlinien betreffen	235

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13480-3:2002) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 267 „Industrielle Rohrleitungen und Rohrfernleitungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

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

Für den Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieser Norm ist.

In dieser Europäischen Norm sind die Anhänge A, C, F, G, I, K, L und M informativ und die Anhänge B, D, E, H, J und N sind normativ.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2002, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2002 zurückgezogen werden.

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

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

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil dieser Europäischen Norm legt die Konstruktion und Berechnung von metallischen industriellen Rohrleitungen einschließlich ihrer Halterungen, soweit durch EN 13480-1 abgedeckt, fest.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 287-1, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen — Teil 1: Stähle.*

EN 288, *Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe.*

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

EN 10204:1991, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen.*

EN 12953-3, *Großwasserraumkessel — Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile.*

EN 25817:1992, *Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl — Richtlinie für die Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:1992).*

EN 13445-3:2002, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion.*

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

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

EN 13480-4:2002, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 4: Fertigung und Verlegung.*

EN 13480-5:2002, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 5: Prüfung.*

ENV 1993:1993, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.*

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

3.1 Begriffe

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

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
PS^a	Maximal zulässiger Druck	bar
R, r^b	Radien	mm
R_{eHt}	festgelegter Mindestwert der oberen Streckgrenze bei Berechnungstemperatur, sofern diese höher ist als die Raumtemperatur	N/mm ² (MPa)
S_1	Mittelwert der 1 % Zeitdehngrenze nach 100 000 Stunden	N/mm ² (MPa)
S_2	Mittelwert der 1 % Zeitdehngrenze nach 200 000 Stunden	N/mm ² (MPa)
S_{RTt}	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.	N/mm ² (MPa)
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 Wanddicke einschließlich Zuschlägen und Toleranzen (siehe Bild 4.3-1)	mm
f	Auslegungsspannung (siehe Abschnitt 5)	N/mm ² (MPa)
f_{CR}	Auslegungsspannung im Zeitstandbereich	N/mm ² (MPa)
p_c	Berechnungsdruck (siehe 4.2.3.4)	N/mm ² (MPa)
p_o	Betriebsdruck (siehe 4.2.3.1)	N/mm ² (MPa)
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 N/mm ² (MPa), 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 dieses Teils der Europäischen Norm gelten für Betriebs- und Prüfbedingungen sowie für Vorgabedruck-, Kaltvorspannungs-, Spül- und Reinigungsbedingungen.

Der Anwendungsbereich der einzelnen Berechnungsregeln ist begrenzt durch die für jedes Bauteil zu berechnenden geometrischen Merkmale, die 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 Druckbehälter-industrie 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 Balken-theorie ausreichend beschreiben lässt.

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

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

Es ist die zusammengehörige Kombination von Druck und Temperatur (p_o , t_o) zu betrachten, die die höchsten Belastungen im Rohrleitungssystem berücksichtigt, die in dem Rohrleitungssystem über längere Zeit vorherrschen können.

Die maximalen stoßweise auftretenden Bedingungen müssen nach Abschnitt 10 für ein Rohrleitungssystem unter gleich bleibenden Bedingungen untersucht werden.

ANMERKUNG Die für derartige Druck- und/oder Temperaturschwankungen berechnete Spannung darf die maximal zulässige Spannung um 10 % überschreiten, falls das diese Schwankungen auslösende Ereignis nicht länger als 10 % der jeweiligen 24stündigen Betriebsphase andauert.

4.2.3.4 Berechnungsdruck

Der Berechnungsdruck, p_c , muss für die in 4.2.3.3 festgelegten Druck- und Temperaturbedingungen ermittelt werden.

Der Berechnungsdruck p_c darf nicht kleiner sein als der zugehörige Betriebsdruck p_o . Die Bedingungen (p_o , t_o), die die größte Wanddicke ergeben, müssen unter Einhaltung folgender Mindestbedingungen berücksichtigt werden.

- 1) $p_c = p_o = PS$, wenn die zugehörige Temperatur den Festlegungen von 4.2.3.5 entspricht;
- 2) t_c entspricht den Festlegungen von 4.2.3.5 für $t_o = TS$, wenn der zugehörige $p_c = p_o$ ist.

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

Liegt die Berechnungstemperatur t_c in einem Bereich, in dem das Zeitstandverhalten für die Bestimmung der zulässigen Spannung von Bedeutung ist, so muss der Berechnungsdruck als gleich dem bei der Betriebstemperatur (t_o) herrschenden Betriebsdruck (p_o) angenommen 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 Rohrleitungsbauteilen 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 Doppelmäntel ist diesem Tatbestand durch Festlegen von Berechnungstemperaturen für die Bauteile Rechnung zu tragen;
- c) Bei ausgekleideten Rohrleitungsbauteilen 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_o) und Betriebstemperatur (t_o) 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 beförderten 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 Druckstücken 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, Verankerungen 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. Vollast- 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 Einrichtungen;
- Gewicht der Isolierung;
- Fluidgewicht;
- Wärmeausdehnung;
- Abstützungsbedingungen;
- Verhalten von Feder- und Konstanthängern und -stützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Verankerungen, Abstützungen und angeschlossenen Ausrüstungsteilen;
- Kaltvorspannung;
- Setzen der Gebäude.

4.2.5.2 Gelegentlich auftretende Betriebszustände

4.2.5.2.1 Allgemeine Belastungen

Gelegentlich auftretenden Zustände sind Vorfälle im Normalbetrieb, z. B. Auswirkungen der Funktion von Sicherheitseinrichtungen, eines Turbinenlastabwurfs, eines Pumpenausfalls oder des Öffnens und Schließens 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;

- Abstützung durch Stoßdämpfer;
- 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 Einrichtungen;
- Gewicht der (Voll- oder Teil-)Isolierung;
- Gewicht der Reinigungsflüssigkeit;
- Wärmeausdehnung bei Reinigungstemperatur;
- Abstützungsbedingungen (einschließlich provisorischer Abstützung);
- gesperrte und entsperrte Feder- und Konstantstützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Verankerungen, Abstützungen und angeschlossenen Teilen;
- Kaltziehen.

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 Einrichtungen;
- Gewicht der (Voll- oder Teil-)Isolierung;
- Durchblasdrücke;
- Wärmeausdehnung bei Durchblastemperatur;
- Abstützungsbedingungen (einschließlich provisorischer Abstützung);
- gesperrte und entsperrte Feder- und Konstantstützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Verankerungen, Abstützungen und angeschlossenen Teilen;
- Vorspannung;
- 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 Förderhöhe);
- Eigengewicht der Rohrleitung, einschließlich Einbauten sowie zusätzlich angebrachter Einrichtungen;
- Gewicht der (Voll- oder Teil-)Isolierung;
- Gewicht der Prüfflüssigkeit;
- Wärmeausdehnung;
- Abstützungsbedingungen (einschließlich provisorischer Abstützung);
- gesperrte und entsperrte Feder- und Konstantstützen;
- Verschiebung und Verdrehung von Verankerungen, Abstützungen und angeschlossenen Ausrüstungsteilen;
- Vorspannung.

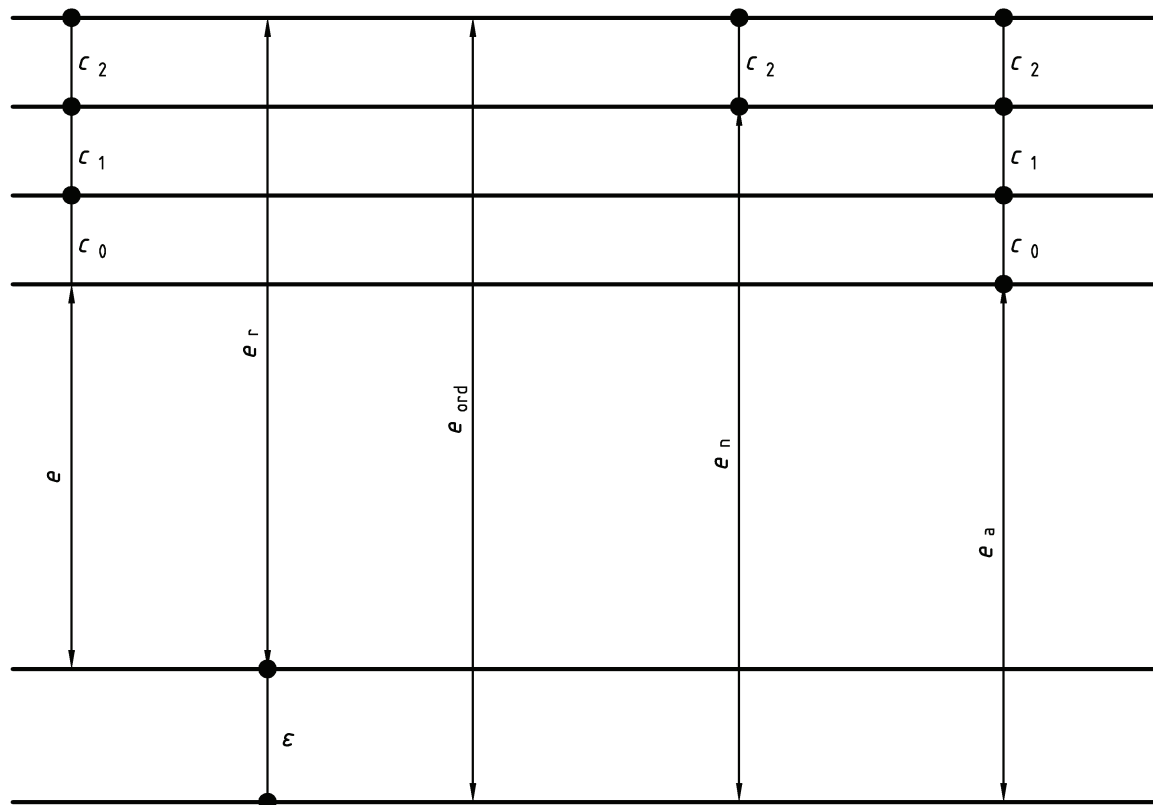
4.3 Wanddicke

Die Mindestwanddicke ist unter Berücksichtigung der Fertigungsverfahren für Rohre und Formstücke zu ermitteln.

Korrosion kann im Rohrinnen oder außen oder gleichzeitig sowohl innen wie außen auftreten (die Benennung „Korrosion“ umfasst auch die Erosion).

Der Wert des Korrosionszuschlags c_0 (der, falls keine Korrosion zu erwarten ist, auch Null sein kann) ist in jedem Falle vom Besteller anzugeben oder im Einvernehmen zwischen den beteiligten Parteien unter Berücksichtigung der Art, Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit usw. der mit den Wänden in Kontakt stehenden Produkte festzulegen.

Sämtliche Wanddicken, der Korrosionszuschlag c_0 , die Toleranz c_1 und die Wanddickenabnahme c_2 sind auf Bild 4.3-1 dargestellt.



Dabei ist:

- 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, mit Aufdachungen versehen//Eindellen, Gewindeschneiden, Eindrehen usw.);
- e die mittels der zutreffenden Gleichungen dieser Norm ermittelte geforderte Mindestwanddicke ohne Zuschläge und Toleranzen, die dem Druck standhält;
- e_a ermittelte Wanddicke eines Bauteils zur Verwendung für die Festigkeitsüberprüfung;
- e_n Nennwanddicke (in Zeichnungen);
- e_{ord} bestellte Wanddicke (wobei c_2 oftmals gleich 0 ist, z. B. bei geraden Rohren);
- e_r geforderte Mindestwanddicke einschließlich Zuschlägen und Toleranzen;
- ε Wanddickenzuschlag aufgrund der bestellten Wanddicke e_{ord} .

Bild 4.3-1 — Wanddicke (für gerade Rohre und Rohrbiegungen)

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

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

oder

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

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:

$$e_{\text{ord}} \geq e + c_0 + c_1 + c_2 \quad (4.3-3)$$

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

$$e_{\text{ord}} \geq (e + c_0 + c_2) 100 / (100 - x) \quad (4.3-4)$$

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 13480-5:2002, Tabelle 8.3.

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. 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 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 Berechnungsverfahren.

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

Die Festigkeiten von Bauteilen nach Europaeischen 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 Berechnungstemperatur einen Wert nach EN 13480-2 aufweisen.

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

ANMERKUNG 2 Bei nichtaustenitischen Stählen kann der für Raumtemperatur geltende Wert für Temperaturen von bis zu 50 °C verwendet werden.

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 $A > 35 \%$

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

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

— für $35 \% \geq A \geq 30 \%$

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

— für $A < 30 \%$ siehe 5.2.1.1.

5.2.2.2 Prüfbedingungen

Für $A \geq 25\%$ 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 $A < 25 \%$, siehe 5.2.1.2.

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:

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

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 Quotient 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 Teil 2, die hergestellt und dürfen verwendet werden, wenn dies in der technischen Spezifikation als zulässig angegeben ist.

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:

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

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 des Grundwerkstoffs um 20 % zu vermindern, wenn keine nachgewiesenen Zeitstandfestigkeitswerte für diese Rohre und Formstücke ermittelt wurden. Diese Verminderung gilt nur für die Dimensionierung.

ANMERKUNG Ist die Wanddicke von der Zeitstandfestigkeit abhängig, sollten zusätzliche Zeitstandfestigkeitsprüfungen (z. B. auf Grundlage von Extrapolationen nach der Larson-Miller-Formel) der Schweißzusatzwerkstoffe und der fertigen Schweißnähte durchgeführt werden.

5.3.2 Stähle

5.3.2.1 Auslegungsbedingungen

Die zulässige Spannung 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.

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

Zeit T h	Sicherheitsbeiwert SF_{CR}
200 000	1,25
150 000	1,35
100 000	1,5

Ist keine vorgesehene Lebensdauer festgelegt, ist für die mittlere Zeitstandfestigkeit der für 200 000 h geltende Wert zu verwenden.

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 zu verwenden.

In Fällen, in denen eine Lebensdauer unter 100 000 h festgelegt ist, ist nach einem der folgenden Verfahren vorzugehen.

- a) Ist kein Lebensdauerüberwachungssystem vorhanden, ist ein Sicherheitsbeiwert SF_{CR} von 1,5 auf die mittlere Zeitstandfestigkeit bei der entsprechenden Lebensdauer von mindestens 10 000 h anzuwenden;
- b) Ist ein Lebensdauerüberwachungssystem vorhanden, darf ein Sicherheitsbeiwert $SF_{CR} = 1,25$ unter Berücksichtigung der mittleren Zeitstandfestigkeit bei einer entsprechenden Lebensdauer von mindestens 10 000 h angewendet werden.

Die 1-%-Zeitdehngrenze (Mittelwert) darf keinesfalls überschritten 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 $D_o/D_i \leq 1,7$:

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

oder

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

— 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). Die 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 Mindestdicke ohne Zuschläge und Toleranzen einer Rohrbiegung an der Bogeninnenseite	mm
e_{ext}	Geforderte Mindestdicke ohne Zuschläge und Toleranzen einer Rohrbiegung an der Bogenaußenseite	mm
R	Radius von Rohrbiegung und Rohrbogen	mm
r	Mittlerer Rohrradius	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

$$e_{\text{int}} = e \frac{(R/D_0) - 0,25}{(R/D_0) - 0,5} \quad (6.2.3-1)$$

— an der Bogenaußenseite

$$e_{\text{ext}} = e \frac{(R/D_0) + 0,25}{(R/D_0) + 0,5} \quad (6.2.3-2)$$

Dabei ist:

e der nach 6.1 berechnete Wert für gerade Rohre.

6.2.3.2 Alternativverfahren

Bei Rohren, die durch ein Umformverfahren gebogen werden, muss die Wanddicke so gewählt werden, dass die folgenden Anforderungen nach dem Biegen nachweislich erfüllt sind.

- Die Mindestwanddicke an jedem Punkt der Rohrbiegung (einschließlich der Bogenaußenseite) darf den Wert für ein entsprechendes gerades Rohr nicht unterschreiten.
- Wenn die zulässige Spannung zeitabhängig und der Biegeradius kleiner als das Sechsfache des Rohraußendurchmessers ist, darf die Wanddicke an der Bogeninnenseite den nach folgender Gleichung berechneten Wert nicht unterschreiten:

$$e_{\text{int}} = e \frac{2R - r}{2R - 2r} \quad (6.2.3-3)$$

Dabei ist:

$$r = \frac{D_o - e}{2} \quad (6.2.3-4)$$

- c) Wenn die zulässige Spannung zeitunabhängig und der Biegeradius kleiner als das Dreifache des Rohraußendurchmessers ist, darf die Wanddicke an der Bogeninnenseite den nach folgender Gleichung berechneten Wert nicht unterschreiten:

$$e_{\text{int}} = \text{MAX} \left(e; \frac{e}{1,25} \frac{2R - r}{2R - 2r} \right) \quad (6.2.3-5)$$

Dabei ist:

r der nach Gleichung (6.2.3-4) berechnete Wert.

ANMERKUNG Bei der Bestimmung der Wanddicke vor dem Biegen sollten das bzw. die Umformverfahren sowie Erfahrungswerte berücksichtigt werden. In Tabelle 6.2.3-1 sind Richtwerte für die Rohrwanddicke angegeben, die zur Erfüllung der Anforderungen von 6.2.3.2 führen.

Tabelle 6.2.3-1 — Mindestwanddicke vor dem Biegen

Biegeradius	Standardverfahren 6.2.3.1	Alternativverfahren 6.2.3.2
10 D_o	1,02 e	1,04 e
8 D_o	1,03 e	1,05 e
6 D_o	1,04 e	1,06 e
5 D_o	1,04 e	1,08 e
4 D_o	1,05 e	1,10 e
3 D_o	1,06 e	1,13 e
2,5 D_o	1,07 e	1,16 e
2 D_o	1,10 e	1,20 e
1,5 D_o	1,15 e	1,25 e

6.2.3.3 Genauere Methode

Die genauere Methode zur Berechnung der Wanddicken der Rohrbiegungen und Rohrbögen ist nach Anhang B durchzuführen.

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

- a) zeitunabhängige zulässige Spannung:

— der Berechnungsdruck p_c muss kleiner oder gleich 20 bar (2,0 MPa) sein;

b) zeitabhängige zulässige Spannung:

- die Bewegungen des Rohrleitungssystems müssen mit Kompensatoren vollständig ausgeglichen werden;
- der Innendruck muss auf 4 bar (0,4 MPa) begrenzt sein;
- die Anzahl der Druckzyklen über die volle Schwankungsbreite ist auf 100 begrenzt;
- die Wechselbeanspruchung bei hohen Temperaturen muss berücksichtigt werden.

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

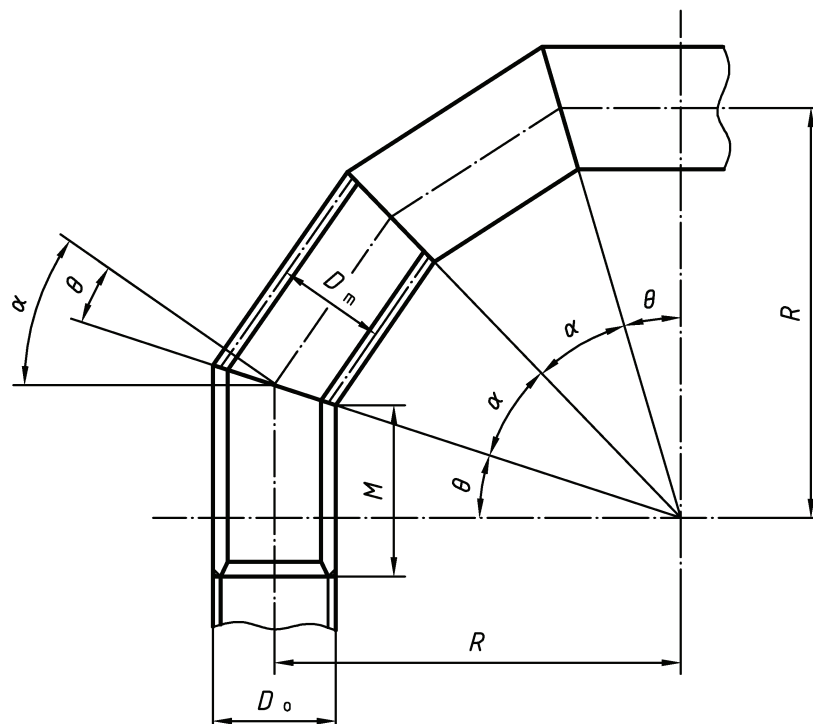
ANMERKUNG Segmentkrümmer mit Gehrungswinkeln bis zu 3° an einem Segmentschnitt können nach dem in 6.1 angegebenen Verfahren berechnet werden.

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)	—
θ	Winkel (siehe Bild 6.3.2-1)	$^\circ$
α	Gehrungswinkel an einem Segmentschnitt	$^\circ$



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:

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

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 Krümmungsin-nenseite 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 75° 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)

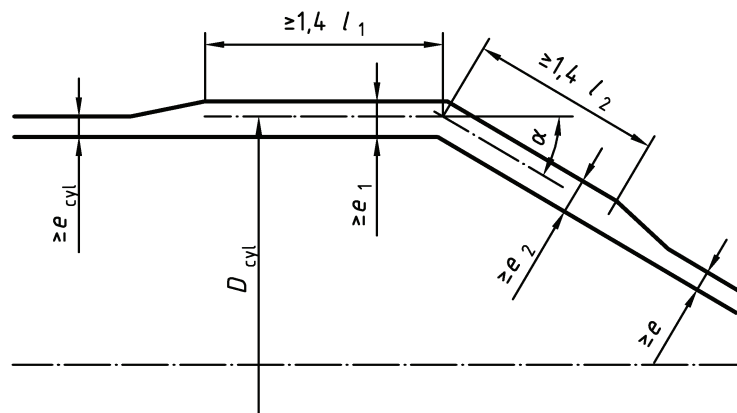


Bild 6.4.2-1 — Geometrische Gestalt einer Kegel/Zylinder-Verbindung ohne Krempe — Großes Durchmesserende

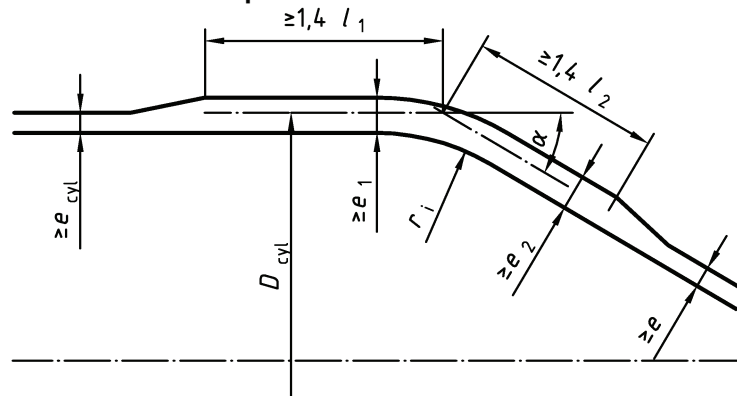


Bild 6.4.2-2 — Geometrische Gestalt einer Kegel/Zylinder-Verbindung mit Krempe — Großes Durchmesserende

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
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:

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

oder

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

Dabei sind D_i und D_e die betrachteten Punkte.

Bei gegebener geometrischer Gestalt gilt:

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

Dabei ist D_m der betrachtete Punkt.

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

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

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

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

Dabei ist:

$$D_k = D_c - e_1 - 2r \{1 - \cos \alpha\} - l_2 \sin \alpha \quad (6.4.4-7)$$

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

ANMERKUNG 2 Da die nach dem oben stehenden Verfahren berechnete Wanddicke die für den betrachteten Punkt des Kegels zulässige Mindestwanddicke ist, ist es zulässig, einen Kegel als 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 $2 l_1$ am Zylinder und $2 l_2$ am Kegel beträgt; dabei ist:

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

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

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 Stumpfnahse 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 radiographischer oder Ultraschallmessverfahren unterzogen werden, es sei denn, die Wanddicke an der Schweißnaht überschreitet konstruktionsgemäß $1,4 e_j$; in diesem Falle sind die üblichen Regeln für die entsprechende Ausführungskategorie 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:

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

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

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.

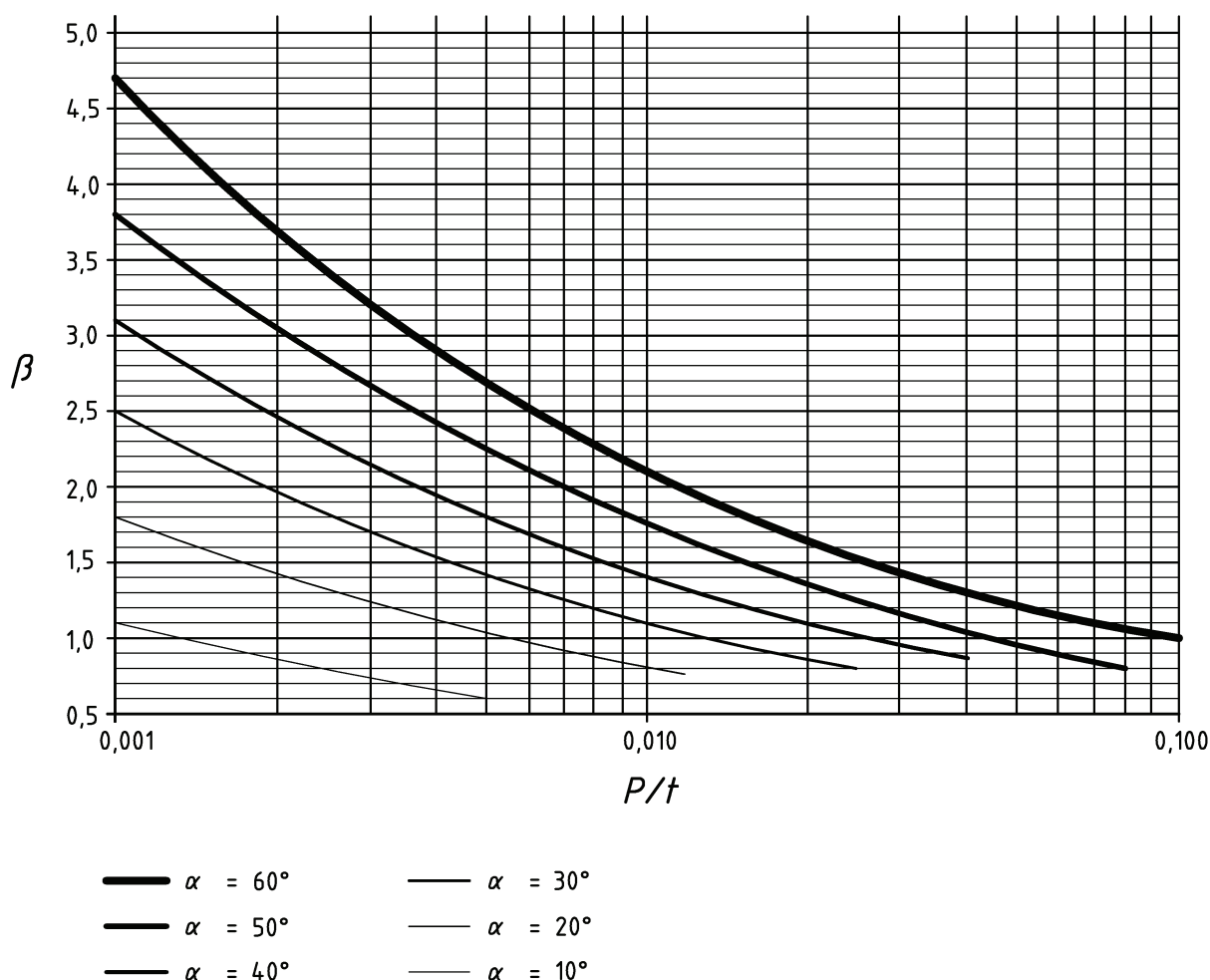


Bild 6.4.6-1 — Werte des Beiwerts β für Verbindungsstellen von Kegel und Zylinder ohne Krenpe

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 6.4.3 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 (6.4.4-3) anzuwenden;

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

- 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:

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

- 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:

$$I_1 = 1,4 \sqrt{D_c e_{1a}} \quad (6.4.6-5)$$

- 3) Falls die Dicke innerhalb des Abstandes I_1 konstant ist, gilt e_{1a} als bestätigt;
- 4) falls nicht, ist die Fläche des Metalls A_1 innerhalb des Abstandes I_1 von der Verbindungsstelle zu berechnen.
- 5) Ein besserer Schätzwert ergibt sich aus:

$$e_{1a} = A_1/I_1 \quad (6.4.6-6)$$

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.

$$I_2 = 1,4 \sqrt{\frac{D_c e_{2a}}{\cos \alpha}} \quad (6.4.6-7)$$

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 $r < 0,3 D_c$.

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:

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

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

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

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

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:

- a) 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.
- b) Es ist zu prüfen, ob die Einschränkungen von 6.7.1 eingehalten werden.
- c) Bei Zylindern ist Gleichung (6.4.6-3) mit $e_a = e_{1a}$ anzuwenden;
- d) bei Kegeln ist Gleichung (6.4.4-3) mit $e_{con} = e_{2a}$ anzuwenden;

- e) e_j ist als der kleinere der beiden Werte e_{1a} und e_{2a} zu ermitteln;
f) β und γ sind nach den Gleichungen (6.4.7-1) und (6.4.7-3) zu berechnen, daraus ergibt sich:

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

- g) 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:

- a) 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
b) die Dicken erfüllen die Anforderungen von 6.1 und 6.4.4.

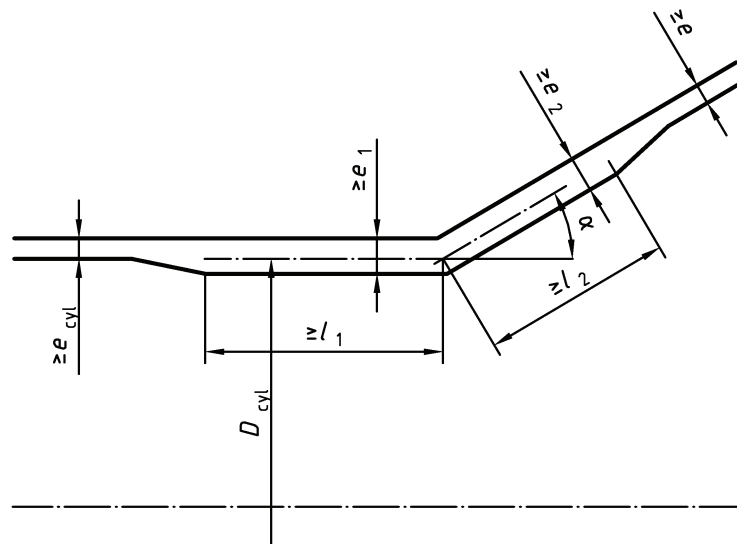


Bild 6.4.8-1 — Geometrische Gestalt der Verbindungsstelle von Kegel/Zylinder: Kleines Durchmesserende

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

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

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

Falls

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

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 Erfordernisse 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 6.4.3 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 $1,4 e_2 l_2$ beträgt.

6.4.8.3 Bemessungsdaten

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

$$P_{\max} = \frac{2f \ z \ e_1}{D_c \ \beta_H} \quad (6.4.8-6)$$

β wird nach den Gleichungen (6.4.8-1) bis (6.4.8-4) berechnet, wobei e_1 und e_2 durch e_1 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 6.4.4 oder 6.4.5 berechnet werden. Die Mindestwanddicken für die Verbindung am kleinen Durchmesserende müssen nach 6.4.6 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.

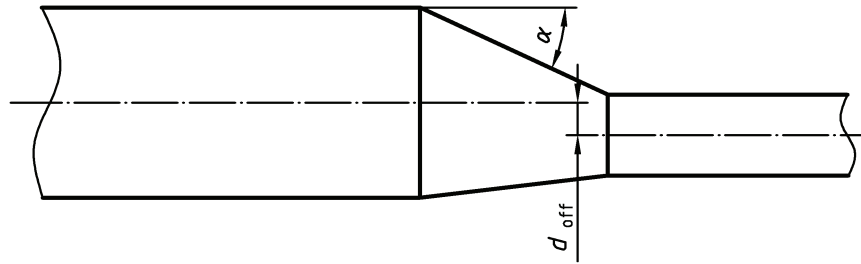


Bild 6.4.9-1 — Reduzierstück mit Mittellinienversatz

6.4.10 Geschmiedete Spezialreduzierstücke

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

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

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

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

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

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

Für Reduzierstücke anderer Auslegung ist die Eignung nachzuweisen.

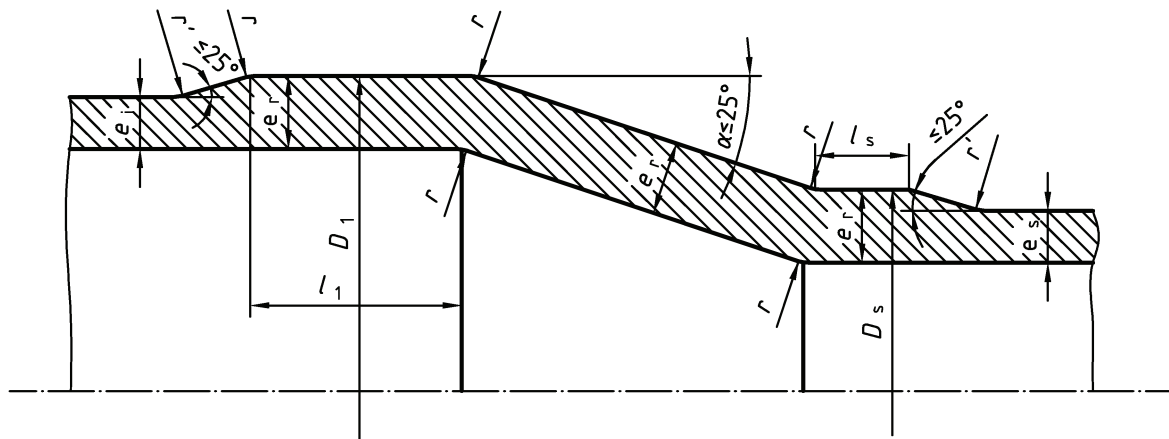


Bild 6.4.10-1 — Geschmiedete Spezialreduzierstücke

6.5 Flexible Rohrleitungselemente

6.5.1 Allgemeines

Dieser Unterabschnitt 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);
- Anschlussstil (Anschweißende, Flansch);
- Nenndurchmesser DN oder Abmessungen der Anschlusssteile (z. B. Rohrdurchmesser, Wanddicke);
- Betriebs- oder Berechnungsdruck;
- Betriebs- oder Berechnungstemperatur;
- Bewegungen des Kompensators;
 - Gesamtaxialbewegung;
 - Gesamtangularbewegung;
 - Gesamtlateralbewegung;
- 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 Rohrleitungsbauteile, 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 Wellenschlauchleitungen

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

Für axiale Bewegungen sollen keine geraden Schlauchleitungen verwendet werden; derartige 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).

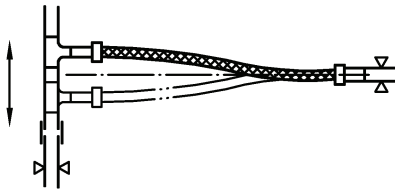


Bild 6.5.3-1

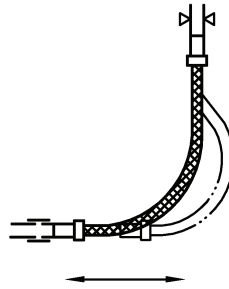


Bild 6.5.3-2

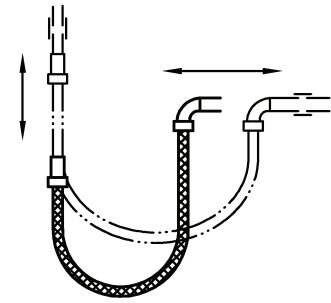


Bild 6.5.3-3

Dem Hersteller muss für die Auslegung von Schlauchleitungen folgende Angaben zur Verfügung haben und berücksichtigen:

- Beschreibung der vorgesehenen Anwendung;
- Nennweite der Schlauchleitung;
- maximal zulässiger Betriebsdruck (Innen- und/oder Außendruck);
- Unterdruck, falls zutreffend;
- Umgebungstemperatur und maximal zulässige Betriebstemperatur;
- Werkstoffspezifikation;
- zu leitendes Medium;
- 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 mit umflochtene Wellenschlauchleitungen unterschiedlichen Betriebsbedingungen ausgesetzt sein können (z. B. während des normalen Betriebs und während der Reinigung), muss der Hersteller alle relevanten Angaben zu diese Bedingungen zur Verfügung haben und berücksichtigen.

6.6 Verschraubte Flanschverbindungen

Für die Auslegung von Flanschverbindungen, die keine über den Schraubenkreisdurchmesser hinausgehende Dichtung besitzen, gelten folgende Regeln:

- Werden genormte Flansche gemäß EN-Norm verwendet und sind keine weiteren Anforderungen angegeben, so ist die Auswahl des Flansches anhand der Druck-Temperatur-Zuordnungen der jeweiligen EN-Norm zu treffen.
- Für nicht genormte Flansche muss bei der Konstruktion das in EN 1591 angegebene Berechnungsverfahren oder der im Taylor-Forge-Verfahren dargestellte Algorithmus angewendet werden.

Besteht eine besondere Anforderung an die Dichtigkeit der Flanschverbindung, so muss die Berechnung nach EN 1591 erfolgen.

Die zulässigen Spannungen für Schrauben für sind nach Anhang D zu bestimmen.

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

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

ANMERKUNG 2 Der in EN 1591 angegebene Algorithmus berücksichtigt Schnittlasten.

ANMERKUNG 3 Das Anziehmoment der Schrauben sollte vom Konstrukteur festgelegt werden.

ANMERKUNG 4 In diesen Fällen ist dem Verfahren, mit dem die Schrauben angezogen werden, besondere Aufmerksamkeit zu widmen. In EN 1591 sind Richtwerte für die Streuung der Schraubenkraft bei den verschiedenen Anzugsverfahren angegeben.

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
PS	Maximal zulässiger Druck des Bodens zur Begrenzung der Membranspannung im Kalottenteil	N/mm ² (MPa)
$p_{kn y}$	Maximal zulässiger Druck der Krempe gegen achssymmetrisches Fließen	N/mm ² (MPa)
$p_{kn b}$	Maximal zulässiger Druck der Krempe gegen plastisches Beulen	N/mm ² (MPa)

7.1.2 Halbkugelförmige Böden

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

$$e = \frac{P_c D_i}{4f z - p_c}$$

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.

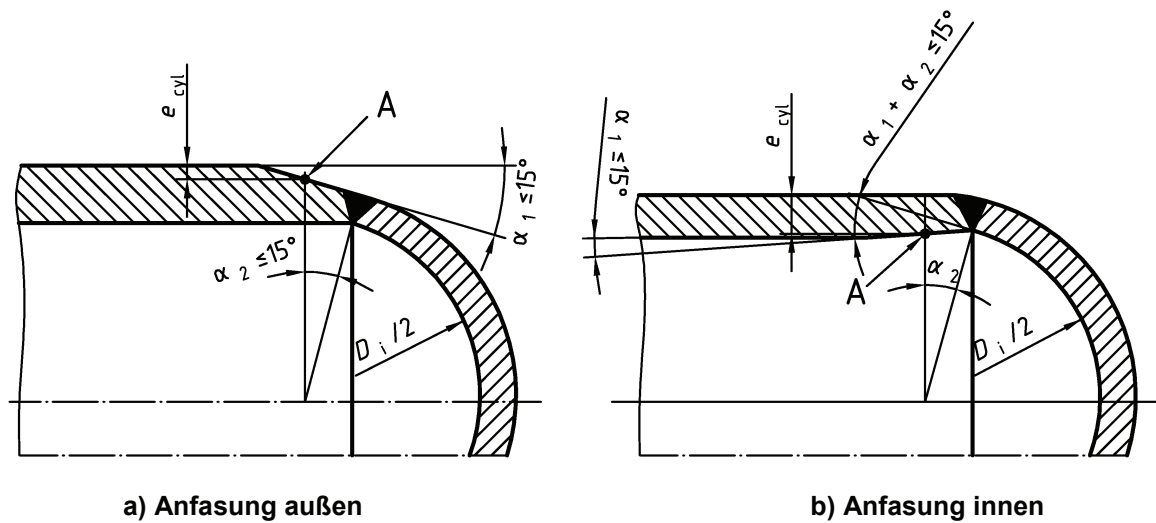


Bild 7.1.2-1 — Halbkugelförmige Böden

7.1.3 Torisphärische Böden

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

$$r_i \geq 0,06 D_i$$

$$r_i \geq 3 e$$

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

$$R_i \leq D_o$$

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

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

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

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

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

wobei β nach 7.1.5 zu berechnen ist

und

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

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 $p_{\max}$ 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 Falls $e_{kn y} > 0,004 D_i$ ist, kann die Berechnung von $e_{kn b}$ oder p_b entfallen.

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

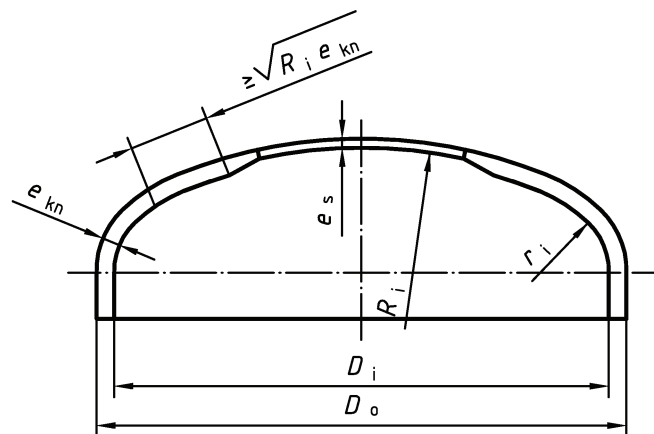


Bild 7.1.3-1 — Torisphärische Böden

Alle zylindrischen Borde müssen die in 6.1 angegebenen Anforderungen an gerade Rohre erfüllen, sofern 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 $z = 1$, wobei $K = D_i/2 h_i$ (siehe Bild 7.1.4-1).

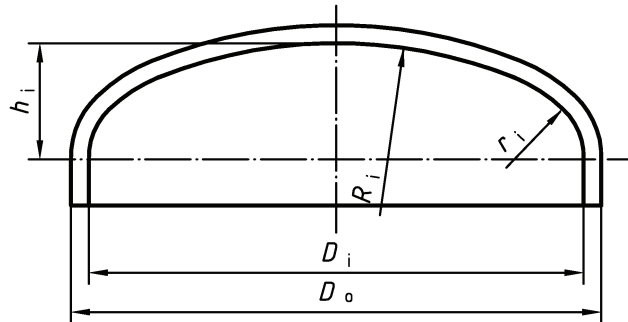


Bild 7.1.4-1 — Elliptische Böden

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 $X = 0,1$ gilt:

$$\beta_{0,1} = (-0,1833 Z^3 + 1,0383 Z^2 - 1,2943 Z + 0,837) N \quad (7.1.5-5)$$

Für $X = 0,6$ gilt:

$$\beta_{0,06} = (-0,3635 Z^3 + 2,2124 Z^2 - 3,2937 Z + 1,8873) N \quad (7.1.5-6)$$

Für $0,1 < X < 0,2$ gilt:

$$\beta = 10 \{ (0,2 - X) \beta_{0,1} + (X - 0,1) \beta_{0,2} \} \quad (7.1.5-7)$$

Für $0,06 < X < 0,1$ gilt:

$$\beta = 25 \{ (0,1 - X) \beta_{0,06} + (X - 0,06) \beta_{0,1} \} \quad (7.1.5-8)$$

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

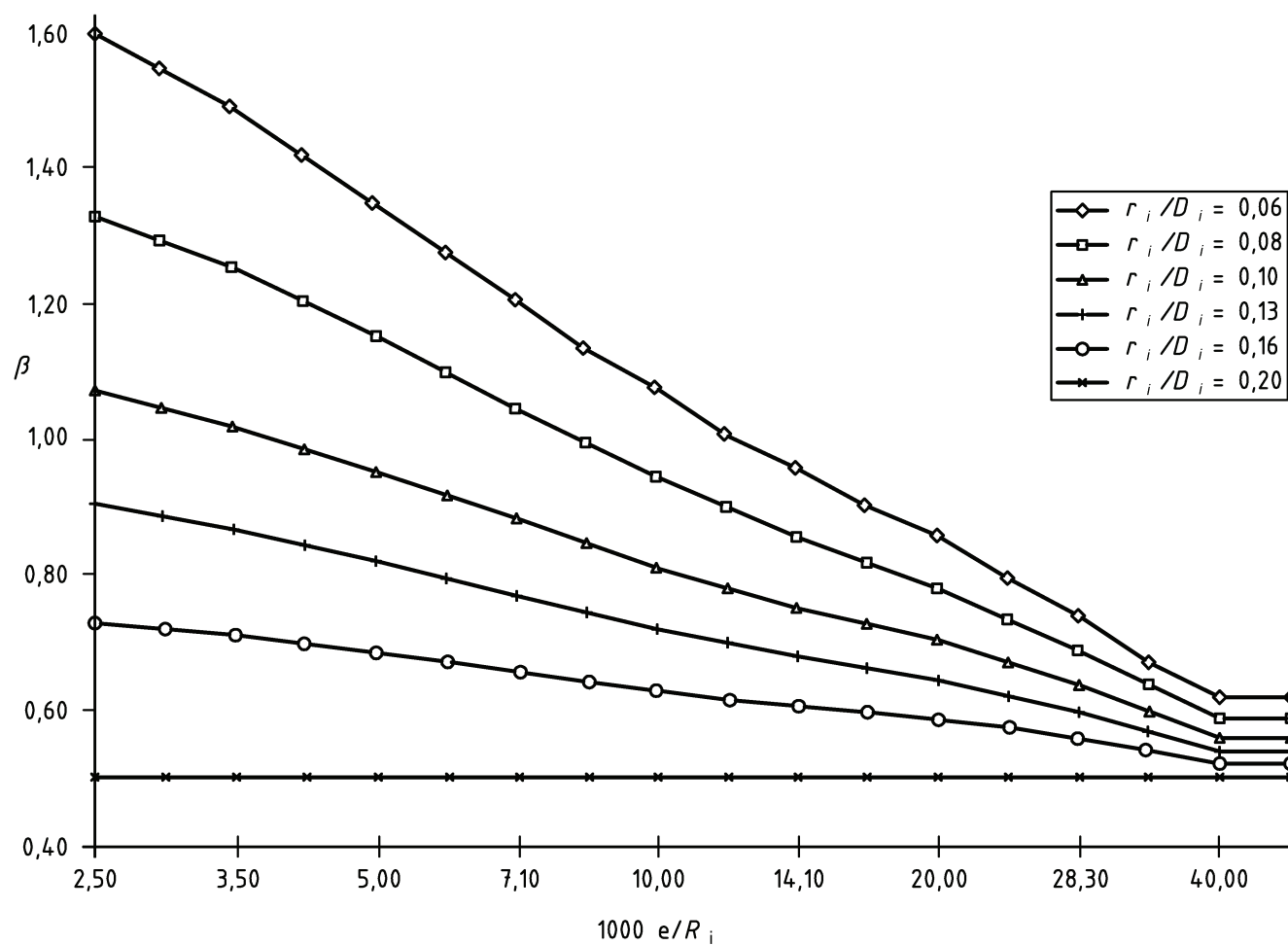


Bild 7.1.5-1 — Auslegung torisphärischer Böden

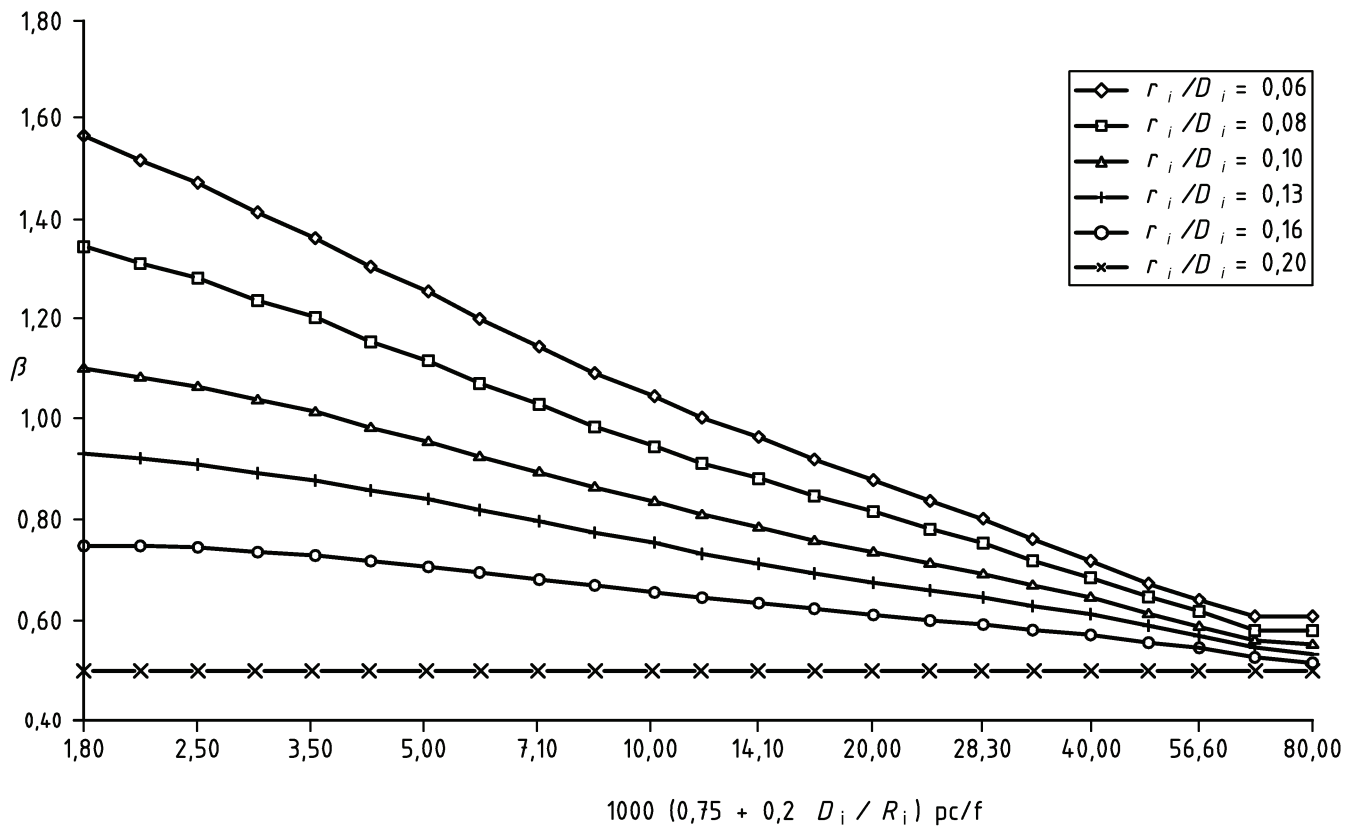


Bild 7.1.5-2 — Druckstufen für torisphärische Böden

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	Ausschnittdurchmesser oder äquivalenter Durchmesser von Ausschnitten mit Stutzen	mm
d_i	Stutzeninnendurchmesser	mm
d_o	Stutzenaußendurchmesser	mm
e	Geforderte Mindestwanddicke des Bodens ohne Ausschnitt	mm
$e_{a\ b}$	Ermittelte Wanddicke des Stutzens	mm
$e_{r\ b}$	Geforderte Mindestwanddicke eines Stutzens unter Innendruck	mm
e_{op}	Geforderte Mindestwanddicke eines Bodens mit Ausschnittverstärkung	mm
$e_{a\ f}$	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	N/mm ² (MPa)
f_2	Auslegungsspannung des für den zylindrischen Teils des Bodens verwendeten Werkstoffs	N/mm ² (MPa)
f_A	Auslegungsspannung des Bodenwerkstoffs für Dichtungsvorverformung	N/mm ² (MPa)
h	Abstand des Mittelpunkts eines Ausschnitts vom Rohrinne Durchmesser	mm
l	Mitragende 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)	N/mm ² (MPa)
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.

Dieser Abschnitt gilt für folgende Böden:

- 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 Entlastungsnuten 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 gekrempen ebenen Bodens ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

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

Dabei ist:

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

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

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

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

Der gekrempte Rand der ebenen Böden ist mit dem zylindrischen Teil mit einer Rundstumpfnah 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: $A_i = A_o$.

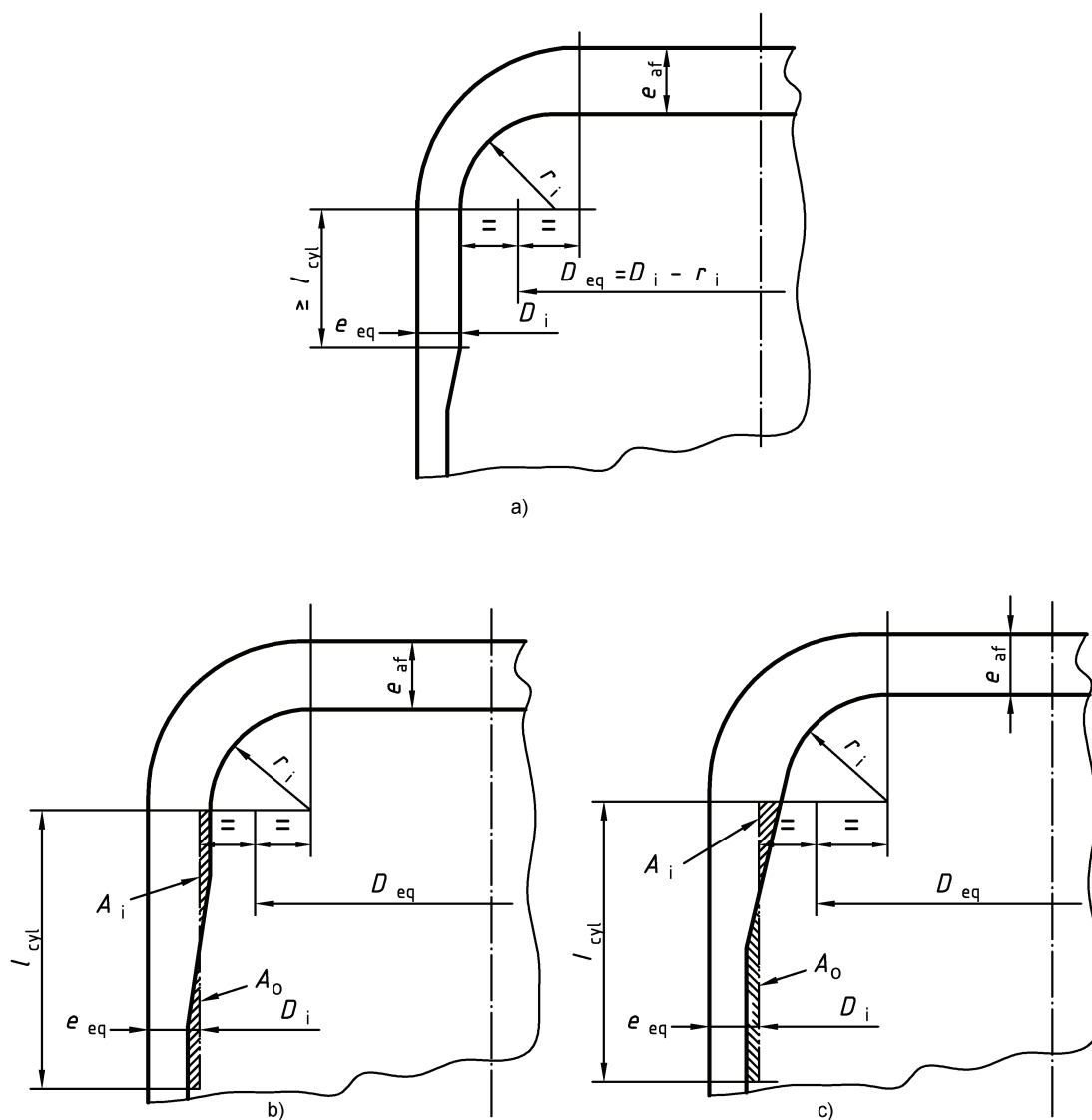
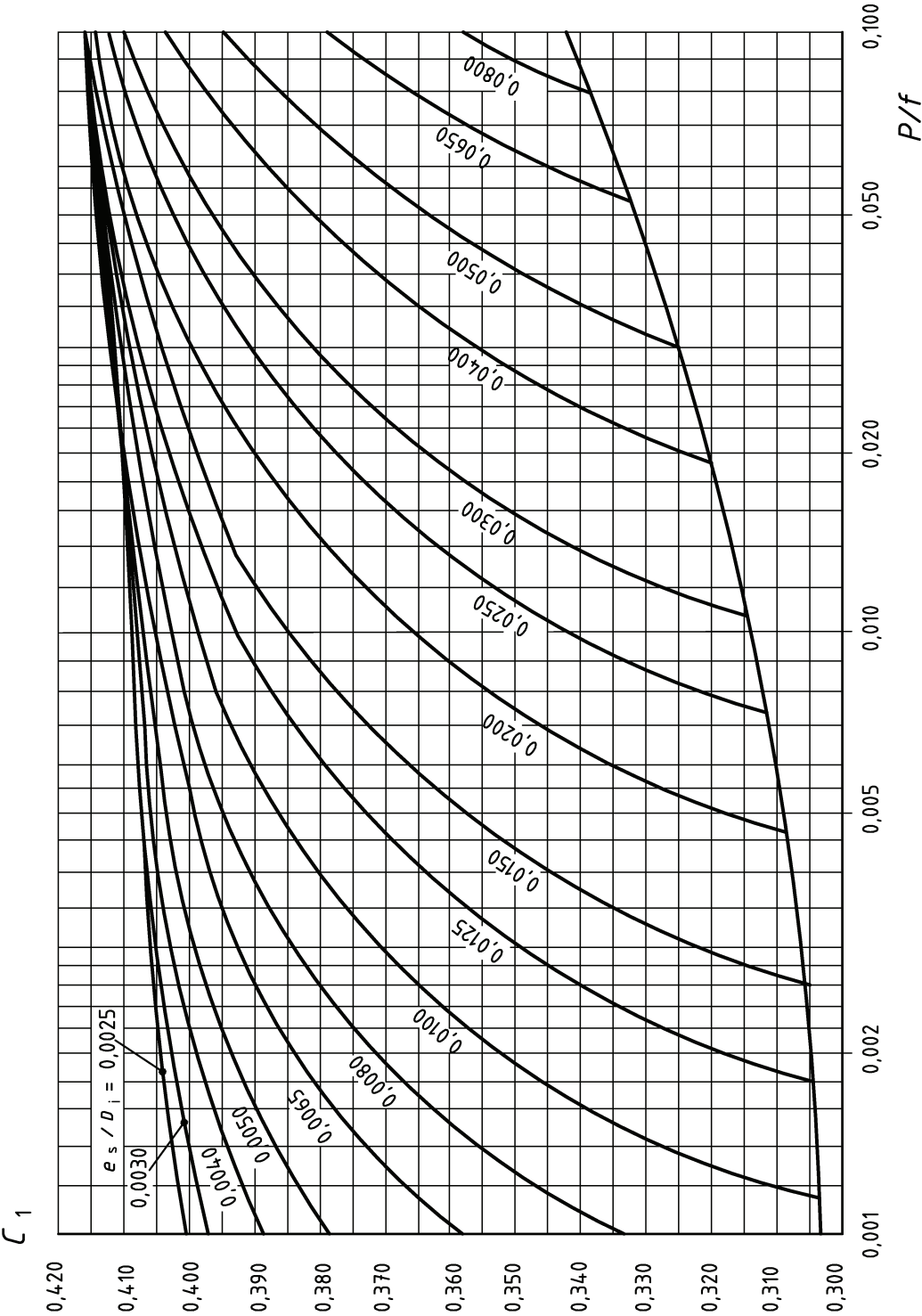


Bild 7.2.3.-1 — Gekrempfte ebene Böden

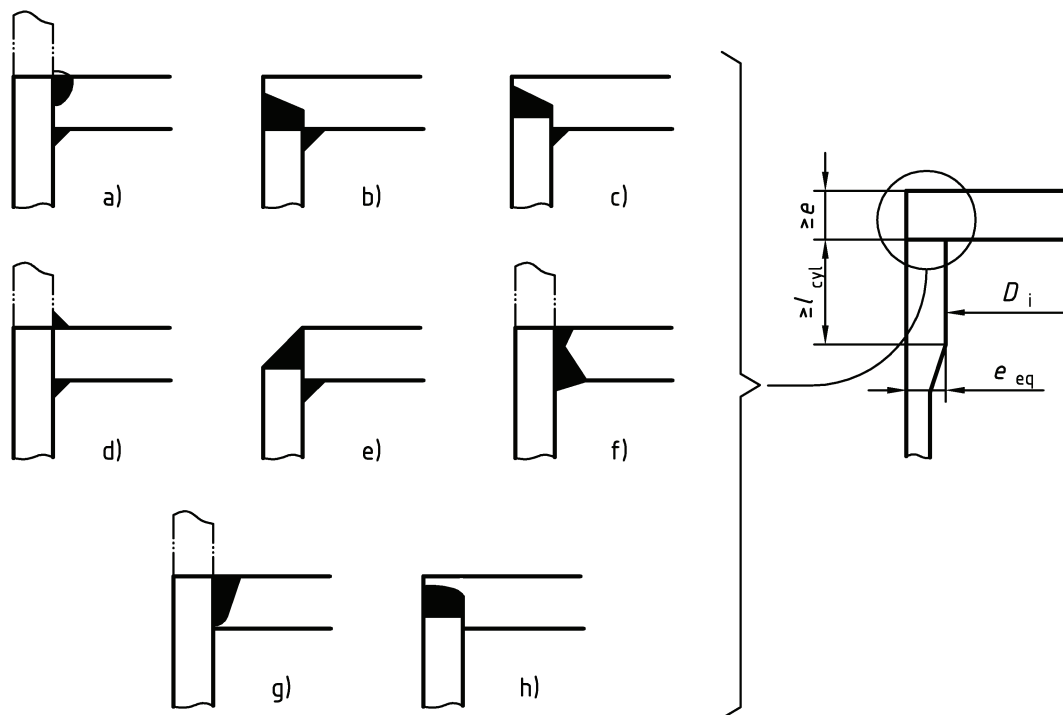


Liegt der Schnittpunkt der Geraden für einen konstanten Wert von p_s/f_1 mit einer Kurve für e_{eq}/D_1 links von der Kurve für e_{eq}/D_1 , so ist der Schnittpunkt an der unteren Kurve zu verwenden.

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 ungekrempten ebenen Böden

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:

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

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