

DIN EN 12952-3

ICS 27.040

Ersatz für
DIN EN 12952-3:2012-03**Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten –
Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Kesselteile;
Deutsche Fassung EN 12952-3:2022**

Water-tube boilers and auxiliary installations –
Part 3: Design and calculation for pressure parts of the boiler;
German version EN 12952-3:2022

Chaudières à tubes d'eau et installations auxiliaires –
Partie 3: Conception et calcul des parties sous pression de la chaudière;
Version allemande EN 12952-3:2022

Gesamtumfang 173 Seiten

DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12952-3:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 082-00-18-01 UA „Wasserrohrkessel“ im DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12952-3:2012-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Norm wurde an die Richtlinie 2014/68/EU angeglichen;
- b) normative Verweisungen wurden aktualisiert;
- c) Verweisungen auf EN 12952-7:2012, Anhang E, wurde in 5.6.2 hinzugefügt;
- d) Anmerkung in 6.2.1 wurde hinzugefügt;
- e) 6.3 wurde komplett überarbeitet, Tabelle 2 wurde hinzugefügt;
- f) 8.1.1.2 wurde an die Anforderungen in EN 12952-5 angepasst;
- g) 8.3.2.2 wurde an Tabelle 12 angepasst;
- h) in 10.3.3 wurde die Referenz zu den Bildern 43 f) und g) geändert;
- i) in 11.5 wurden Referenzen zu EN 13445-3 und EN 13480-3 hinzugefügt;
- j) in 11.8 wurde die Referenz zu EN 10253-2 hinzugefügt;
- k) Anhang E überarbeitet;
- l) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 12952-3: 2002-05, 2012-03

Deutsche Fassung

Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Kesselteile

Water-tube boilers and auxiliary installations —
Part 3: Design and calculation for pressure parts of the
boiler

Chaudière à tubes d'eau et installations auxiliaires —
Partie 3: Conception et calcul des parties sous pression
de la chaudière

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 26. September 2022 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, 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: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	7
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen.....	9
3 Begriffe.....	10
4 Symbole und Abkürzungen.....	10
5 Allgemeines.....	10
5.1 Zweck.....	10
5.2 Abmessungen von drucktragenden Teilen.....	10
5.3 Festigkeit von drucktragenden Teilen.....	11
5.4 Auslegung nach Analyseverfahren.....	11
5.5 Wechselbeanspruchung.....	12
5.6 Weitere Konstruktionsanforderungen.....	13
5.6.1 Allgemeines.....	13
5.6.2 Befahren.....	13
5.6.3 Entleerung und Entlüftung.....	13
5.7 Auslegungs-, Berechnungs- und Prüfdrücke.....	13
5.7.1 Auslegungsdruck.....	13
5.7.2 Berechnungsdruck.....	14
5.7.3 Berechnungsdruck für Druckdifferenzen.....	14
5.7.4 Wasserdruckprüfung.....	14
5.8 Werkstoffabtrag.....	16
5.8.1 Innerer Abtrag.....	16
5.8.2 Äußerer Abtrag.....	16
5.8.3 Anforderungen.....	16
5.8.4 Spannungsrisskorrosion.....	16
5.8.5 Mechanische Anforderungen.....	17
5.9 Befestigungen an drucktragenden Teilen.....	17
5.9.1 Lasttragende Befestigungen.....	17
5.9.2 Nicht lasttragende Befestigungen.....	17
6 Berechnungstemperatur und zulässige Spannung.....	17
6.1 Berechnungstemperatur.....	17
6.1.1 Allgemeines.....	17
6.1.2 Umlaufkessel.....	18
6.1.3 Durchlaufkessel, Überhitzer und Zwischenüberhitzer.....	18
6.1.4 Heißwassererzeuger.....	18
6.1.5 Temperaturzuschläge für unbeheizte Bauteile.....	18
6.1.6 Sammler.....	19
6.1.7 Unbeheizte Bauteile.....	19
6.1.8 Gegen Strahlung geschützte Bauteile.....	19
6.1.9 Konvektionsbeheizte Bauteile.....	19
6.1.10 Durch Strahlung beheizte Bauteile.....	20
6.2 Maximale Temperaturdifferenz über die Wanddicke und maximale Rauchgastemperatur für beheizte Trommeln und Sammler.....	22
6.2.1 Maximale Temperaturdifferenz über die Wanddicke.....	22
6.2.2 Maximale Rauchgastemperatur für Sammler.....	22

6.2.3	Zulässige Abweichungen	22
6.3	Zulässige Spannung	22
6.3.1	Allgemeines	22
6.3.2	Walz- und Schmiedestähle	23
6.3.3	Austenitische Stähle	24
6.3.4	Unlegierter und niedrig legierter Stahlguss	24
6.3.5	Gusseisen mit Kugelgraphit	25
6.3.6	Zulässige Spannung für Schweißnähte unter Kriechbedingungen	25
6.3.7	Zulässige Spannung bei Prüfdruck	25
7	Zylindrische Mäntel von Trommeln und Sammlern unter Innendruck	26
7.1	Mantelwanddicke	26
7.1.1	Anforderungen	26
7.1.2	Erforderliche Wanddicke mit Zuschlägen	26
7.2	Grundlegende Berechnung	26
7.2.1	Erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge	26
7.2.2	Unterschiedliche Wanddicken	27
7.2.3	Fertigungstoleranzen	27
7.3	Kombinierte Spannungen in Trommel- oder Sammlermänteln	27
7.3.1	Allgemeines	27
7.3.2	Spannungen infolge Belastungen in Längsrichtung	27
7.3.3	Biegespannung in Längsrichtung	28
7.3.4	Bewertung der Stegspannung von Schrägteilungen in Trommeln	29
7.4	Auflagerungen von Kesseltrommeln	31
7.5	Andere Spannungen in zylindrischen Mänteln	31
8	Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln von Trommeln, Sammlern sowie eingebauten Rohrleitungen	31
8.1	Allgemeines	31
8.1.1	Anforderungen an Grundkörper mit Verschwächung durch Ausschnitte und Abzweige	31
8.1.2	Mittragende Längen für die Berechnung der Verschwächungsbeiwerte von Bauteilen	37
8.1.3	Bedingungen für Einzelabzweige	38
8.1.4	Anforderungen an die Auslegung der Abzweige	38
8.1.5	Anforderungen an die Auslegung von Verstärkungsscheiben	39
8.2	Verschwächungsbeiwert, Berechnung durch Näherung und größter Durchmesser unverstärkter Ausschnitte	39
8.2.1	Allgemeines	39
8.2.2	Zulässiger Verschwächungsbeiwert und größter Durchmesser eines unverstärkten Ausschnitts	40
8.2.3	Einzelausschnitte	40
8.2.4	Benachbarte Ausschnitte	43
8.3	Berechnung von Ausschnitten und Abzweigen in zylindrischen Mänteln (Verschwächungsbeiwert und Verstärkung)	43
8.3.1	Symbole und Abkürzungen	43
8.3.2	Anforderungen an die Anwendung	44
8.3.3	Auslegung von Einzelausschnitten und Einzelabzweigen	49
8.3.4	Auslegung von benachbarten Ausschnitten und Abzweigen	52
8.4	Schraubenverbindungen	53
8.4.1	Allgemeines	53
8.4.2	Symbole und Abkürzungen	54
8.4.3	Berechnung des Schraubendurchmessers	55
8.4.4	Berechnung der Schraubenkraft	56
8.4.5	Berechnungstemperatur t_c	58
8.4.6	Festigkeitskennwert K	59
8.4.7	Sicherheitsbeiwert S	59
8.4.8	Qualitätsbeiwert q	60

8.5	Einschraub- und Einschweißverbindungen	60
8.5.1	Einschraubverbindungen im Mantel.....	60
8.5.2	Schraubmuffenverbindungen	60
8.5.3	Schweißmuffenverbindungen	61
9	Sammler und glatte Rohre mit rechteckigem Querschnitt	62
9.1	Allgemeines	62
9.2	Symbole und Abkürzungen	64
9.3	Erforderliche Wanddicke	65
9.3.1	Allgemeines	65
9.3.2	Mindestwanddicke an der Mitte einer Seitenwand	66
9.3.3	Mindestwanddicke an den Ecken	66
9.3.4	Mindestwanddicke an einer Lochreihe	66
9.3.5	Mindestwanddicke bei versetzten Lochanordnungen (diagonale Teilung)	67
9.3.6	Mindestwanddicke bei Einzelausschnitten.....	67
10	Böden und Kugelschalen.....	68
10.1	Symbole und Abkürzungen	68
10.2	Kugelschalen und gewölbte Böden	68
10.2.1	Allgemeines	68
10.2.2	Berechnungsgleichungen	69
10.2.3	Ausschnitte in gewölbten Böden und Kugelschalen	73
10.3	Unverankerte ebene Böden	77
10.3.1	Allgemeines	77
10.3.2	Wanddicke von runden, unverankerten, ebenen Böden	80
10.3.3	Wanddicke von nicht kreisförmigen und rechteckigen, unverankerten, ebenen Böden	80
10.4	Ebene unverankerte Verschlüsse	83
11	Rohre	85
11.1	Symbole und Abkürzungen	85
11.2	Wanddicke von geraden Kesselrohren	86
11.2.1	Erforderliche Wanddicke mit Zuschlägen.....	86
11.2.2	Erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge	86
11.2.3	Mindestwanddicke.....	87
11.2.4	Rohre mit stumpfgeschweißter Rundnaht.....	87
11.3	Wanddicke von Rohrbiegungen und Rohrbögen.....	88
11.3.1	Allgemeines	88
11.3.2	Erforderliche Wanddicke mit Zuschlägen.....	88
11.3.3	Erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge	88
11.3.4	Unrundheit an Rohrbögen.....	89
11.4	Elastizität von eingebauten Rohrleitungssystemen	89
11.4.1	Allgemeines	89
11.4.2	Analyse	89
11.5	Halterungen an Rohren	90
11.5.1	Allgemeines	90
11.5.2	Anschweißteile an Rohrbögen.....	92
11.5.3	Länge von Anschweißteilen.....	92
11.5.4	Zulässige Beanspruchung bei Radiallast	92
11.5.5	Berechnung der Beanspruchung bei Radiallast.....	92
11.5.6	Schweißnahtfestigkeit.....	94
11.6	Anschlüsse und Verbindungen von beheizten Rohren.....	95
11.6.1	Rohranschlüsse	95
11.6.2	Verbindungen von beheizten Rohren	95
11.7	Verbindungen von nicht beheizten Rohren.....	95
11.7.1	Allgemeines	95
11.7.2	Flansche und Schrauben	95
11.7.3	Stumpfschweißverbindungen.....	95

11.7.4	Einschraub- oder eingeschraubte und dichtgeschweißte Verbindungen	95
11.8	Genormte Formstücke	96
12	Druckteile mit unregelmäßiger Form	96
12.1	Wasserdruckprüfung zur Bestimmung des zulässigen Innendrucks	96
12.1.1	Allgemeines	96
12.1.2	Belastungsversuch zum Erreichen von Verformung.....	96
12.1.3	Belastungsversuch bis zum Bruch	97
12.2	Numerische Verfahren	98
12.2.1	Allgemeines	98
12.2.2	Verfahren	98
12.2.3	Spannungsbewertung	98
13	Ermüdung.....	98
13.1	Allgemeines	98
13.1.1	Durchführung	98
13.1.2	Ermüdungsbeanspruchung	99
13.1.3	Berechnung von wechselnden Spannungen.....	99
13.1.4	Ermüdungsbewertung.....	99
13.2	Symbole und Abkürzungen.....	100
13.3	Ausnahmeregel für die Ermüdungsanalyse.....	101
13.3.1	Allgemeines	101
13.3.2	Werkstoffe.....	102
13.3.3	Belastungen	102
13.3.4	Temperaturdifferenzen infolge von Betriebsänderungen	103
13.4	Spannungsanalyse für die Ermüdungsberechnung	109
13.4.1	Hauptspannungen und äquivalente Spannungen	109
13.4.2	Temperatur eines Lastwechsels	109
13.4.3	Schutz der Magnetitschicht.....	110
13.4.4	Zulässige Spannungsschwingbreite am Lochrand an der Innenfläche einer Bohrung	110
13.4.5	Umfangsspannung durch Druck an der Innenfläche einer Bohrung.....	110
13.4.6	Spannungen am Abzweig durch äußere Kräfte und Momente	111
13.4.7	Wärmespannungen	111
13.4.8	Oberer und unterer Grenzwert für die Umfangsspannung an der Innenfläche einer Bohrung	112
13.4.9	Zulässige Temperaturdifferenzen über die Wanddicke	117
13.4.10	Zulässige Temperaturgefälle	117
13.4.11	Bauteile mit schrägen und/oder nicht radial angeordneten Abzweigen	117
13.5	Berechnungsbeispiele	117
Anhang A (normativ)	Berechnung von Rohrbiegungen und Rohrbögen.....	123
A.1	Allgemeines	123
A.2	Symbole und Abkürzungen.....	123
A.3	Berechnung.....	124
A.3.1	Erforderliche Wanddicke	124
A.3.2	Berechnung der Wanddicke	124
A.3.3	Berechnung der Spannung.....	126
Anhang B (normativ)	Ermüdungsrisssbildung — Berechnung zur Berücksichtigung wechselnder Spannungen	133
B.1	Allgemeines	133
B.2	Bedingungen	133
B.3	Symbole und Abkürzungen.....	134
B.4	Spannungsschwingbreite und Mittelspannung bei einachsiger und mehrachsiger wechselnder Spannung	135
B.4.1	Allgemeines	135
B.4.2	Einachsiger Spannungszustand.....	135

B.4.3	Mehrachsiger Spannungszustand mit konstanten Hauptspannungsrichtungen.....	136
B.5	Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Einflusses von Oberflächenbearbeitung und Schweißnähten	138
B.6	Maßgebende Spannungsschwingbreite	146
B.6.1	Allgemeines	146
B.6.2	Korrekturfaktor	146
B.7	Zulässige Spannungsschwingbreite bei bekannter Lastwechselzahl.....	147
Anhang C (informativ) Beispiele zur Berechnung der Auswirkungen von Ermüdung.....		149
C.1	Allgemeines	149
C.2	Berechnung der zulässigen Lastspielzahl.....	149
C.3	Berechnung des zulässigen Temperaturgefälles.....	152
Anhang D (informativ) Physikalische Kennwerte von Stählen		156
D.1	Allgemeines	156
D.2	Symbole und Abkürzungen.....	156
D.3	Physikalische Eigenschaften	156
D.3.1	Dichte.....	156
D.3.2	Differentieller linearer Wärmeausdehnungskoeffizient.....	156
D.3.3	Wärmekapazität	157
D.3.4	Wärmeleitzahl	157
D.3.5	Querkontraktionszahl	157
D.4	Physikalische Kennwerte von Stählen.....	157
D.4.1	Datenblatt (Tabellen)	157
D.4.2	Diagramme.....	159
D.4.3	Polynome.....	163
Anhang E (informativ) Berücksichtigung des äußeren Abtrags durch Rauchgaseinwirkung.....		166
E.1	Allgemeines	166
E.2	Symbole und Abkürzungen.....	166
E.3	Wanddicke von geraden Rohren nach Abschnitt 11	166
E.3.1	Erforderliche Wanddicke mit Zuschlag.....	166
E.3.2	Erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge	166
E.3.3	Rohre mit stumpfgeschweißter Rundnaht.....	167
E.4	Wanddicke von Rohrbiegungen und Rohrbögen nach Abschnitt 11.....	167
E.4.1	Erforderliche Wanddicke mit Zuschlag.....	167
E.4.2	Erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge	167
E.5	Wanddicke von Rohrbiegungen und Rohrbögen nach Anhang A	167
Anhang F (informativ) Wesentliche technische Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und der vorherigen Ausgabe		168
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2014/68/EU (Druckgeräte-Richtlinie)		169
Literaturhinweise.....		171

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 12952-3:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2023, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2023 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 12952-3:2011.

Anhang F enthält Einzelheiten zu wesentlichen technischen Änderungen in diesem Dokument im Vergleich zur vorherigen Ausgabe.

Die Normenreihe EN 12952 zu Wasserrohrkesseln und Anlagenkomponenten besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeines
- Teil 2: Werkstoffe für drucktragende Kesselteile und Zubehör
- Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Kesselteile
- Teil 4: Betriebsbegleitende Berechnung der Lebensdauererwartung
- Teil 5: Verarbeitung und Bauausführung für drucktragende Kesselteile
- Teil 6: Prüfung während der Herstellung, Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile
- Teil 7: Anforderungen an die Ausrüstung für den Kessel
- Teil 8: Anforderungen an Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe für den Kessel
- Teil 9: Anforderungen an Staubfeuerungsanlagen für den Kessel
- Teil 10: Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen gegen Überdruck
- Teil 11: Anforderungen an Begrenzungseinrichtungen an Kessel und Zubehör
- Teil 12: Anforderungen an die Speisewasser- und Kesselwasserqualität
- Teil 13: Anforderungen an Rauchgasreinigungsanlagen
- Teil 14: Anforderungen an Rauchgas-DENOX-Anlagen, die flüssiges Ammoniak und Ammoniakwasserlösung einsetzen
- Teil 15: Abnahmeversuche
- Teil 16: Anforderungen an Rost- und Wirbelschichtfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe für den Kessel
- CR 12952, Teil 17: Leitfaden für die Einbeziehung einer herstellerunabhängigen Prüforganisation
- Teil 18: Betriebsanleitungen.

Obwohl diese Teile einzeln erworben werden können, sollte bedacht werden, dass sie voneinander abhängig sind. Deshalb werden für die Konstruktion und Herstellung von Wasserrohrkesseln mehrere Teile benötigt, um die Anforderungen dieses Dokuments zufriedenstellend zu erfüllen.

ANMERKUNG Für sämtliche Fragen zur Anwendung der Europäischen Normenreihen EN 12952 und EN 12953 wurde ein „Boiler Helpdesk“ im CEN/TC 269 eingerichtet, siehe die folgende Webseite: <http://www.boiler-helpdesk.din.de>.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie(n)/-Verordnung(en).

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie(n)/-Verordnung(en) siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, 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

Dieses Dokument legt Anforderungen an die Konstruktion und Berechnung von Wasserrohrkesseln nach der Definition in EN 12952-1 fest.

Durch die sachgemäße Konstruktion nach diesem Teil des Dokuments EN 12952 wird sichergestellt, dass die Gefährdungen, die mit Wasserrohrkesseln einhergehen auf ein Minimum reduziert werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 1092-1:2018, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche*

EN 1759-1:2004, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach Class bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche, NPS 1/2 bis 24*

EN 10028-1:2017, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN 10164:2018, *Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche — Technische Lieferbedingungen*

EN 10253-2:2021, *Formstücke zum Einschweißen — Teil 2: Unlegierte und legierte ferritische Stähle mit besonderen Prüfanforderungen*

EN 10266:2003, *Stahlrohre, Fittings und Hohlprofile für den Stahlbau — Symbole und Definition von Begriffen für die Verwendung in Erzeugnisnormen*

EN 12952-1:2015, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 1: Allgemeines*

EN 12952-2:2021, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 2: Werkstoffe für drucktragende Kesselteile und Zubehör*

EN 12952-5:2021, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 5: Verarbeitung und Bauausführung für drucktragende Kesselteile*

EN 12952-6:2021, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 6: Prüfung während der Herstellung, Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile*

EN 12952-7:2012, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 7: Anforderungen an die Ausrüstung für den Kessel*

EN 12952-12:2003, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 12: Anforderungen an die Speisewasser- und Kesselwasserqualität*

EN 12953-3:2016, *Großwasserraumkessel — Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile*

EN 13445-3:2021, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion*

EN 13480-3:2017¹, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 3: Konstruktion und Berechnung*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 12952-1:2015.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in EN 12952-1:2015 angegebenen Symbole. In dieses gesamte Dokument sind zusätzliche Terminologie und Symbole, wo erforderlich, aufgenommen worden, um die Anforderungen des spezifischen betroffenen Textes zu erfüllen.

5 Allgemeines

5.1 Zweck

Druckteile von Wasserrohrkesseln müssen entsprechend den Anforderungen nach diesem Dokument ausgelegt werden. Die sich ergebenden Konstruktionen müssen in Form von genehmigten Zeichnungen und Spezifikationen erstellt werden, um eine geeignete Anwendung der Konstruktionsanforderung während der Herstellungs- und Prüfschritte sicherzustellen.

5.2 Abmessungen von drucktragenden Teilen

Die Wanddicke und andere Abmessungen von drucktragenden Teilen, die ausreichen müssen, um dem Berechnungsdruck bei Berechnungstemperatur über die Nenn-Lebensdauer standzuhalten, müssen nach diesem Dokument unter Verwendung von Werkstoffen nach EN 12952-2:2021 festgelegt werden.

Die Auslegung für Beanspruchungen, die von den nachfolgenden Zuständen hervorgerufen werden, muss ebenfalls nach diesem Dokument vorgenommen werden:

- a) das Biegen einer Trommel oder eines Sammlers als Balken unter Eigengewicht und Lasteinwirkung;
- b) örtliche Stützlasten an Trommeln;
- c) thermisch induzierte Kräfte und Momente, die innerhalb oder aufgrund von eingebauten Rohrleitungssystemen vorhanden sind;
- d) örtliche Belastung von Rohren durch Anbauteile;
- e) schnelle und häufige Druck- und Temperaturänderungen.

¹ In der durch EN 13480-3:2017/A1:2021, EN 13480-3:2017/A2:2020, EN 13480-3:2017/A3:2020 und EN 13480-3:2017/A4:2021 geänderten Fassung.

Verfahren zur Berechnung von Spannungen, die durch äußere Lasten auf Stützen und an Befestigungen verursacht werden, müssen denen in EN 13445-3:2021 entsprechen.

ANMERKUNG Der Zweck dieses Teils besteht darin, spezifische Auslegungsregeln für gemeinsame Beanspruchungen, denen Kesselteile üblicherweise unterliegen, und allgemeine Regeln anzugeben, wie andere Beanspruchungen zu berücksichtigen sind. Er enthält keine spezifischen Auslegungsregeln für andere als in a) bis e) festgelegte Beanspruchungen.

Diese Berechnungsregeln sind geeignet für Kessel einer festgelegten Konstruktion, die nach den Anweisungen des Herstellers aufgestellt und betrieben werden.

Die Ermittlung der Abmessungen von drucktragenden Teilen erfordert besondere Berücksichtigung außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments, sofern anomale Bedingungen auftreten, wie z. B.:

- anomal hochkorrosive Verbrennungsprodukte;
- hochdruckbeaufschlagte Verbrennungsprodukte;
- schlechtes Speisewasser.

Abweichungen von den Anforderungen dieses Dokuments sind bei Verwendung alternativer Konstruktionsverfahren zulässig, sofern nachgewiesen wird, dass die Annahme eines derartigen Verfahrens nicht die Sicherheit des Bauteils beeinträchtigt. Ein Bericht zu allen Abweichungen muss in den Herstelleranweisungen enthalten sein. Siehe auch EN 12952-1:2015, Abschnitt 7.

5.3 Festigkeit von drucktragenden Teilen

Die Festigkeit drucktragender Teile muss so sein, dass diese den folgenden Beanspruchungen standhalten:

- a) Innendruck;
- b) dem Gewicht aller drucktragenden Teile und ihres Inhalts, dem Gewicht von Bauteilen, die frei aufgehängt sind, und der/des darin befindlichen Schlacke, Asche oder Staubs;
- c) den durch Druckgefälle über dem Feuerraum sowie die Kesselzüge verursachten Belastungen;
- d) Lasten an Anschlussstellen zwischen dem Kesselsystem und anderen Teilen.

Gegebenenfalls müssen die drucktragenden Teile ausreichend gegen Wind- und Erdbebenlasten ausgelegt sein. Die für derartige Lasten geltenden Bedingungen müssen vom Besteller festgelegt werden. Diese Festlegungen müssen vom Hersteller unter seiner Verantwortung in Betracht gezogen werden.

5.4 Auslegung nach Analyseverfahren

Die Auslegung nach den Analyseverfahren ist zulässig, wenn die Sicherheits- und Funktionsanforderungen an das Bauteil nicht beeinträchtigt sind.

Die Ergebnisse aller Spannungsberechnungen für Beanspruchungen, die nicht ausdrücklich durch die in diesem Abschnitt 5 enthaltenen Gleichungen abgedeckt sind, müssen unter Anwendung der Kriterien nach EN 13445-3:2021 bestimmt werden.

5.5 Wechselbeanspruchung

Kesselbauteile werden Wechselbeanspruchung ausgesetzt, wenn der Kessel für mehr als 500 Kaltstarts ausgelegt ist. Wenn zylindrische oder kugelförmige drucktragende Teile mit Ausschnitten Wechselbeanspruchungen ausgesetzt sind, muss die Berechnung der zulässigen Temperaturänderungsgeschwindigkeit v_t wie folgt durchgeführt werden:

$$v_t = \left(X - p_o \left(\frac{(\alpha_m \times d_m)}{(n_s \times e_{ms})} - 0,5 \right) \right) \frac{Z}{e_{ms}^2} \quad (1)$$

Dabei ist

- v_t die zulässige Temperaturänderungsgeschwindigkeit in K/s;
- p_o der maximale Betriebsdruck;
- d_m der mittlere Durchmesser des Mantels;
- e_{ms} die Mindestwanddicke;
- $n_s = 2$ für Zylinderschalen oder
- $n_s = 4$ für Kugelschalen;
- $\alpha_m = 4$ oder, sofern Zweifel an der richtigen Dimensionierung bestehen, der genaue Wert α_m für Zylinderschalen nach Bild 60 oder α_{sp} für Kugelschalen nach Bild 62 zu verwenden;
- $X = 550 \text{ N/mm}^2$;
- $Z = 2 \text{ K mm}^4/(\text{Ns})$ für ferritische Stähle oder
- $Z = 1 \text{ K mm}^4/(\text{Ns})$ für austenitische und martensitische Stähle oder

$$Z = - \frac{0,5 D_{th}}{\gamma_{cyl/sp} \alpha_t \beta_t E / (1 - \nu)} \quad (2)$$

Dabei dürfen die genauen Werte für D_{th} , β_t , E , ν Anhang D, $\gamma_{cyl/sp}$ Bild 61 oder Bild 64 sowie α_t Bild 63 entnommen werden.

Ist das Ergebnis dieser Berechnung kleiner als der geforderte Temperaturverlauf beim Anfahren oder ist es negativ, dann gilt 13.4.

Bei Konstruktionen unter Wechselbeanspruchung muss sorgfältig auf die Konfiguration der Konstruktion geachtet werden, um spannungserhöhende Merkmale zu vermeiden und eine gute Spannungsverteilung sicherzustellen. In kritischen Bereichen dürfen Werkstoffe nicht gestempelt werden.

Bei der Betrachtung der Betriebsbedingungen muss die Berechnung ausreichende Zuschläge für Korrosion und Ermüdung vorsehen.

Der Umfang der durchgeführten zerstörungsfreien Prüfungen muss die in EN 12952-6:2021 für Trommelhauptschweißnähte festgelegten Abnahmekriterien erfüllen.

5.6 Weitere Konstruktionsanforderungen

5.6.1 Allgemeines

Insbesondere müssen folgende Anforderungen nach EN 12952-5:2021 und EN 12952-6:2021 beachtet werden:

- a) die Auslegung muss die Herstellungs- und Schweißverfahren nach EN 12952-5:2021 und die Prüfung nach EN 12952-6:2021 ermöglichen;
- b) sind teilweise durchgeschweißte Nähte auszuführen, muss die Tiefe der erforderlichen Nahtfuge in der Zeichnung angegeben werden;
- c) Befestigungsnähte von Abzweigen, Stutzen, Nippeln und Unterstützungen an Trommeln und Sammlern dürfen keinerlei Kombination von austenitischem und ferritischem Stahl enthalten;
- d) die Anforderungen an die Befestigung von Stutzen und Abzweigen an Trommeln und Sammlern ohne Festigkeitsnähte müssen EN 12952-5:2021, 9.3, entsprechen;
- e) die Anforderungen an den Anschluss von Rohren an Trommeln und Sammlern ohne Festigkeitsnähte müssen EN 12952-5:2021, 9.4, entsprechen;
- f) die betrieblichen Grenzen für die Verwendung von Ventilen und Fittings aus Gusseisen mit Kugelgraphit;
- g) sind stichprobenartige ZfP von Schweißnähten nach EN 12952-6:2021 zugelassen, muss nachgewiesen werden, dass die Schweißnaht für die geplanten Belastungen bei einem Schweißnahtfaktor von 0,85 ausreichend dimensioniert ist;
- h) für die besonderen Anforderungen an spiralgewickelte Kessel siehe EN 12952-5:2021, Anhang D;
- i) für die besonderen Anforderungen an Rückgewinnungskessel siehe EN 12952-5:2021, Anhang E.

Bei im Zeitstandbereich betriebenen wesentlichen Bauteilen sind Maßnahmen zur Überwachung des Kriechens während des Betriebes zu ergreifen.

ANMERKUNG Die Überwachung kann mittels zerstörungsfreier Prüfung und/oder zusätzlicher Berechnungen der Kriecherschöpfung, D_c , durchgeführt werden.

5.6.2 Befahren

Der Kessel muss so konstruiert sein, dass ein ausreichendes Befahren sichergestellt ist, um die innere Untersuchung der Trommeln und Sammler zu erleichtern. Die Anforderungen und Begrenzungen für Befahr- und Besichtigungsöffnungen müssen EN 12952-7:2012, Anhang E, entsprechen.

5.6.3 Entleerung und Entlüftung

Der Kessel muss mit ausreichenden Möglichkeiten für die Entleerung und Entlüftung ausgestattet sein, um Wasserschlag und Vakuumeinsatz zu verhindern und die Durchführung interner Prüfungen zu ermöglichen.

5.7 Auslegungs-, Berechnungs- und Prüfdrücke

5.7.1 Auslegungsdruck

Für die Anwendung von EN 12952-3 muss der Auslegungsdruck p_d mindestens dem maximal zulässigen Druck P_S entsprechen.

Für jeden Druckraum eines Wasserrohrkessels muss der Auslegungsdruck mindestens der höchste Einstelldruck eines auf diesem Druckraum installierten Sicherheitsventils sein.

ANMERKUNG Ein Druckraum ist ein druckbeaufschlagter Teil einer Anlage, der durch Absperrventile abgesperrt werden kann.

5.7.2 Berechnungsdruck

Jeder Druckraum darf in Abschnitte eingeteilt werden, wobei jeder Abschnitt seinen eigenen Berechnungsdruck p_c und seine eigene Berechnungstemperatur t_c haben darf. Die Berechnung jedes Abschnitts muss auf einem der folgenden Punkte beruhen:

- a) Bei Teilen, deren zulässige Spannung von der Zugfestigkeit R_m oder Mindestdehngrenze $R_{p0,2 t_c}$ abgeleitet worden ist, muss der Berechnungsdruck dem auf den höchstmöglichen Druck erhöhten Auslegungsdruck entsprechen, wenn die Anlage bei Berechnungstemperatur betrieben wird. Differenzen zwischen Auslegungs- und Berechnungsdruck können durch hydrostatischen Druck oder durch den von der Flüssigkeitsströmung erzeugten Druckabfall verursacht werden. Hydrostatische Druckdifferenzen $\leq 0,05$ MPa können vernachlässigt werden.
- b) Für Teile, deren zulässige Spannung von der Zeitstandfestigkeit abgeleitet worden ist, muss der Berechnungsdruck der niedrigste Einstelldruck des Sicherheitsventils am Überhitzer-/Zwischenüberhitzeraustritt sein, erhöht um die höchstmögliche Druckdifferenz unter Dauerleistung.

Eine Überprüfung der nach Verfahren b) berechneten Wanddicke muss unter Verwendung des Berechnungsdrucks nach a) durchgeführt werden, wobei die zulässige Spannung von der Zugfestigkeit R_m oder Mindestdehngrenze $R_{p0,2 t_c}$ bei der in b) verwendeten Berechnungstemperatur abgeleitet worden ist und die größere Wanddicke verwendet wird.

Stehen bei höheren Temperaturen keine Daten über die Mindestdehngrenze zur Verfügung, ist eine lineare Extrapolation zulässig.

5.7.3 Berechnungsdruck für Druckdifferenzen

Für Teile mit einem Auslegungsdruck von mindestens 1 MPa, die gleichzeitig unter innerem und äußerem Druck stehen, z. B. Heißdampfkühler in Kesseltrommeln, und bei denen durch die Konstruktion sichergestellt ist, dass beide Drücke immer zusammen auftreten, muss der Berechnungsdruck die maximale Druckdifferenz, mindestens aber 1 MPa betragen. Die während der Wasserdruckprüfung auftretende Belastung muss berücksichtigt werden.

5.7.4 Wasserdruckprüfung

5.7.4.1 Allgemeines

Um die Festigkeit und Vollständigkeit einzelner Bauteile und des komplett zusammengebauten Wasserrohrkessels nachzuweisen und um festzustellen, dass kein schwerwiegender Irrtum oder Fehler geschehen ist, müssen die vollständig zusammengebauten Wasserrohrkessel mit Wasserdruck und dem Prüfdruck, der in 5.7.4.2 festgelegt wird, geprüft werden. Einzelne Bauteile müssen mit Wasserdruck nach 5.7.4.2 geprüft werden, ohne Anzeichen von geringer Festigkeit oder Beschädigung zu zeigen.

Die Wasserdruckprüfung muss an geschweißten Bauteilen oder an dem vollständig zusammengebauten Wasserrohrkessel durchgeführt werden, nachdem alle Schweißungen und Wärmebehandlungen abgeschlossen wurden, darf aber an Kesseltrommeln vor dem Bohren der Löcher für eingewalzte Rohre durchgeführt werden.

Alle Bauteile, die nach Einbau in den Wasserrohrkessel für die Überprüfung nicht angemessen zugänglich sind, müssen einzeln vor Einbau in den Wasserrohrkessel mit dem Wasserprüfdruck nach 5.7.4.2 geprüft werden.

5.7.4.2 Prüfdruck

Ein Kessel beinhaltet eine Anzahl von Bauteilen, wobei jedes seinen bestimmten Berechnungsdruck p_c und seine Berechnungstemperatur t_c hat. Der Prüfdruck p_t für Bauteile nach 5.7.4.1 muss in Verbindung mit 5.7.4.3 bestimmt werden.

Da es nur einen Wasserprüfdruck für einen Kessel oder für separat abgetrennte Druckräume nach EN 12952-1:2015, 1.2, geben kann, ist eine Reihe einzelner Berechnungen für ausgewählte Bauteile innerhalb des zusammengebauten Kessels oder für getrennte Druckräume, sofern zutreffend, nach 5.7.4.3 erforderlich, um den jeweiligen Prüfdruck für jedes ausgewählte Bauteil zu ermitteln. Der Wasserprüfdruck für den gesamten Zusammenbau muss der Druck sein, bei dem sichergestellt ist, dass keines der ausgewählten Bauteile unter den Prüfbedingungen einer größeren Belastung als nach 6.3.7 ausgesetzt ist.

Ist die Druckprüfung mit Wasser nachteilig oder nicht durchführbar, dürfen andere nachweislich wirksame Prüfungen durchgeführt werden. Für andere Prüfungen als die Druckprüfung mit Wasser müssen zuvor zusätzliche Maßnahmen, wie zerstörungsfreie Prüfungen oder andere gleichwertige Verfahren, angewendet werden.

5.7.4.3 Berechnung des Wasserprüfdruckes

Der Wasserprüfdruck für ein Bauteil oder für einen vollständig zusammengebauten Kessel muss wie folgt festgelegt werden:

$$p_t = 1,43 \cdot PS \quad (3)$$

oder

$$p_t = 1,25 \cdot PS \cdot \frac{R_{p0,2\ 20}}{R_{p0,2\ t_c}} \quad (4)$$

wobei der höhere Wert gilt; dabei ist

p_t der Prüfdruck für das jeweilige Bauteil;

PS der maximal zulässige Druck oder, wenn höher, der Berechnungsdruck für das jeweilige Bauteil.

Das anzuwendende Verhältnis $R_{p0,2\ 20}/R_{p0,2\ t_c}$ oder im Fall von austenitischen Stählen mit einer Bruchdehnung von mehr als 30 % das Verhältnis $R_{p1,0\ 20}/R_{p1,0\ t_c}$ muss der niedrigste Wert für die jeweiligen Bauteile sein, gestützt auf die Werkstoffeigenschaften und die spezifische Berechnungstemperatur, und sollte nicht geringer sein als 1, siehe auch 6.3.

Stehen bei höheren Temperaturen keine Daten über die Mindestdehngrenze zur Verfügung, ist eine lineare Extrapolation zulässig.

5.8 Werkstoffabtrag²

5.8.1 Innerer Abtrag

Der innere Abtrag ist üblicherweise gering und ist bei mit Speisewasser nach EN 12952-12:2003 betriebenen Kesseln zu vernachlässigen. Bei Bauteilen, bei denen die Gefahr besteht, dass sie mehr als dem üblichen Werkstoffabtrag ausgesetzt sind (z. B. Erosion durch Turbulenzen), müssen geeignete Gegenmaßnahmen getroffen werden.

Die Magnetitschicht muss nach 13.4.1.1 geschützt werden.

5.8.2 Äußerer Abtrag

Der äußere Abtrag von nicht den Rauchgasen ausgesetzten drucktragenden Teilen ist üblicherweise gering, und die nach dieser Europäischen Norm ermittelte Wanddicke reicht ohne weiteren Zusatz aus.

Die Rauchgasen ausgesetzten Rohre sind einem Abtrag in unterschiedlichem Ausmaß ausgesetzt. Zeigen die Konstruktionsdaten an, dass der Abtrag erheblich sein kann, müssen die Rohrwanddicken entsprechend erhöht werden. Zusätzlich dazu können andere Schutzmaßnahmen für das Rohr vorhanden sein. In diesem Fall muss der Wanddickenzuschlag vom Hersteller festgelegt werden, sofern der Käufer keinen höheren Zuschlag festgelegt hat.

Es ist zulässig, dem Abtrag mittels metallurgisch verbundener Rohrwerkstoffkombinationen mit korrosionsbeständigen Beschichtungen Rechnung zu tragen.

5.8.3 Anforderungen

Wird ein Zuschlag für den Abtrag berücksichtigt, muss der Betrag in den Berechnungsunterlagen vermerkt sein und es muss angegeben werden, ob dieser Zuschlag für den „inneren oder äußeren Abtrag“ gilt. Bei den Festigkeitsberechnungen müssen die Abmessungen abzüglich der Zuschläge für den Werkstoffabtrag verwendet werden.

Allerdings ist bei Rohren mit Festigkeiten, die von Zeitstandeigenschaften abgeleitet worden sind, die zeitliche Integration der Auswirkungen des Kriechens und des Abtrags zulässig, so dass ein Versagen zu einem Zeitpunkt nicht vor dem Ende der Nenn-Lebensdauer vorausgesagt werden kann. In derartigen Fällen kann die Rohrwanddicke über den letzten Teil der rechnerischen Lebensdauer kleiner sein als die nach Gleichung (124) bis Gleichung (127) erforderliche Dicke.

5.8.4 Spannungsrisskorrosion

Bei Überwachung der Kesselwasserqualität nach EN 12952-12:2003 ist Spannungsrisskorrosion in ferritischen Rohren unter normalen Betriebsbedingungen nicht zu erwarten. Das Risiko einer derartigen Korrosion in austenitischen Werkstoffen für Überhitzer kann zufriedenstellend gemindert werden, indem sicherstellt wird, dass keine Wassertropfen in das austenitische Rohr mitgerissen werden. Das Mitreißen kann als entsprechend eingeschränkt angesehen werden, wenn der Dampf eine Enthalpie von 2 900 kJ/kg oder mehr aufweist oder die Enthalpie einer Temperatur von 425 °C oder mehr entspricht.

Werden außergewöhnliche Zustände chemischer Konzentration für längere Betriebszeitspannen vorausgesagt, müssen die Auswirkungen von Spannungsrisskorrosion und Korrosionsauswaschungen berücksichtigt und die Werkstoffe entsprechend ausgewählt werden.

ANMERKUNG Es ist nicht möglich, Spannungsrisskorrosion durch Erhöhung der Bauteilwanddicke auszugleichen.

² Für den Zweck der Berechnung nach diesem Dokument schließt der Werkstoffabtrag Oxidation, Korrosion, Erosion und Verschleiß ein.

5.8.5 Mechanische Anforderungen

Besteht im Betrieb die Wahrscheinlichkeit von relativer Bewegung oder mechanischem Reibabtrag zwischen einem drucktragenden Teil und einem mit ihm in Kontakt befindlichen drucklosen Teil, ist der Werkstoffabtrag der Bauteile zu berücksichtigen. Gegebenenfalls müssen Verschleißbleche auf das drucktragende Teil geschweißt werden oder andere geeignete Maßnahmen getroffen werden.

5.9 Befestigungen an drucktragenden Teilen

5.9.1 Lasttragende Befestigungen

Lasttragende Befestigungen müssen vom Berechnungsingenieur festgelegt werden und als solche in der Zeichnung angegeben werden.

Lasttragende Befestigungen sind:

- a) Befestigungen, die für vollständig definierbare Primärlasten ausgelegt sind und gewöhnlich Aufhängungszwecken dienen, oder
- b) Befestigungen, die im Allgemeinen zum Ausrichten und/oder zur Ausdehnungsbehinderung vorgesehen werden, wobei die Beanspruchung nicht einfach festzulegen ist. Derartige Befestigungen dürfen entweder durch primäre oder sekundäre Lasten beansprucht werden.

Durch lasttragende Befestigungen verursachte Spannungen, welche nicht in 11.5 enthalten sind, müssen nach EN 13445-3:2021 berechnet werden.

5.9.2 Nicht lasttragende Befestigungen

Nicht lasttragende Befestigungen sind Befestigungen, die keine wesentlichen Lasten während der Fertigung, Montage, Prüfung oder während eines beliebigen Betriebszustandes tragen.

6 Berechnungstemperatur und zulässige Spannung

6.1 Berechnungstemperatur

6.1.1 Allgemeines

Für die Anwendung von EN 12952 muss die maximal zulässige Temperatur T_S die am Dampf-/Heißwasseraustritt sein.

Die Bezugstemperatur t_{or} muss die mittlere Temperatur des Mediums für das jeweilige Bauteil sein, die unter Betriebsbedingungen zu erwarten ist.

Bei von Wasser oder Dampf parallel durchflossenen Bauteilen muss t_{or} , unter Berücksichtigung der Schwankungen bei der Wärmeübertragung und der Wasser- und Dampfströmung zwischen den parallelen Teilen, für jedes dieser Bauteile ermittelt werden.

Die Berechnungstemperatur t_c eines Bauteils darf unter Berücksichtigung von Schwankungen beim Wärmeübergang und der Wasser- oder Dampfströmung im Kessel berechnet werden. Werden derartige Berechnungen nicht durchgeführt, dann muss die Berechnungstemperatur t_c aus der Bezugstemperatur t_{or} und dem Temperaturzuschlag nach 6.1.2 bis 6.1.10 gebildet werden. Die Temperaturzuschläge in Tabelle 1 sind als Mindestwerte anzusehen, sofern nicht Berechnungen von t_c durchgeführt werden und in 6.1.5 nichts anderes festgelegt ist.

Tabelle 1 — Bezugstemperaturen und Temperaturzuschläge

Aggregat- zustand	Bezugstemperatur	Temperaturzuschläge			
		Unbeheizte Bauteile ^a	Beheizte Bauteile ^a		
			Beheizung überwiegend durch Strahlung ^b	Beheizung überwiegend durch Berührung	Gegen Strahlung abgedeckt
Wasser oder Wasser/ Dampf- Gemisch	Sättigungstemperatur bei zulässigem (Betriebs-)Druck p_{s1} oder bei zulässigem (Gesamt-)Druck p_{s2}	0 °C	50 °C Bei Sammlern ^c (30 + 3 e_s) °C, mindestens jedoch 50 °C	(15 + 2 e_s) °C, höchstens jedoch 50 °C	20 °C
Heißdampf	Heißdampf, siehe auch 6.1.3	15 °C, siehe auch 6.1.5	50 °C	35 °C	20 °C
^a Beschreibung der Beheizungsarten siehe 6.1.7 bis 6.1.10. ^b Schottenüberhitzer werden wie Konvektionsüberhitzer behandelt. ^c Beschreibung eines Sammlers siehe 6.1.6.					

6.1.2 Umlaufkessel

Bei Umlaufkesseln müssen Bezugstemperaturen und Temperaturzuschlag Tabelle 1 entsprechen.

6.1.3 Durchlaufkessel, Überhitzer und Zwischenüberhitzer

Bei Durchlaufkesseln ist die Bezugstemperatur t_{or} die Temperatur des Mediums. Die Temperatur des Mediums muss unter Berücksichtigung der Schwankungen bei der Wärmeübertragung und der Wasser- oder Dampfströmung im Kessel errechnet werden.

Bei Überhitzern und Zwischenüberhitzern muss für die Bezugstemperatur die mittlere Temperatur des Mediums, das durch die verschiedenen Kesselteile fließt und die während des Betriebs zu erwarten ist, verwendet werden.

Die Temperaturzuschläge müssen Tabelle 1 entsprechen.

6.1.4 Heißwassererzeuger

Im speziellen Fall von Heißwassererzeugern, bei denen die Temperatur des darin enthaltenen Mediums durch Thermostate³ begrenzt ist, muss die Bezugstemperatur der Bauteile die Temperatur des Mediums sein.

6.1.5 Temperaturzuschläge für unbeheizte Bauteile

Bei unbeheizten heißdampf führenden Bauteilen muss der Temperaturzuschlag von 15 °C nach Tabelle 1 auf 5 °C (Messtoleranz) reduziert werden, wenn sichergestellt ist, dass die durch die Auslegung vorgeschriebene Temperatur nicht überschritten werden kann.

³ Nach EN 12952-11 hergestellte und geprüfte Temperaturbegrenzer werden als zuverlässig angesehen.

Dies kann erreicht werden durch:

- a) Temperaturregelung vor diesen Bauteilen;
- b) Anordnung von Kühl- oder Mischstellen (z. B. durch längsdurchströmte Sammler) vor diesen Bauteilen;
- c) schaltungstechnische Maßnahmen für Heizflächenanordnung oder Ähnliches.

6.1.6 Sammler

Rohrförmige Teile mit einem Nennaußendurchmesser $> 76,2$ mm, in die drei oder mehr nicht axiale Rohre einmünden, sind als Sammler zu betrachten.

6.1.7 Unbeheizte Bauteile

Bauteile müssen als unbeheizt angesehen werden, wenn:

- a) sie hinter einer feuerfesten Ausmauerung liegen und zwischen der Ausmauerung und den Bauteilen ein Zwischenraum von mindestens 100 mm liegt;
- b) eine gasdicht geschweißte Membranwand zwischen den Bauteilen und dem Feuerraum oder Kesselzug angeordnet ist;
- c) die Bauteile durch eine Lage feuerfester Steine oder feuerfeste Auskleidung geschützt sind und diese Lage nicht überwiegend Wärme aufgrund von Strahlungswärmeübertragung (siehe 6.1.10) absorbiert; in diesem Fall muss die Ausmauerung oder Auskleidung an dem aufgehängten Teil durch Halteeinrichtungen befestigt werden. Im Fall von Sammlern kann zu diesem Zweck eine Bestiftung erfolgen;
- d) die höchstmögliche Temperatur des Rauchgases weniger als die Bezugstemperatur des Bauteils beträgt. Liegt die Temperatur des Rauchgases nur geringfügig oberhalb der Bezugstemperatur, ist die Berechnungstemperatur nicht höher als die höchstmögliche Rauchgastemperatur zu definieren.

6.1.8 Gegen Strahlung geschützte Bauteile

Bauteile werden als gegen Strahlung geschützt angesehen, wenn sie durch dicht angeordnete Rohre (maximaler lichter Abstand 3 mm) abgeschirmt werden und keine wesentliche Rauchgasströmung zwischen den Abschirmrohren und den Bauteilen erfolgen kann.

6.1.9 Konvektionsbeheizte Bauteile

Bauteile werden überwiegend durch Konvektion beheizt, wenn:

- a) sie keiner Strahlung (siehe 6.1.10) ausgesetzt sind;
- b) die Bauteile durch eine Lage feuerfester Steine oder feuerfeste Auskleidung gegen Strahlungswärmeübertragung (siehe 6.1.10) geschützt sind. In diesem Fall muss die Ausmauerung oder Auskleidung an dem aufgehängten Teil durch Halteeinrichtungen befestigt werden; im Fall von Sammlern kann zu diesem Zweck eine Bestiftung erfolgen;
- c) die Bauteile durch eine Reihe von Rohren geschützt werden mit einem Verhältnis von

$$P_0/d_0 \leq 1,3n^{0,63} \quad (5)$$

Dabei ist

- n die Anzahl der Reihen;
- P_0 die Längsteilung, mit $\Phi = 0^\circ$;
- d_o der Rohraußendurchmesser;

Dies erfordert einen Wert von:

$$P_0/d_o \leq 1,3 \text{ für eine Rohrreihe nach Bild 1;}$$

$$P_0/d_o \leq 2,0 \text{ für zwei Reihen von Rohren nach Bild 2;}$$

$$P_0/d_o \leq 2,6 \text{ für drei Reihen von Rohren nach Bild 3;}$$

d) die Bauteile mit dicht angeordneten Rohren nach Bild 4 versehen werden mit einem Verhältnis von

$$\frac{P_0 P_{90}}{\pi l^2} \leq 0,1 \quad (6)$$

Dabei ist

- P_0 die Längsteilung, mit $\Phi = 0^\circ$;
- P_{90} die Umfangsrohrteilung auf der Außenfläche mit $\Phi = 90^\circ$;
- l der Abstand zwischen dem Bauteil und der Feuerraumumschließung.

6.1.10 Durch Strahlung beheizte Bauteile

Ungeschützte Bauteile sind als überwiegend durch Strahlung beheizt anzusehen, wenn sie einer Rauchgasstrahlung bei einer Temperatur $> 950^\circ\text{C}$ ausgesetzt sind.

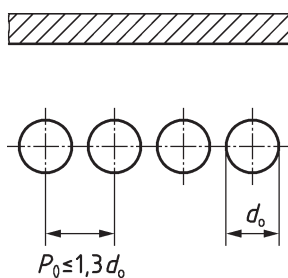


Bild 1 — Durch eine Rohrreihe geschützte Bauteile

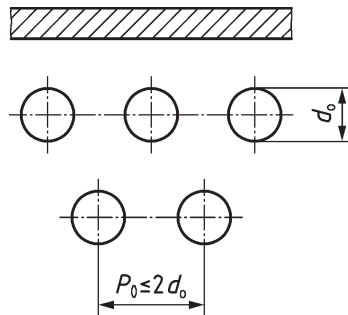


Bild 2 — Durch zwei Rohrreihen geschützte Bauteile

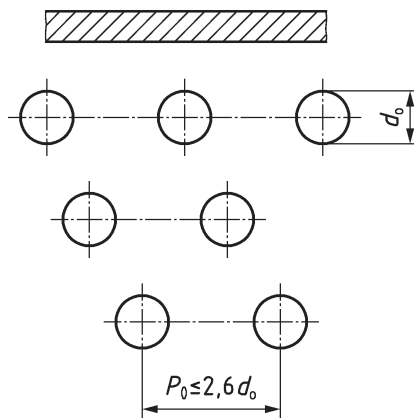
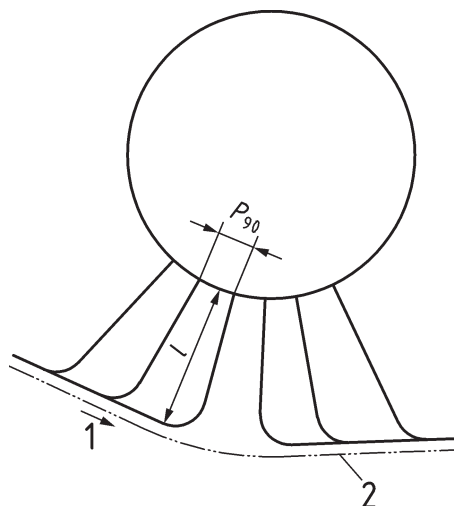


Bild 3 — Durch drei Rohrreihen geschützte Bauteile



Legende

- 1 Rauchgasströmung
- 2 Grenze der Rauchgasströmung

Bild 4 — Durch dicht angeordnete Rohre geschützte Bauteile

6.2 Maximale Temperaturdifferenz über die Wanddicke und maximale Rauchgastemperatur für beheizte Trommeln und Sammler

6.2.1 Maximale Temperaturdifferenz über die Wanddicke

Die Temperaturdifferenz über die Wanddicke (festgelegt als Außenwandtemperatur abzüglich der Innenwandtemperatur) von beheizten Trommeln und Sammlern darf 30 K nicht überschreiten.

ANMERKUNG Bauteile aus ferritischem Stahl mit einer Wanddicke von höchstens 32 mm, die einem Wärmestrom 40 kW/m² ausgesetzt sind, erfüllen diese Anforderungen. Die Anforderung wird auch dadurch erfüllt, dass die Wanddicke innerhalb einer Grenze von 22,2 mm gehalten wird, ohne dass der untersuchte Wärmestrom begründet ist.

6.2.2 Maximale Rauchgastemperatur für Sammler

Im Fall von Überhitzer- und Zwischenüberhitzersammlern darf die Rauchgastemperatur an der Oberfläche 500 °C nicht überschreiten.

6.2.3 Zulässige Abweichungen

In den Fällen, die eine Abweichung von 6.2.1 und 6.2.2 erfordern, muss nachgewiesen werden, dass instationäre und stationäre Wärmespannungen nicht zu unzulässigen Spannungen in der Bauteilwand führen.

6.3 Zulässige Spannung

6.3.1 Allgemeines

Die bei der Bemessung von überwiegend statischer Beanspruchung ausgesetzten Bauteilen zu verwendende zulässige Spannung f muss sein

$$f = \frac{K}{S} \quad (7)$$

Dabei ist

K der Festigkeitskennwert für die Auslegungsbedingungen entsprechend den z.B. in EN 12952-2:2021 angegebenen Werkstoffnormen und Spezifikationen, wobei S der Sicherheitsbeiwert ist.

Und bei Prüfdruck p_t muss die zulässige Spannung f_t betragen:

$$f_t = \frac{K_t}{S_t} \quad (8)$$

Dabei ist

K_t der Festigkeitskennwert und S_t der Sicherheitsbeiwert, beide für die Prüfbedingung.

Für Berechnungstemperaturen t_{cr} bei denen zeitabhängige Festigkeitskennwerte zu berücksichtigen sind, muss die zulässige Spannung f_{cr} betragen

$$f_{cr} = \frac{R_{mT_{tc}}}{S_{cr}} \quad (9)$$

Dabei ist

$R_{mT\ t_c}$ die Zeitstandfestigkeit für die festgelegte Lebensdauer T bei Berechnungstemperatur t_c und

S_{cr} der Sicherheitsbeiwert, der die Streuung der Zeitstandfestigkeit für die festgelegte Lebensdauer T und eine zusätzliche Sicherheitsgrenze in Fällen ohne Überwachung der Zeitstanderschöpfung berücksichtigt, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2 — Berücksichtigung zeitabhängiger Festigkeitskennwerte

Festgelegte Lebensdauer ^a	Walz- und Schmiedestähle, austenitische Stähle		Stahlgüsse	
T [h] ^b	Zeitstandfestigkeit	S_{cr}	Zeitstandfestigkeit	S_{cr}
$10\,000 \leq T \leq 100\,000$	$R_{mT\,tc}$	1,25	$R_{mT\,tc}$	2,0
$100\,000 < T < 200\,000$	$R_{mT\,tc}$	1,25	$R_{mT\,tc}$	2,0
$T = 200\,000$	$R_{m\,200\,000\,h\,tc}$	1,25	$R_{mT\,tc}$	2,0
	$R_{m\,150\,000\,h\,tc}^c$	1,35		
	$R_{m\,100\,000\,h\,tc}^c$	1,5		

^a Wenn keine Lebensdauer angegeben ist, muss die mittlere Zeitstandfestigkeit bei 200 000 h mit dem zugehörigen S_{cr} verwendet werden. In Ausnahmefällen, wenn drucktragende Teile für eine kurze Zeitspanne (< 10 000 h) im Zeitstandbereich betrieben werden, z. B. Ausblaseleitungen, darf T auf 10 000 h mit einem zugehörigen $S_{cr} = 1,25$ reduziert werden.

^b Zeitstandfestigkeitswerte für dazwischenliegende Lebensdauern müssen durch Interpolieren im doppellogarithmischen System ermittelt werden.

^c Nur in den Fällen, in denen die 200 000 h-Werte in den Werkstoffnormen nicht angegeben sind, muss die mittlere Zeitstandfestigkeit bei 150 000 h oder 100 000 h für eine Nenn-Lebensdauer von 200 000 h mit dem zugehörigen S_{cr} verwendet werden.

6.3.2 Walz- und Schmiedestähle

Die zulässige Spannung f muss der niedrigste nach der folgenden Gleichung ermittelte Wert sein

$$f = \min \left\{ \frac{R_{m20}}{2,4}; \frac{R_{eH\ t_c}}{1,5} \text{ und/oder } \frac{R_{p0,2\ t_c}}{1,5}; f_{cr} \right\} \quad (10)$$

Dabei ist

$R_{m\ 20}$ die Zugfestigkeit bei Raumtemperatur (20 °C);

$R_{eH\ t_c}$ die obere Streckgrenze bei Berechnungstemperatur t_c ;

$R_{p0,2\ t_c}$ die 0,2 %-Dehngrenze bei Berechnungstemperatur t_c ;

f_{cr} die zulässige Spannung für zeitabhängige Festigkeitskennwerte, wie in 6.3.1 festgelegt.

6.3.3 Austenitische Stähle

Die zulässige Spannung f muss Folgendem entsprechen:

- bei Stahlsorten mit einer festgelegten Mindest-Bruchdehnung in Querrichtung $A < 30 \%$, der niedrigste nach der folgenden Gleichung ermittelte Wert

$$f = \min \left\{ \frac{R_{p0,2\ t_c}}{1,5}; f_{cr} \right\} \quad (11)$$

Dabei ist

$R_{p0,2\ t_c}$ die 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ bei Berechnungstemperatur t_c ;

f_{cr} die zulässige Spannung für zeitabhängige Festigkeitskennwerte, wie in 6.3.1 festgelegt.

- bei Stahlsorten mit einer festgelegten Mindest-Bruchdehnung in Querrichtung $A \geq 30 \%$, der niedrigste nach der folgenden Gleichung ermittelte Wert

$$f = \min \left\{ \frac{R_{p1,0\ t_c}}{1,5}; f_{cr} \right\} \quad (12)$$

Dabei ist

$R_{p1,0\ t_c}$ die 1,0 %-Dehngrenze $R_{p1,0}$ bei Berechnungstemperatur t_c ;

f_{cr} die zulässige Spannung für zeitabhängige Festigkeitskennwerte, wie in 6.3.1 festgelegt.

- oder alternativ bei einer festgelegten Mindest-Bruchdehnung in Querrichtung $A \geq 35 \%$, der niedrigste nach der folgenden Gleichung ermittelte Wert

$$f = \min \left\{ \frac{R_{m\ t_c}}{3}; \frac{R_{p1,0\ t_c}}{1,2}; f_{cr} \right\} \quad (13)$$

Dabei ist

$R_{m\ t_c}$ die Zugfestigkeit bei Berechnungstemperatur t_c ;

$R_{p1,0\ t_c}$ die 1 %-Dehngrenze $R_{p1,0}$ bei Berechnungstemperatur t_c ;

f_{cr} die zulässige Spannung für zeitabhängige Festigkeitskennwerte, wie in 6.3.1 festgelegt.

6.3.4 Unlegierter und niedrig legierter Stahlguss

Die zulässige Spannung f für unlegierten und niedrig legierten Stahlguss muss der niedrigste nach der folgenden Gleichung ermittelte Wert sein.

$$f = \min \left\{ \frac{R_{m20}}{3,2}; \frac{R_{p0,2\ t_c}}{2,0}; f_{cr} \right\} \quad (14)$$

Dabei ist

$R_{m\ 20}$ die Zugfestigkeit bei Raumtemperatur (20 °C);

$R_{p0,2\ t_c}$ die 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ bei Berechnungstemperatur t_c ;

f_{cr} die zulässige Spannung für zeitabhängige Festigkeitskennwerte, wie in 6.3.1 festgelegt.

6.3.5 Gusseisen mit Kugelgraphit

Die zulässige Spannung f für spannungsarm geglühtes Gusseisen mit Kugelgraphit muss der niedrigste nach der folgenden Gleichung ermittelte Wert sein.

$$f = \min \left\{ \frac{R_{m20}}{4,8}; \frac{R_{p0,2\ t_c}}{3,0} \right\} \quad (15)$$

Die zulässige Spannung f für nicht spannungsarm geglühtes Gusseisen muss der niedrigste nach der folgenden Gleichung ermittelte Wert sein.

$$f = \min \left\{ \frac{R_{m20}}{5,8}; \frac{R_{p0,2\ t_c}}{4,0} \right\} \quad (16)$$

Dabei ist

$R_{m\ 20}$ die Zugfestigkeit bei Raumtemperatur (20 °C);

$R_{p0,2\ t_c}$ die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ bei Berechnungstemperatur t_c .

6.3.6 Zulässige Spannung für Schweißnähte unter Kriechbedingungen

Sind die Kriecheigenschaften der Schweißverbindung bekannt, muss der kleinste Festigkeitskennwert der Schweißverbindung und der beiden verbundenen Werkstoffe für die senkrechte Belastung der Schweißnaht gewählt werden.

Sind die Kriecheigenschaften der Schweißverbindung nicht bekannt, sondern die des Schweißzusatzes, dann müssen die Festigkeitskennwerte für diese Belastung um 20 % des geringeren Wertes der Festigkeitskennwerte der verbundenen Werkstoffe reduziert werden. Ist die Zeitstandfestigkeit des Schweißzusatzes nicht bekannt, dann muss die Schweißnahtfestigkeit um weitere 20 % reduziert werden.

6.3.7 Zulässige Spannung bei Prüfdruck

Bei Prüfdruck p_t , muss die zulässige Spannung f_t im Fall von Walz- und Schmiedestählen sowie austenitischen Stählen mit einer festgelegten Mindest-Bruchdehnung in Querrichtung $A < 30$ % Folgendem entsprechen

$$f_t = \frac{R_{p0,2\ 20}}{S_t} \quad (17)$$

Dabei ist

$R_{p0,2\ 20}$ die 0,2 %-Dehngrenze bei Raumtemperatur (20 °C);

S_t der Sicherheitsbeiwert für den Prüf(nenn)druck von

2,2 für Gusseisen mit Kugelgraphit,

1,4 für Stahlguss und

1,05 für Walz- und Schmiedestähle sowie austenitische Stähle mit einer festgelegten Mindestdehnung $< 30 \%$.

Bei austenitischen Stählen mit einer festgelegten Mindestdehnung von $A \geq 30 \%$ muss die zulässige Spannung f_t Folgendem entsprechen:

$$f_t = \frac{R_{p1,0\ 20}}{1,05} \quad (18)$$

Dabei ist

$R_{p1,0\ 20}$ die 1,0 %-Dehngrenze bei Raumtemperatur (20 °C);

1,05 der Sicherheitsbeiwert S_t für den Prüf(nenn)druck für austenitische Stähle mit einer festgelegten Mindestdehnung von $A \geq 30 \%$.

7 Zylindrische Mäntel von Trommeln und Sammlern unter Innendruck

7.1 Mantelwanddicke

7.1.1 Anforderungen

Die Mantelwanddicke von Trommeln und Sammlern nach Abzug der Zuschläge $e_{rs} = e_s - c_1 - c_2$ muss dem größten Wert der folgenden Anforderungen entsprechen:

- a) einem Mindestwert von 9,5 mm für Sammler mit Außendurchmesser ≥ 300 mm und einem Mindestwert von 6 mm für Sammler mit Außendurchmesser < 300 mm;
- b) den Anforderungen in 7.2 unter Anwendung von 8.2 oder 8.3.3 und 8.3.4;
- c) den Anforderungen in 7.3 und 7.4 (sofern zutreffend).

7.1.2 Erforderliche Wanddicke mit Zuschlägen

Die erforderliche Wanddicke mit Zuschlägen ist abzuleiten von

$$e'_s = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad (19)$$

7.2 Grundlegende Berechnung

7.2.1 Erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge

Die erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge e_{cs} , in mm, eines zylindrischen Mantels muss nach einer der folgenden Gleichungen ermittelt werden:

$$e_{cs} = \frac{p_c d_{is}}{(2f_s - p_c)v} \quad \text{falls } d_{is} \text{ gegeben ist} \quad (20)$$

oder

$$e_{cs} = \frac{p_c d_{os}}{(2f_s - p_c)v + 2p_c} \quad \text{falls } d_{os} \text{ gegeben ist} \quad (21)$$

worin Folgendes zusätzlich zu EN 12952-1:2015, Tabelle 5-1, gilt:

- v ist der minimale Verschwächungsbeiwert v_b für Einzelabzweige bzw. v_m für benachbarte Abzweige, für Einzel- bzw. benachbarte Ausschnitte in Längs-, Schräg- oder Umfangsrichtung, näherungsweise nach 8.2 oder nach 8.3.3 und 8.3.4 ermittelt.

Beschichtung zur Vermeidung von Werkstoffabtrag ist nicht zu berücksichtigen.

Die Berechnung der erforderlichen Wanddicke eines Grundkörpers mit Verschwächung durch Ausschnitte ist nur iterativ möglich, da die Verschwächung von der Wanddicke abhängt.

Die entsprechende Spannung im Mantel ist durch Umstellung der Gleichung (20) oder Gleichung (21) zu berechnen.

Wärmespannungen durch Wandtemperatur-Differenzen müssen entsprechend den Anforderungen nach Abschnitt 13 berücksichtigt werden.

7.2.2 Unterschiedliche Wanddicken

Besteht ein Mantel aus Blechen unterschiedlicher Dicke, muss die Stumpfschweiß-Rundnaht nach EN 12952-5:2021, Bild 4 und Bild 5, ausgelegt sein.

Bei der Bestimmung der Wanddicken jedes der Bleche ist für d_{is} in Gleichung (20) der doppelte Innenradius oder für d_{os} in Gleichung (21) der doppelte Außenradius einzusetzen.

7.2.3 Fertigungstoleranzen

Bei der Berechnung von Mantelwanddicken sind die Fertigungstoleranzen für den Nenndurchmesser (entsprechend der Bestellung) nicht zu berücksichtigen. Bei der Berücksichtigung von Wanddickenunterschreitungen ist zu beachten, dass diese bei Bestellung von Mänteln nach dem Außendurchmesser innen und bei Bestellung nach dem Innendurchmesser außen auftreten.

7.3 Kombinierte Spannungen in Trommel- oder Sammlermänteln

7.3.1 Allgemeines

Ungeachtet der nach 7.2 berechneten Mantelwanddicken müssen Berechnungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die durchschnittliche Stegspannung, die sich aus der Kombination von Spannungen ergibt, die von dem Innendruck, dem Eigengewicht der Trommel oder des Sammlers mit Inhalt sowie allen äußeren Belastungen herrühren, auf keinen Fall die zulässige Spannung f (siehe 6.3) in jeder Bohrungsreihe, ob in Längs-, Umfangs- oder diagonalen Richtung, überschreitet.

Die durchschnittliche Stegspannung in Stegen zwischen Bohrungen auf einer Umfangslinie entspricht der Summe der nach 7.3.2 und 7.3.3 berechneten Längsspannungen, erhöht um $p_c/2$. Die durchschnittliche Stegspannung in Stegen zwischen Bohrungen auf einer diagonalen Linie ist nach 7.3.4 zu berechnen.

7.3.2 Spannungen infolge Belastungen in Längsrichtung

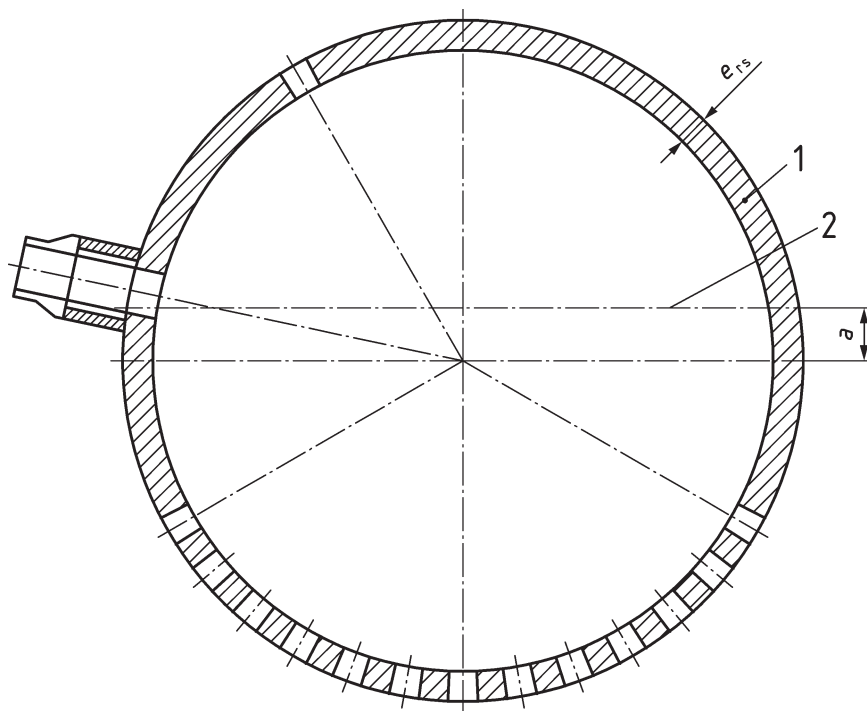
Die über dem Mantelquerschnitt gemittelte Spannung in Längsrichtung f_d infolge von Innendruck und dem Anteil der äußeren Lasten in Längsrichtung W muss wie folgt berechnet werden:

$$f_d = \frac{\pi p_c d_{is}^2}{4 A_s} + \frac{W}{A_s} \quad (22)$$

Dabei ist A_s der Mantelquerschnitt an der betrachteten Stelle, siehe Bild 5. Wenn Ausschnitte im Mantel durch Verdickung der Wanddicke der Abzweige nach 8.1 bis 8.3 verstärkt werden, können die Ausgleichsflächen in der Wand des Abzweigs in A_s berücksichtigt werden.

Die folgende Bedingung gilt für jeden Querschnitt des Mantels:

$$f_d + \frac{p_c}{2} \leq f_s \quad (23)$$



Legende

- 1 Mantelquerschnitt
- 2 neutrale Achse

Bild 5 — Nettofläche des Mantelquerschnitts unter Belastungen in Längsrichtung

7.3.3 Biegespannung in Längsrichtung

Das Biegemoment M_R an einem beliebigen Querschnitt ist die algebraische Summe der resultierenden Biegemomente aus der Exzentrizität des Enddrucks M_E und aus dem Eigengewicht, dem Gewicht des Wassers und infolge der äußeren Lastenwirkung M_W .

$$M_R = M_E + M_W \quad (24)$$

Das resultierende Biegemoment M_E infolge der Exzentrizität a des Enddrucks ist wie folgt zu berechnen:

$$M_E = \frac{p_c d_{is}^2 \pi a}{4} \quad (25)$$

Dabei ist

a die Exzentrizität des Netto-Querschnittes.

Das resultierende Biegemoment M_W infolge äußerer Lasteinwirkung ist zu berechnen, indem der Mantel als Balken betrachtet wird, der die äußere Lasteinwirkung einschließlich seines Eigengewichts und Inhalts unter Betriebsbedingungen aufnimmt. M_W ist das Biegemoment an dem Schnitt, welcher der größten daraus resultierenden Biegung ausgesetzt ist.

Die Biegespannung f_M muss wie folgt berechnet werden:

$$f_M = \frac{M_R Y}{I_A} \quad (26)$$

Dabei ist

Y der Abstand zwischen der neutralen Achse des Netto-Querschnitts und dem äußersten Punkt der mittleren Manteldicke, in mm;

I_A das Flächenmoment 2. Grades.

Die Werte von M_R , Y und I_A sind von der Richtung der neutralen Biegeachse abhängig. Die Richtung muss so gewählt werden, dass die resultierende Spannung f_M maximal ist.

Wird f_d , wie in 7.3.2 gezeigt, berücksichtigt, gilt die folgende Bedingung:

$$f_d + f_M + \frac{p_c}{2} \leq f_s \quad (27)$$

7.3.4 Bewertung der Stegspannung von Schrägteilungen in Trommeln

Sind Biegespannungen aufgrund von Gewicht, äußerer Lasteinwirkung und Exzentrizität des Enddrucks nicht vernachlässigbar, muss die Spannung der fluchtend in einem Winkel ϕ zur Trommel-Längsachse verlaufenden Stege nach Bild 22 wie folgt bestimmt werden:

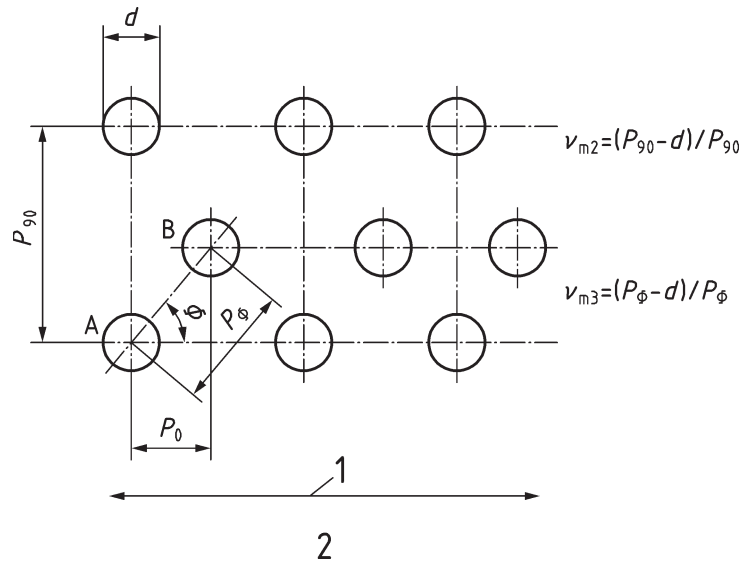
Die Umfangsspannung f_1 bezogen auf die Nettofläche des Längsschnitts sei

$$f_1 = \frac{p_c d_{is}}{2e_{rs}} \quad (28)$$

Die Längsspannung f_2 bezogen auf die Nettofläche des Querschnitts sei

$$f_2 = v_{m2} (f_d + f_M) \quad (29)$$

Dabei ist v_{m2} der Verschwächungsbeiwert der Stege am Querschnitt an der Stelle, an der f_d und f_M wirken, siehe Bild 6.



Legende

- 1 Längsachse des Mantels
- 2 radiale Sicht auf die mittlere Mantelwanddicke

Bild 6 — Ausschnitte mit diagonalen Stegen – Verschwächungsbeiwerte für Steg AB

Liegt der betreffende Steg zwischen gleich großen Ausschnitten, muss der Verschwächungsbeiwert auf der diagonalen Linie wie folgt angegeben werden:

$$v_{m3} = 1 - \frac{d}{P_{\phi}} \quad (30)$$

Sind die Ausschnitte unterschiedlich groß, muss der Verschwächungsbeiwert auf der diagonalen Linie wie folgt angegeben werden:

$$v_{m3} = 1 - \frac{(d_1 + d_2) \cos \Phi}{2P_0} \quad (31)$$

Die mittlere unmittelbare Stegspannung f_A ist

$$f_A = \frac{1}{v_{m3}} \left\{ \frac{(f_1 + f_2)}{2} + \frac{(f_1 - f_2) \cos 2\Phi}{2} \right\} \quad (32)$$

Die mittlere Querzugspannung f_B des Steges ist

$$f_B = v_{m3} \left\{ \frac{f_1 + f_2}{2} - \frac{(f_1 - f_2) \cos 2\Phi}{2} \right\} \quad (33)$$

Die mittlere Schubspannung f_C des Steges ist

$$f_C = \frac{(f_1 - f_2) \sin 2\Phi}{2v_{m3}} \quad (34)$$

Die Spannung f_3 , in MPa, des Steges ist

$$f_3 = \frac{1}{2} \left| f_A + f_B + \sqrt{(f_A - f_B)^2 + 4f_C^2} \right| \quad (35)$$

$$f_3 + \frac{p_c}{2} \leq f_s \quad (36)$$

7.4 Auflagerungen von Kesseltrommeln

Wenn Trommeln mit großem Durchmesser, jedoch verhältnismäßig geringer Wanddicke, große Belastungen auf Sättel oder Aufhängungen übertragen, ist die Gleichung (37) als Leitfaden zur Feststellung zu verwenden, ob zur Bestimmung örtlicher Spannungen genaue Berechnungen notwendig sind:

$$f_c = 0,78 \left(\frac{W}{l_s e_{rs}} \right) \sqrt{\left(\frac{r_{ms}}{e_{rs}} \right)} \leq f_s \quad (37)$$

Dabei ist

W die Belastung des Sattels oder der Aufhängung, in N;

l_s die waagerechte Länge des Sattels rechtwinklig zur Trommelachse, in mm, jedoch keinesfalls größer als die durch 120° beschriebene Sehne.

Ergibt die Anwendung dieser Gleichung eine Überschreitung der zulässigen Spannung, müssen entsprechende, z. B. in EN 13445-3:2021 angegebene Analyseverfahren angewendet werden.

7.5 Andere Spannungen in zylindrischen Mänteln

Zusätzlich zu den Anforderungen in 7.3 und 8.1.1 müssen auch andere zusätzliche Spannungen beachtet werden.

Spannungen, die durch Kräfte verursacht werden, die auf Stützen und Befestigungen wirken, müssen nach EN 13445-3:2021 berechnet werden.

8 Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln von Trommeln, Sammlern sowie eingebauten Rohrleitungen⁴

8.1 Allgemeines

8.1.1 Anforderungen an Grundkörper mit Verschwächung durch Ausschnitte und Abzweige

8.1.1.1 Verschwächungsbeiwert für den Grundkörper

Bei zylindrischen Mänteln mit Ausschnitten müssen die Bedingungen für die Verschwächung des Grundkörpers wie folgt erfüllt werden:

- durch eine Erhöhung der Wanddicke des Grundkörpers im Vergleich zu der des zylindrischen Mantels ohne Ausschnitte. Diese Wanddicke muss mindestens bis zu einer Länge l_{rs} , gemessen vom Rand des

⁴ Dieser Abschnitt legt die Bemessungsregeln für Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln fest. Die Abmessungen enthalten keine Zuschläge für Wanddicken-Minustoleranzen und Werkstoffabtrag.

Ausschnitts, vorhanden sein; siehe Bild 7 (l_{rs} siehe 8.1.2). Ist ein Abzweig vorhanden, muss die zylindrische Länge des Grundkörpers bis zu einer Schweißnaht $l_{so} \geq e_{rs}$ sein (siehe Bild 8 und Bild 9); oder

- b) durch Abzweige, die auf einer Länge l_{b1} , gemessen von der Außenwand des Grundkörpers, dickwandiger ausgeführt sind, als vom Innendruck her erforderlich ist, ohne oder in Verbindung mit einer Wanddickenvergrößerung des Grundkörpers (siehe Bild 8 bis Bild 10). Die Schweißverbindung zwischen Grundkörper und Abzweig muss volltragend sein, wobei bei Abzweigen ein wurzelseitiger Restspalt $\leq 1,5$ mm vorhanden sein kann. Ein Wanddickenverhältnis $e_{rb}/e_{rs} \leq 2$ ist zulässig für $d_{ib} \leq 50$ mm. Dies gilt auch für Abzweige mit $d_{ib} > 50$ mm, sofern das Durchmesser Verhältnis $d_{ib}/d_{is} \leq 0,2$ beträgt. Bei Abzweigen mit $d_{ib} > 50$ mm und einem Durchmesser Verhältnis $d_{ib}/d_{is} > 0,2$ darf der Wert von e_{rb}/e_{rs} den Wert 1 nicht überschreiten. Diese Bedingungen gelten nicht für Befahr- und Besichtigungsöffnungen.

Eingewalzte oder eingesteckte und nur dichtgeschweißte Abzweige oder durch Kehlnähte mit wurzelseitigem Restspalt $> 1,5$ mm mit dem Grundkörper verbundene Abzweige sind nicht im Zeitstandfestigkeitsbereich zu verwenden und werden nicht dynamisch belastet. Diese Abzweige dürfen nicht als tragende Verstärkung gewertet werden.

Bei Abzweigen muss die zylindrische Länge bis zur Stumpfschweißnaht zwischen Rohr und Abzweig $l_{b0} \geq e_{rb}$ sein (siehe Bild 8 und Bild 9).

Für Abzweige mit $d_{ib}/d_{is} \geq 0,7$, berechnet mit einer zulässigen Spannung, die von R_m oder $R_{p0,2tc}$ abgeleitet ist, wird auf 8.3.3.4 verwiesen. Für Abzweige, die mit einer zulässigen Spannung berechnet werden, die von Zeitstandfestigkeitswerten abgeleitet ist, muss $d_{ib}/d_{is} \leq 0,8$ und $l_{b1} \geq l_{rb}$ sein; darüber hinaus ist für $d_{ib}/d_{is} \geq 0,5$ die Bedingung $e_{rb} \geq e_{rs} \times d_{ib}/d_{is}$ einzuhalten (für l_{rb} siehe 8.1.2 und für l_{b1} siehe Bild 8).

Allgemein muss auf sanfte Wanddickenübergänge besonderer Wert gelegt werden. Wanddickenübergänge müssen unter einem Winkel von $\leq 30^\circ$ ausgeführt werden (siehe Bild 8). Ausschnittverstärkungen durch innen aufgeschweißte Bleche oder Scheiben sind unzulässig.

- c) durch Verdickung der hochbeanspruchten Zonen im Ausschnittbereich (siehe Bild 11 und Bild 12), was durch Schmieden oder durch Schmieden und anschließende spanabhebende Bearbeitung erfolgen kann.
- d) durch scheibenförmige Verstärkung entsprechend a) (siehe Bild 13 und Bild 14).

Die Anforderungen in Abschnitt 13 gelten nicht für diese Ausführung von Verstärkung. Scheibenförmige Verstärkungen müssen eng am Grundkörper anliegen.

- e) bei Abzweigen müssen die Konstruktionszeichnungen eine Angabe der erforderlichen Verbindungsart der Schweißverbindung zwischen Abzweig und Grundkörper enthalten, wie z. B.:
- 1) voll tragende Schweißnaht mit ausgearbeiteter oder überschliffter Wurzel ohne Restspalt oder von innen durch Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG) hergestellte Wurzel;
 - 2) Wurzel der Schweißnaht weder durch maschinelles Bearbeiten noch durch Überschleifen entfernt (Restspalt $\leq 1,5$ mm);
 - 3) Restspalt der Abzweig-Schweißnaht nicht festgelegt.

8.1.1.2 Besondere Anforderungen

Bei elliptischen oder länglich runden Befahr- und Besichtigungsöffnungen wird vorausgesetzt, dass das Verhältnis von großer Achse zu kleiner Achse 1,5 nicht übersteigt. Bei elliptischen oder länglich runden Ausschnitten in zylindrischen Mänteln gilt als Berechnungsdurchmesser das in Richtung der Mantellinie liegende Maß (zu schrägen Stützen siehe 8.3.3.3).

Das Berechnungsverfahren setzt Übergänge mit weitgehend kerbfreier Oberfläche⁵ voraus. Scharfe Kanten sind zur Erzielung sanfter Übergänge zu beseitigen.

Ausschnitte müssen einen ausreichenden Abstand von den Schweißnähten (Längs- oder Rundnähte) des Grundkörpers haben. Der Abstand ist ausreichend, wenn der äußere Rand eines Abzweigs oder einer aufgeschweißten Verstärkung bei einer Grundkörperwanddicke $e_{rs} \leq 25$ mm einen Abstand von $2e_{rs}$ und bei $e_{rs} > 25$ mm von mindestens 50 mm vom Rand der Schweißnaht hat.

Die Bearbeitung von Bohrlöchern durch Rundnähte von Trommeln und Sammlern ist zulässig, sofern die Bohrung des Loches nicht entlang der Kante der Hauptschweißnaht erfolgt und die Hauptschweißnähte der nach diesem Dokument erforderlichen zerstörungsfreien Prüfung unterzogen wurden. Außerdem müssen die Schweißlage über dem Anschweißstutzen und die Haupt-Schweißnaht am Stutzen/Loch geschliffen werden, um Kerben zu beseitigen.

Innenkanten von Stutzenlöchern in Trommeln müssen mit einem Radius ≥ 3 mm abgerundet sein, ausgenommen sind Löcher für eingewalzte Rohre.

8.1.1.3 Aushalsungen

Aushalsungen sind nur mit $d_{ib}/d_{is} \leq 0,8$ zulässig. Müssen derartige Aushalsungen mit Zeitstandfestigkeitswerten berechnet werden, sind sie auf $d_{ib}/d_{is} \leq 0,7$ zu begrenzen.

Der in der Berechnung zu berücksichtigende Verschwächungsbeiwert v_b muss 8.1.4.3 entsprechen.

Aushalsungen, die mit Zeitstandfestigkeitswerten berechnet werden, müssen außerdem 8.1.4.4 entsprechen.

8.1.1.4 Geschmiedete Abzweige

Für geschmiedete Abzweige nach Bild 11 und Bild 12 gelten die Grenzen für Aushalsungen nicht, sofern die hierbei angenommene Verdickung des Werkstoffes sichergestellt werden kann.

8.1.1.5 Konische Übergänge

Konische Übergänge und Übergänge mit Ausrundungen müssen bei der Flächenvergleichsrechnung durch flächengleiche Schnittflächen entsprechend Bild 15 ersetzt werden.

8.1.1.6 Durchgesteckte Stützen

Der Innendurchmesser des Abzweigs darf ein Drittel des Mantelinnendurchmessers nicht überschreiten.

5 Schweißnähte gelten als weitgehend kerbfrei, wenn sie innerhalb der in EN 12952-6:2021 genannten Grenzen frei von Einbrand- und Wurzelkerben (Wurzelrückfall) sind.

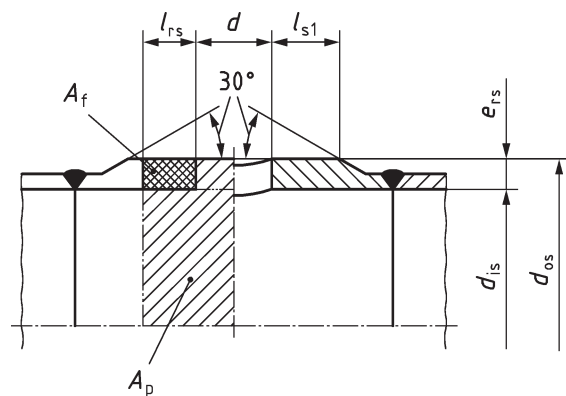


Bild 7 — Verstärkung durch Erhöhung der Wanddicke des Grundkörpers mit Ausschnitt

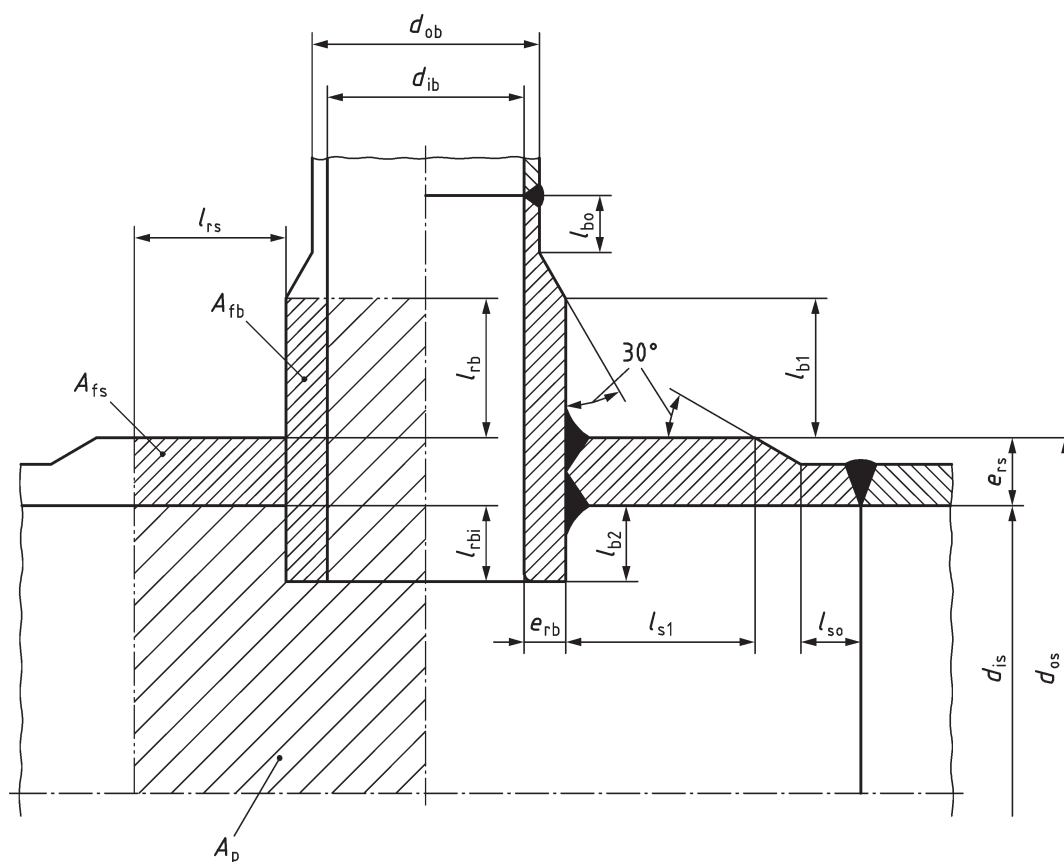
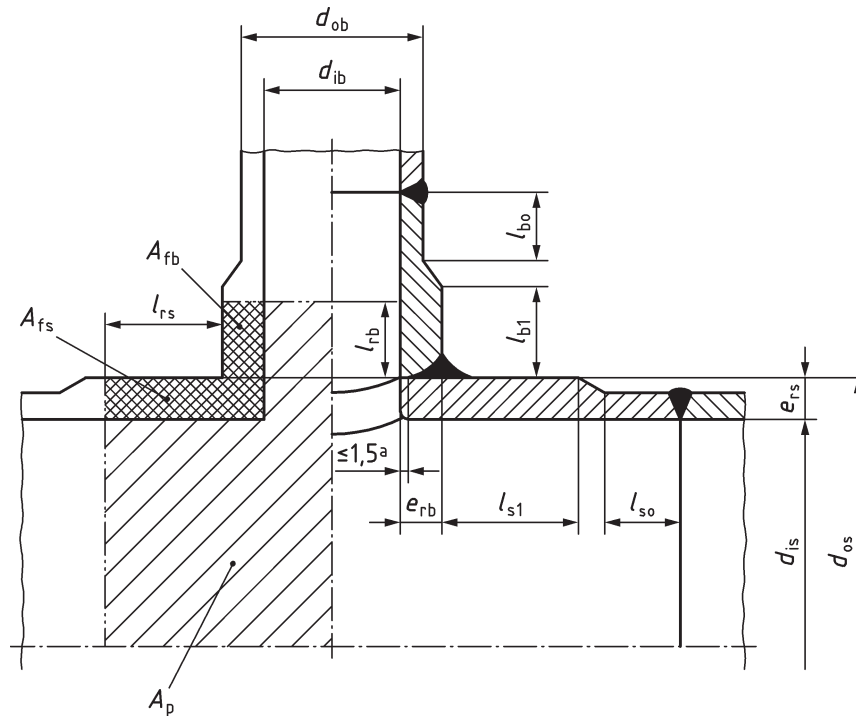


Bild 8 — Verstärkung durch durchgesteckten und durchgeschweißten Abzweig



Legende

^a Wurzelspalt

Bild 9 — Verstärkung durch aufgeschweißten Abzweig

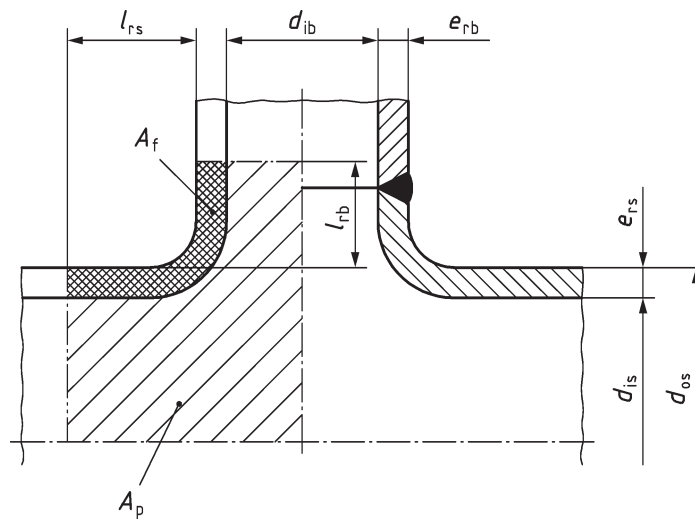


Bild 10 — Verstärkung durch angeschweißten Abzweig bei ausgehaltem Grundkörper

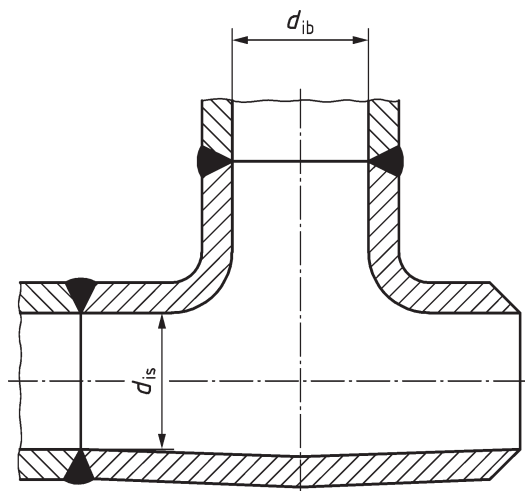


Bild 11 — Im Gesenk geschmiedeter Abzweig

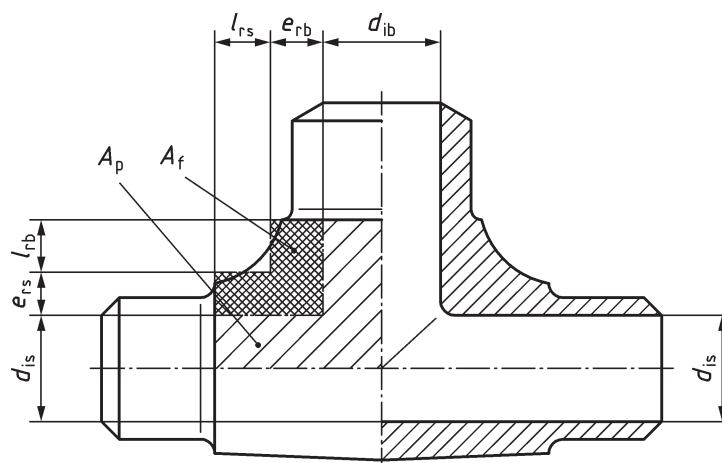


Bild 12 — Abzweig aus dem Vollen geschmiedet, gebohrt und gedreht

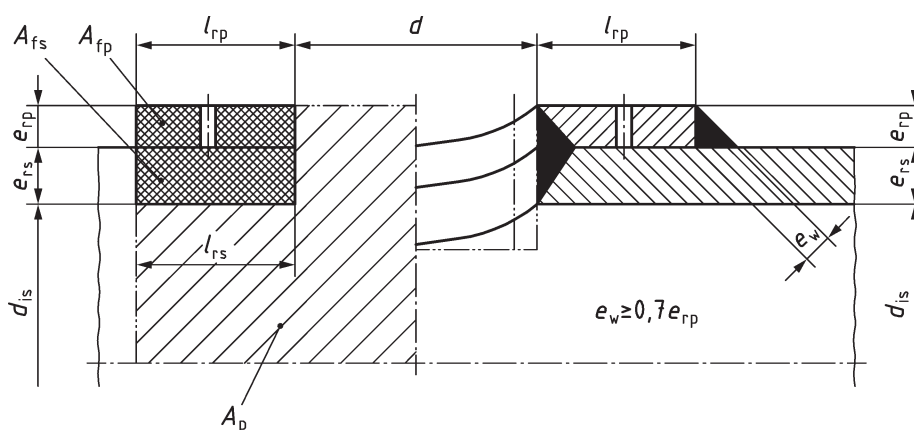


Bild 13 — Ausschnitt mit scheibenförmiger Verstärkung (zulässig für $t_c \leq 250 \text{ °C}$)

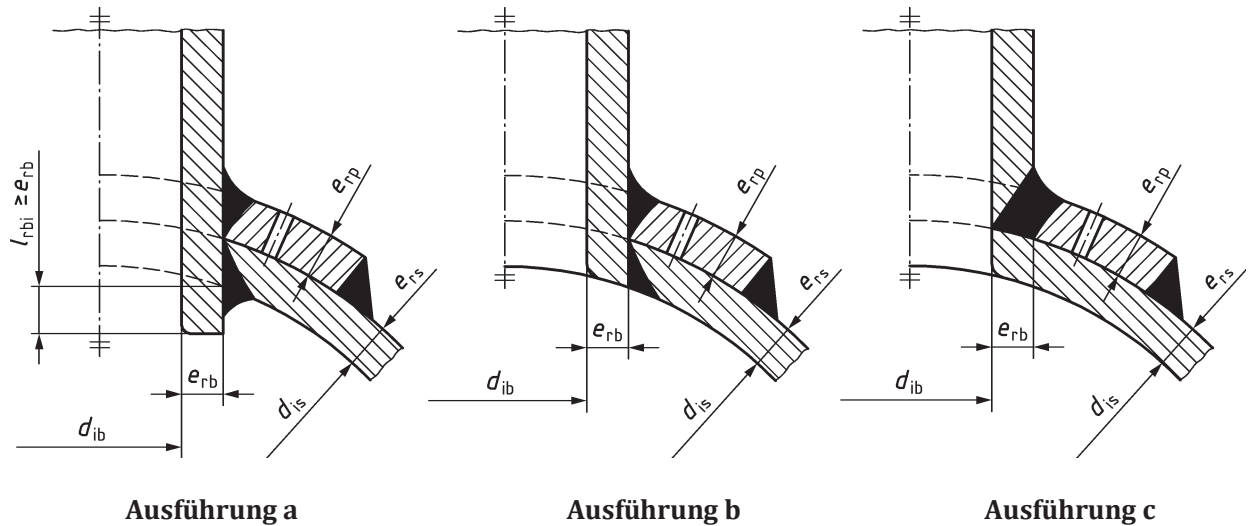


Bild 14 — Ausschnitt mit scheibenförmiger Verstärkung und durchgeschweißtem, durchgestecktem und aufgesetztem Abzweig (Schweißnähte dargestellt für von innen zugängliche zylindrische Mäntel)

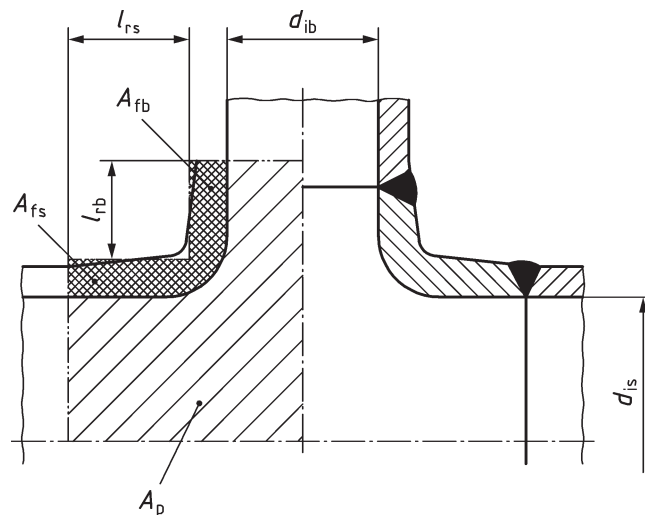


Bild 15 — Abzweig mit konischen Übergängen und Ausrundungen

8.1.2 Mittragende Längen für die Berechnung der Verschwächungsbeiwerte von Bauteilen

Bei der in 8.2 festgelegten Berechnung von Verschwächungsbeiwerten im Näherungsverfahren und der in 8.3 festgelegten Berechnung von Einzelabzweigen und benachbarten Abzweigen werden mittragende Längen benötigt, die für den Grundkörper eingesetzt werden.

Für Ausschnitte, siehe Bild 7 bis Bild 9

$$l_{rs} = \min \left\{ \sqrt{(d_{is} + e_{rs}) e_{rs}}, l_{s1} \right\} \quad (38)$$

Für l_{s1} , siehe Bild 7 bis Bild 9,

und für Stützen mit $\psi \geq 45^\circ$, siehe Bild 20 und Bild 21.

$$l_{rb} = \min \left\{ \frac{\sqrt{(d_{ib} + e_{rb})e_{rb}}}{l_{b1}} \right\} \text{ für äußeren Überstand;} \quad (39)$$

$$l_{rbi} = \min \left\{ \frac{0,5\sqrt{(d_{ib} + e_{rb})e_{rb}}}{l_{b2}} \right\} \text{ für inneren Überstand.} \quad (40)$$

Für Ausschnitte ohne Abzweig entfällt l_{rb} .

8.1.3 Bedingungen für Einzelabzweige

Benachbarte Abzweige sind wie Einzelabzweige zu behandeln, wenn für den Mittenabstand P_Φ nach Bild 22 die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$P_\Phi \geq \frac{\left(\frac{d_{ib1}}{2} + e_{rb1}\right)}{\sin\psi_1} + \frac{\left(\frac{d_{ib2}}{2} + e_{rb2}\right)}{\sin\psi_2} + 2\sqrt{(d_{is} + e_{rs})e_{rs}} \quad (41)$$

Für Ausschnitte ohne Abzweig ist $e_{rb} = 0$ und $\psi = 90^\circ$.

8.1.4 Anforderungen an die Auslegung der Abzweige

8.1.4.1 Grundkörper mit kleinerer zulässiger Spannung als die Abzweige

Bestehen Grundkörper, Abzweig und zusätzliche Verstärkung aus Werkstoffen mit unterschiedlicher zulässiger Spannung, so ist, wenn der Werkstoff des Grundkörpers die kleinste zulässige Spannung f_s aufweist, diese für die Berechnung der gesamten Verstärkung des Abzweigs maßgebend.

8.1.4.2 Abzweige oder Verstärkungsscheiben mit kleinerer zulässiger Spannung als der Grundkörper

Weist der Werkstoff des Abzweigs oder der Verstärkungsscheibe eine kleinere zulässige Spannung f_b oder f_p als der Grundkörper mit f_s auf, müssen diese zulässigen Spannungen f_b oder f_p in den für diesen Fall vorgesehenen Gleichungen berücksichtigt werden.

8.1.4.3 Ausgehalste Abzweige

Werden bei ausgehalsten Abzweigen (siehe Bild 10 und Bild 11) die Verschwächungsbeiwerte für Einzelabzweige wie für herkömmliche Stutzen (siehe Bild 9) ohne Berücksichtigung der Aushaltung berechnet, ist der Verschwächungsbeiwert v_b mit 0,9 zu multiplizieren.

8.1.4.4 Ausgehalste Abzweige im Bereich der Zeitstandfestigkeit

Werden ausgehalste Abzweige (siehe Bild 10) mit Zeitstandfestigkeitswerten berechnet, sind die Zeitstandfestigkeitswerte mit 0,9 zu multiplizieren.

8.1.4.5 Spezialfall

Ist der Bohrungsdurchmesser d im Grundkörper (siehe Bild 7) kleiner als der Stutzeninnendurchmesser d_{ib} (siehe Bild 9), darf trotzdem mit dem Bohrungsdurchmesser gerechnet werden, wenn die Verstärkung nur durch eine vergrößerte Wanddicke des Grundkörpers nachgewiesen wird.

8.1.5 Anforderungen an die Auslegung von Verstärkungsscheiben

8.1.5.1 Allgemeines

Besteht die Möglichkeit starker Korrosion oder Oxidation oder großer Temperaturgefälle über die Mantelwanddicke, sind Verstärkungsscheiben nicht zu verwenden. Verstärkungsscheiben an der Innenseite des Mantels sind unzulässig.

8.1.5.2 Betrachtungen zur Innendruckbeanspruchung

Werden Verstärkungsscheiben für die Verstärkung von Durchführungen oder Ausschnitten benutzt, müssen die folgenden Bedingungen beachtet werden. Verstärkungsscheiben dürfen nur für Berechnungstemperaturen $\leq 250\text{ °C}$ und nicht bei zyklischen Bedingungen angewendet werden. Anhang B gilt nicht für diese Ausführung. Gegen Biegemomente, die auf den Abzweig wirken, sind derartige Verstärkungen wenig wirksam.

- Das Verhältnis d_{ib}/d_{is} des Abzweigdurchmessers zum Manteldurchmesser darf nicht größer als 25 % sein, sofern die Angemessenheit der Konstruktion nicht durch Erfahrung oder durch eine Wasserdruckprüfung nach Abschnitt 12 nachgewiesen wird;
- die Breite der Verstärkungsscheibe darf nicht kleiner als $l_{rs}/2$ sein, wobei l_{rs} die entlang dem Mantel verlaufende Strecke ist, innerhalb der der Mantel als mittragend angenommen wird. Die mittragende Breite, Bild 13 und Bild 14, darf in die Gleichungen in 8.3.3.3 höchstens mit $l_{rp} = l_{rs}$ eingesetzt werden;
- die Dicke der Verstärkungsscheibe e_{rp} darf 40 mm oder die tatsächliche Mantelwanddicke e_{rs} nicht überschreiten, wobei der geringere Wert gilt;
- die Dicke der Verstärkungsscheibe darf nicht kleiner als $e_{rs}/4$, höchstens jedoch 40 mm sein, wobei e_{rs} die Mantelwanddicke ist;
- die Schweißnahtvorbereitung muss Bild 13 oder Bild 14 entsprechen. Die Scheiben müssen eng am Mantel anliegen.

8.1.5.3 Betrachtungen zu Beanspruchungen, ausgenommen Innendruck

Werden Verstärkungsscheiben nicht wegen Innendruckbeanspruchung, sondern für den Anschluss von Unterstützungen und Halterungen zur Vermeidung von übermäßigen örtlichen Spannungen im Trommelmantel benutzt, finden die Anforderungen von 8.1.5.2 keine Anwendung.

Die Schenkellänge der Kehlnaht, mit der die Verstärkungsscheibe an den Mantel angeschweißt wird, darf die Wanddicke e_{rs} der Trommel nicht überschreiten.

8.1.5.4 Entlüftungsbohrungen

Beim Anbringen von Verstärkungsscheiben müssen diese mit Entlüftungsbohrungen zur Vermeidung von Gaseinschlüssen während des Schweißens versehen sein.

8.2 Verschwächungsbeiwert, Berechnung durch Näherung und größter Durchmesser unverstärkter Ausschnitte

8.2.1 Allgemeines

Genaue Lösungen ergeben die Gleichungen in 8.3.3 und 8.3.4. Die Anwendung der Gleichungen in 8.2.3 und 8.2.4, ausgenommen Gleichung (44), kann konservativ erfolgen, weil eine verstärkende Wirkung des Abzweigs unberücksichtigt bleibt.

8.2.2 Zulässiger Verschwächungsbeiwert und größter Durchmesser eines unverstärkten Ausschnitts

Durch Umstellung der Gleichung (20) muss der zulässige Verschwächungsbeiwert v_{all} für die vorhandene Wanddicke e_{rs} des Grundkörpers wie folgt berechnet werden:

$$v_{\text{all}} = \frac{p_c d_{\text{is}}}{(2f_s - p_c) e_{\text{rs}}} \quad (42)$$

Für diesen Verschwächungsbeiwert ergibt sich der größte Außendurchmesser d_{ob} eines Einzelabzweigs, dessen Wanddicke nur den Innendruck aufnehmen kann

$$d_{\text{ob max}} = 2 \left(\frac{l_{\text{rs}}}{v_{\text{all}}} - l_{\text{rs}} \right) \quad (43)$$

Die vorhandene mittlere Spannung f_a muss in diesem Fall der zulässigen Spannung f_s des Grundkörpers entsprechen.

8.2.3 Einzelausschnitte

Die Gleichungen in diesem Abschnitt gelten für Einzelausschnitte oder bei mehreren Ausschnitten nur, wenn die Gleichung (41) erfüllt ist. Falls bei Vorhandensein mehrerer Ausschnitte die Gleichung (41) nicht erfüllt ist, ist 8.2.4 zu beachten.

Unverstärkte Einzelausschnitte mit einem Durchmesser d sind in zylindrischen Mänteln zulässig, wenn sie die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$d \leq 0,14 l_{\text{rs}} \quad (44)$$

und

$$e_{\text{rs}} \leq 0,1 d_{\text{os}} \quad (45)$$

wobei l_{rs} nach 8.1.2 zu berechnen ist.

Gleichung (44) und Gleichung (45) gelten auch für abgesetzte und für nur teilweise durchgehende Bohrungen, auch wenn die Gleichung (47) oder Gleichung (52) oder auch die genaueren Berechnungen nach 8.3.3 einen kleineren Durchmesser d ergeben als Gleichung (44).

Wird ein Rohr mit einem Außendurchmesser d_{ob} auf einen Ausschnitt geschweißt (siehe Bild 16) und kann das Rohr aufgrund seiner Wanddicke e_{rb} den Berechnungsinndruck aufnehmen, muss der Verschwächungsbeiwert v_b für diesen Ausschnitt im Grundkörper berechnet werden durch

$$v_b = 2l_{\text{rs}} / (2l_{\text{rs}} + d_{\text{ob}}) \quad (46)$$

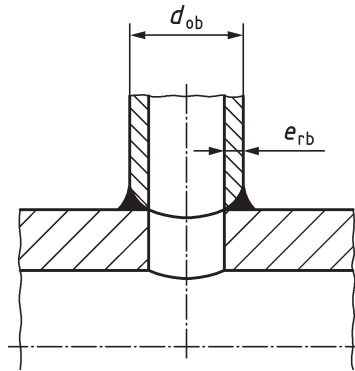


Bild 16 — Grundkörper mit aufgeschweißtem Rohr

Sind der Durchmesser d_{is} und die Wanddicke e_{rs} des Grundkörpers bereits bestimmt, ist eine Einzelbohrung für ein Rohr mit einem größten Außendurchmesser d_{ob} zulässig.

$$d_{ob} \leq 2l_{rs} \left(\frac{2e_{rs}}{d_{is}} \left(\frac{f_s}{p_c} - \frac{1}{2} \right) - 1 \right) \quad (47)$$

Für eingewalzte (siehe Bild 17) oder eingesteckte und nur dichtgeschweißte Rohre muss für den Grundkörper der Bohrungsdurchmesser d anstatt d_{ob} in der Gleichung (46) oder Gleichung (47) verwendet werden.

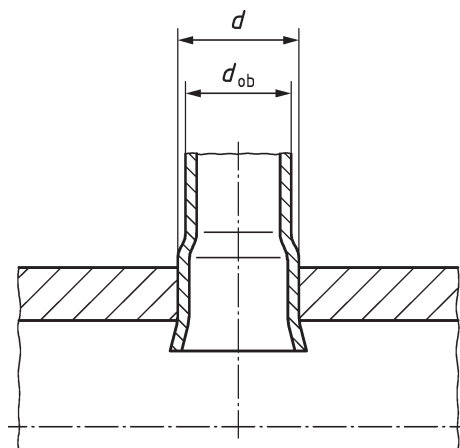
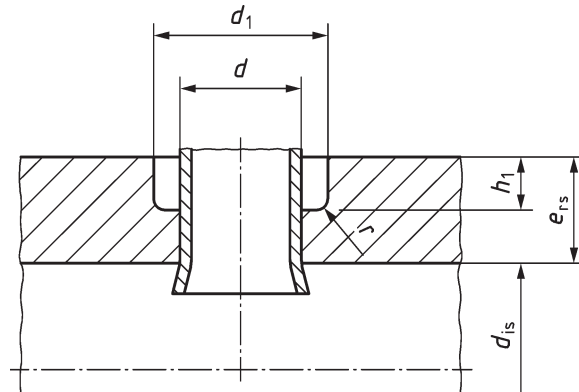


Bild 17 — Eingewalztes Rohr

Für Bohrungen mit schrittweise reduziertem Durchmesser, z. B. für eingewalzte Rohre nach Bild 18, muss bei der Berechnung der Verschwächung nach Gleichung (46) anstatt d_{ob} der äquivalente Durchmesser verwendet werden:

$$d_{equiv} = \frac{d_1 h_1 + d(e_{rs} - h_1)}{e_{rs}} \quad (48)$$



ANMERKUNG Die abgesetzte Bohrung kann von außen, wie dargestellt, oder von innen angebracht werden.

Bild 18 — Abgesetzte Bohrung für eingewalzte Rohre

Die Festigkeitsbedingung ist erfüllt, wenn dieser äquivalente Durchmesser die Grenze für d_{ob} nach Gleichung (47) nicht überschreitet.

Zusätzlich müssen die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

- a) sind mehrere Ausschnitte vorhanden, ist die Bedingung nach Gleichung (67) zu erfüllen. Die Flächen sind dabei entsprechend Bild 22 zu bestimmen;
- b) die verbleibende Wanddicke am Grund der Bohrung darf nicht kleiner sein als

$$e_{rs} - h_1 \geq 0,4d_1 \sqrt{\frac{p_c}{f_s}} \quad (49)$$

und

$$e_{rs} - h_1 \geq 0,65d_1 \frac{p_c}{f_s} \quad (50)$$

- c) die Kante der Bohrung muss gerundet sein, wie in Bild 18 und Bild 19 dargestellt.

ANMERKUNG Teilweise durchgehende Bohrungen können von außen, wie dargestellt, oder von innen eingebracht werden.

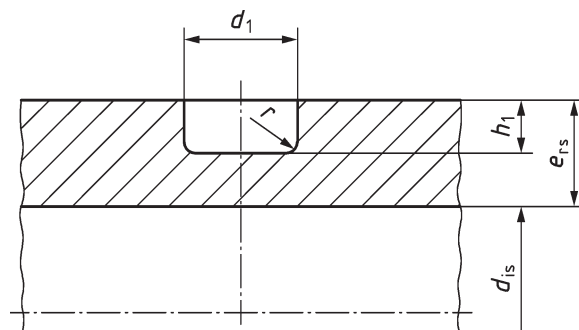


Bild 19 — Teilweise durchgehende Bohrung

Für teilweise durchgehende Bohrungen (siehe Bild 19) muss bei der Berechnung der Verschwächung (46) anstatt d_{ob} der äquivalente Durchmesser verwendet werden.

$$d_{\text{equiv}} = \frac{d_1 h_1}{e_{rs}} \quad (51)$$

Somit ist der zulässige Durchmesser der Bohrung:

$$d_1 = \frac{2 l_{rs} e_{rs}}{h_1} \left[\frac{2 e_{rs}}{d_{is}} \left(\frac{f_s}{p_c} - \frac{1}{2} \right) - 1 \right] \quad (52)$$

Zusätzlich sind die Anforderungen a), b) und c) für Bohrungen mit schrittweise reduziertem Durchmesser, wie in Bild 18 dargestellt, zu erfüllen.

8.2.4 Benachbarte Ausschnitte

Für den Fall, dass die nach 8.1.3 geltende Bedingung für den Mittenabstand P_Φ benachbarter Ausschnitte nicht erfüllt ist und an die Ausschnitte Rohre mit dem Außendurchmesser d_{ob} anschließen, die entsprechend ihrer Wanddicke e_{rb} nur den Innendruck aufnehmen können, ist der Verschwächungsbeiwert für benachbarte Abzweige wie folgt abzuleiten:

$$v_m = \frac{2(P_\Phi - d_{ob})}{(1 + \cos^2 \Phi) P_\Phi} \leq 1 \quad (53)$$

d. h. für Längsteilung P_0 mit $\Phi = 0^\circ$.

$$v_m = \frac{P_0 - d_{ob}}{P_0} \quad (54)$$

Sind die Rohraußendurchmesser der benachbarten Abzweige unterschiedlich, gilt Folgendes:

$$d_{ob} = \frac{d_{ob1} + d_{ob2}}{2} \quad (55)$$

Anstatt der Näherungsrechnung dieses Abschnitts darf 8.3.4 angewendet werden.

Für teilweise durchgehende Bohrungen (siehe Bild 19), kann der äquivalente Durchmesser d_{equiv} nach Gleichung (51) anstatt von d_{ob} , d_{ob1} oder d_{ob2} verwendet werden.

8.3 Berechnung von Ausschnitten und Abzweigen in zylindrischen Mänteln (Verschwächungsbeiwert und Verstärkung)

8.3.1 Symbole und Abkürzungen

Zusätzlich zu den in EN 12952-1:2015, Tabelle 5-1, aufgeführten Symbolen müssen die in Bild 20 bis Bild 24 angegebenen Symbole verwendet werden.

8.3.2 Anforderungen an die Anwendung

8.3.2.1 Ausschnitte

Die in 8.3.3 und 8.3.4 festgelegten Regeln sind für die Auslegung von kreisförmigen, elliptischen und länglich runden⁶ Ausschnitten und Stutzen (einschließlich Schrägstutzen) in Einzel- oder Gruppenanordnung in zylindrischen Mänteln als gültig zu betrachten, vorausgesetzt, dass die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

- a) Ausschnitte und senkrechte Stutzen:

Das Verhältnis von großer zu kleiner Achse des Ausschnitts überschreitet 2 nicht.

- b) Schräge Stutzen:

Der Stutzen hat einen kreisförmigen Querschnitt und der Winkel zwischen der Stutzenachse und einer senkrechten Linie zur Manteloberfläche ist nicht größer als 45°.

- c) Alle Stutzen:

Auf den Stutzen einwirkende äußere Kräfte und Momente sind unwesentlich, andernfalls muss EN 13445-3:2021 zur Berechnung der auftretenden Spannungen angewendet werden.

Der Innendurchmesser d_{ib} (siehe Bild 9) eines zur Verstärkung dickwandiger ausgeführten Stutzens muss in der Berechnung berücksichtigt werden, auch wenn der Bohrungsdurchmesser d im Grundkörper kleiner ist als der Innendurchmesser d_{ib} des Abzweigs.

Stutzen mit einem Wurzelspalt $> 1,5$ mm oder durchgesteckte und nur dichtgeschweißte Abzweige müssen wie Ausschnitte ohne Abzweige berechnet werden. Die Druckfläche in der Bohrung ist dabei zu berücksichtigen, außer bei durchgesteckten Rohren, die innen nur dichtgeschweißt werden.

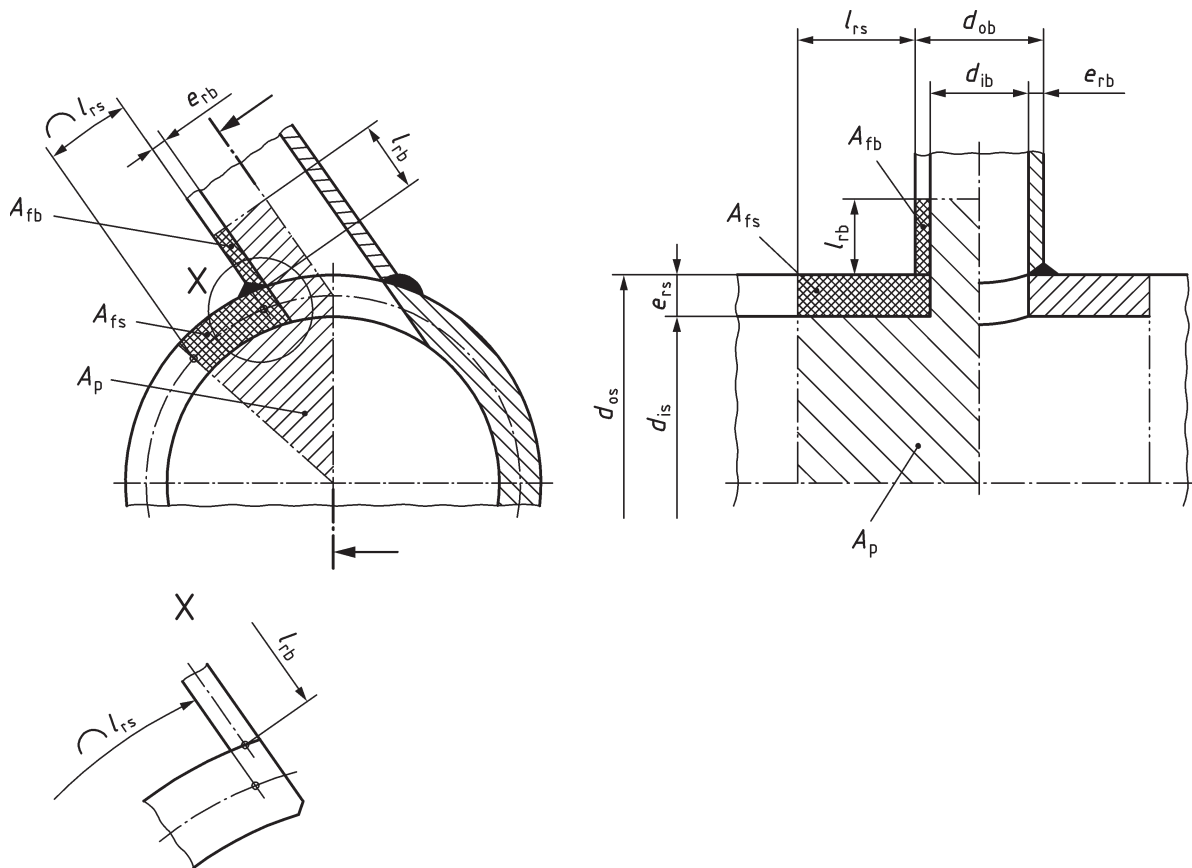
8.3.2.2 Abzweige

Die Berechnung von Abzweigen muss durch Folgendes bestimmt werden:

- a) die Fähigkeit, dem Berechnungsdruck zu widerstehen. Zu diesem Zweck ist die kleinste Wanddicke nach Abschnitt 11 zu berechnen;
- b) Anforderungen an den Ausgleich der Ausschnitte im drucktragenden Hauptteil, welcher für zylindrische Mäntel nach 8.3.3 oder 8.3.4 zu bestimmen ist;
- c) die Fähigkeit, überlagerter Belastung durch angeschlossene Rohre oder Armaturen zu widerstehen. In keinem Fall darf die Wanddicke des Abzweigs kleiner als nach 8.3.3.1 sein;
- d) die Mindest-Wanddicke e_{rb} des Abzweigs darf nicht kleiner sein als in Tabelle 12 angegeben. Für die strukturelle Stabilität kann eine zusätzliche Dicke erforderlich sein. Die Anforderungen dieses Unterabschnitts finden keine Anwendung auf Rohrnippel, welche die direkte Fortsetzung der beheizten Rohre bilden.

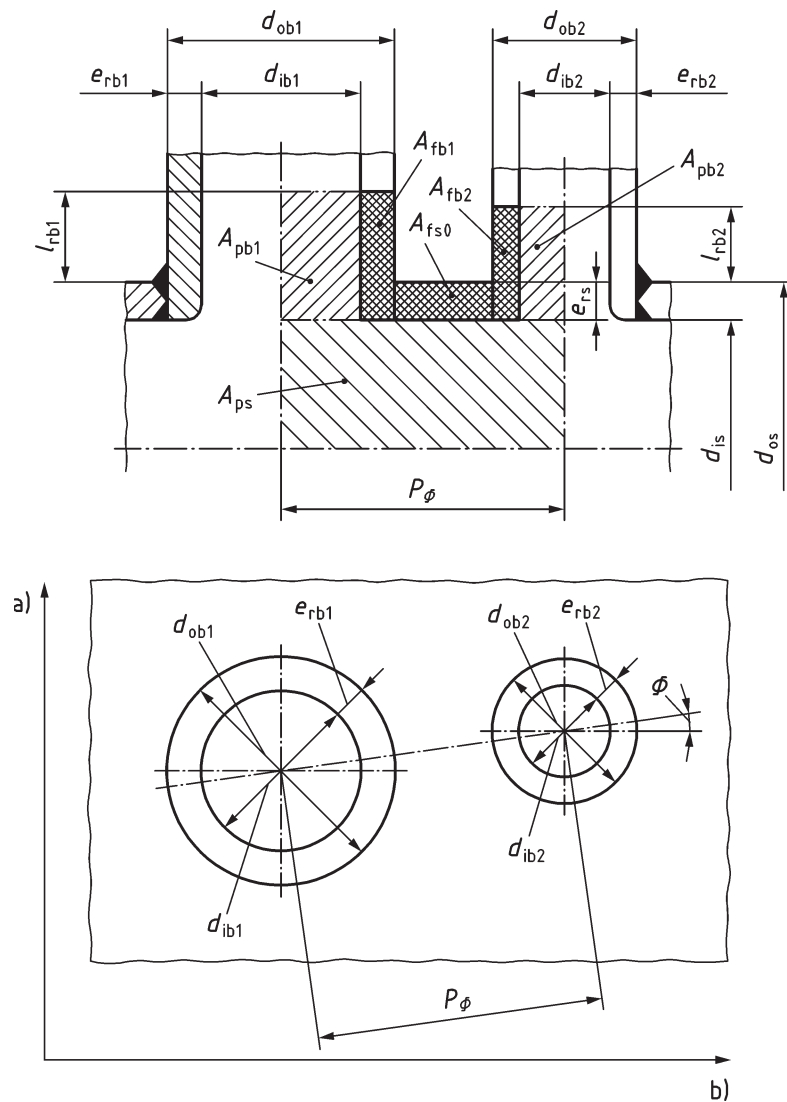
⁶ Ein länglich runder Ausschnitt ist ein Ausschnitt oder eine Bohrung, der/die weder kreisförmig noch elliptisch ist und durch das Biegen zweier Radien in die Form eines runden Ausschnitts oder einer Bohrung entsteht und dessen große und kleine Achsen nicht übereinstimmen.





ANMERKUNG Schraffur und Schweißdetails zur Klarstellung in X weggelassen.

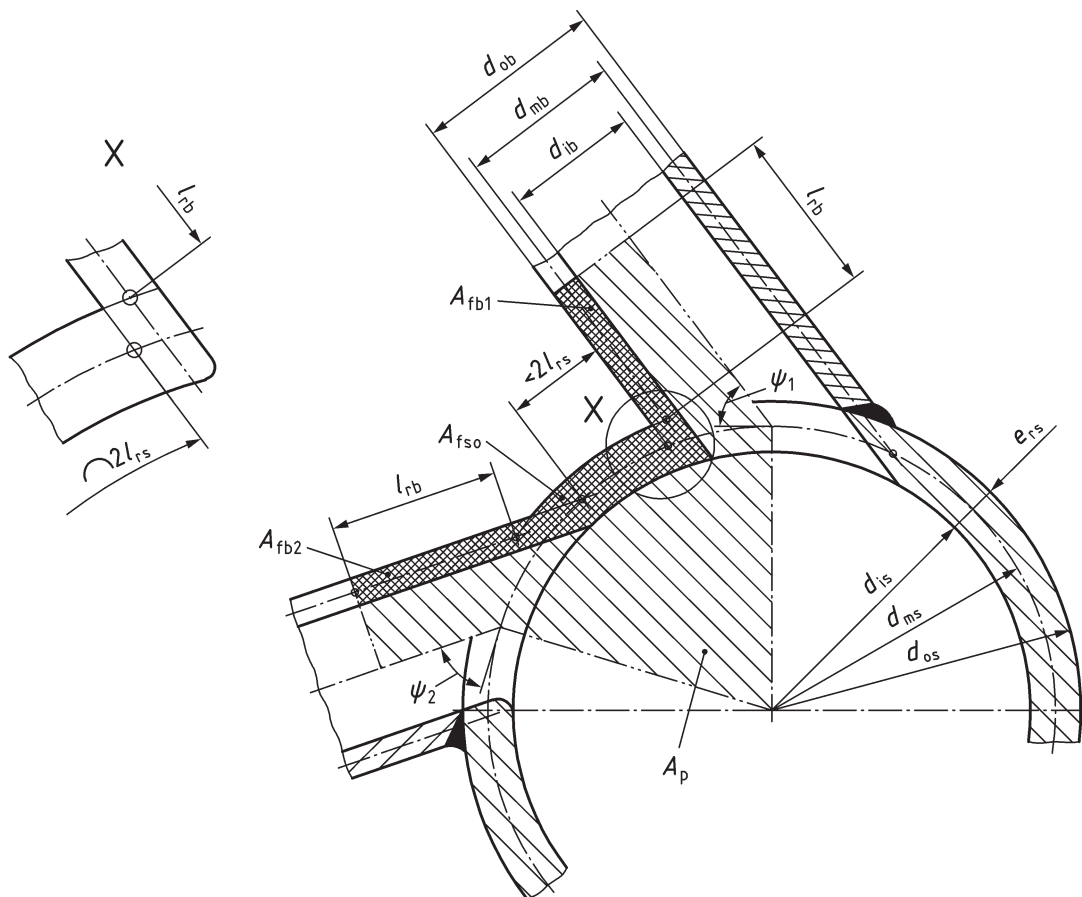
Bild 21 — Beanspruchungsschema für zylindrischen Mantel mit nicht radial angeordnetem Abzweig



Legende

- a) Umfangersichtung
- b) Längsrichtung

Bild 22 — Beanspruchungsschema für zylindrischen Mantel mit benachbarten Abzweigen, angeordnet unter einem Winkel ϕ zur Mantel-Achse



ANMERKUNG $\psi_1 \geq 45^\circ, \psi_2 \geq 45^\circ$, wobei ψ der Winkel ist, den Abzweig-Achse und Mantel-Achse bilden.

Bild 23 — Beanspruchungsschema für zylindrischen Mantel mit nicht radialen, benachbarten Abzweigen, angeordnet auf dem Umfang