

DIN EN 12953-3

ICS 27.060.30

Ersatz für
DIN EN 12953-3:2002-08**Großwasserraumkessel –
Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile;
Deutsche Fassung EN 12953-3:2016**

Shell boilers –
Part 3: Design and calculation for pressure parts;
German version EN 12953-3:2016

Chaudières à tube de fumée –
Partie 3: Conception et calcul des parties sous pression;
Version allemande EN 12953-3:2016

Gesamtumfang 118 Seiten

DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12953-3:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird, erarbeitet.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 082-00-18 AA „Dampfkesselanlagen“ im DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD).

Für weitere Informationen über den NARD besuchen Sie uns im Internet unter <http://www.din.de/go/nard>.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12953-3:2002-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) der Abschnitt 3 zu Begriffen wurde ergänzt;
- c) der Unterabschnitt 5.5 zur thermischen Auslegung der Flammrohre wurde überarbeitet;
- d) der Abschnitt 6 zu der Berechnungstemperatur und den Festlegungen über die zulässige Spannung wurde überarbeitet;
- e) der Abschnitt 8 zu Festlegungen für Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln wurde überarbeitet;
- f) der Abschnitt 10 zu Festlegungen für unterstützte ebene Böden, Verankerungen und Versteifungen wurde überarbeitet;
- g) der Unterabschnitt 12.3.2 zur Unrundheit von Rohrbiegungen wurde überarbeitet;
- h) der Unterabschnitt 12.4 zu Festlegungen für Rauchrohre wurde überarbeitet;
- i) ein normativer Anhang B über die Berechnung des Höchst- und des Mittelwertes der Temperatur der Flammrohrwand wurde aufgenommen;
- j) der Anhang ZA bezüglich des Zusammenhangs zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU wurde aktualisiert;
- k) die Norm wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 12953-3: 2002-08

Deutsche Fassung

Großwasserraumkessel — Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile

Shell boilers —
Part 3: Design and calculation for pressure parts

Chaudières à tubes de fumée —
Partie 3: Conception et calcul des parties sous pression

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. Januar 2016 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 des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	7
5 Allgemeines.....	7
5.1 Dampfkessel.....	7
5.2 Heißwasserkessel	8
5.3 Hauptschweißnähte	8
5.4 Schweißnahtfaktor	8
5.5 Thermische Auslegung der Flammrohre.....	8
5.6 Maße von drucktragenden Teilen	11
5.7 Bestimmung von Drücken.....	11
5.8 Zuschläge	12
5.9 Zusätzliche Materialanforderungen an Blechtafeln	13
5.10 Genormte Formstücke.....	13
5.11 Flansche.....	13
5.12 Auslegung nach dem analytischen Zulässigkeitsnachweis.....	13
5.13 Speisewasservorwärmer (Economizer) und Überhitzer	13
6 Berechnungstemperatur und zulässige Spannung	14
6.1 Berechnungstemperatur	14
6.2 Zulässige Spannung	15
7 Zylindrische Mäntel.....	15
7.1 Wanddicke.....	15
7.2 Grundlegende Berechnung für Innendruck	16
7.3 Kesselunterstützungen und Hebeösen.....	16
8 Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln.....	16
8.1 Allgemeines.....	16
8.2 Schweißnahtfaktor, alternatives Berechnungsverfahren, maximaler Durchmesser eines unverstärkten Ausschnitts.....	25
8.3 Auslegung von Ausschnitten und Abzweigen in zylindrischen Mänteln (Verschwächung und Verstärkung).....	27
9 Böden	34
9.1 Unverankerte gewölbte Böden ohne Ausschnitte	34
9.2 Unverankerte ebene abnehmbare Verschlussdeckel.....	37
9.3 Unverankerte ebene Platten.....	39
10 Unterstützte ebene Böden, Verankerungen und Versteifungen	39
10.1 Lichter Abstand.....	39
10.2 Verankerte ebene Wandungen	41
11 Auslegung von Einzelausschnitten in ebenen Kesselböden	64
11.1 Unverstärkte Einzelausschnitte	64

11.2	Ausschnitte mit Abzweigen	65
11.3	Mann-, Kopf- und Handlöcher	66
12	Rohre ohne Ausschnitte und Rohrböden.....	67
12.1	Wanddicke gerader Rohre unter äußerem Überdruck	67
12.2	Wanddicke von geraden Rohren unter innerem Überdruck	68
12.3	Wanddicke und Unrundheit von Rohrbögen und Rohrbiegungen.....	68
12.4	Rauchrohre.....	71
12.5	Rohrteilung	75
12.6	Wanddicke von Rohrböden innerhalb von Rohrbündeln	75
13	Flammrohre, Flammrohrkomponenten und zylindrische Mäntel von Wendekammern unter äußerem Überdruck.....	75
13.1	Flammrohre	75
13.2	Berechnungslänge von zusammengesetzten Flammrohren	79
13.3	Flammrohrtoleranzen	79
13.4	Versteifungen	79
14	Befahr- und Besichtigungsöffnungen	83
14.1	Allgemeine Anforderungen.....	83
14.2	Arten und Mindestmaße von Befahr- und Besichtigungsöffnungen.....	83
14.3	Mindestauflagebreite einer Dichtung und Spiel von Verschlussdeckeln bei Befahr- und Besichtigungsöffnungen.....	86
14.4	Befahr- und Besichtigungsöffnungen in ebenen Böden.....	86
14.5	Anforderungen an den Befahrbereich bei Kesseln mit einem Mantel-Außendurchmesser über 1 400 mm	86
14.6	Zugänglichkeit und Anordnung von Befahr- und Besichtigungsöffnungen	87
Anhang A (informativ) Berechnungs-Formblatt für Kurvenabschnitte oder Wellen für „Walker“-Typ		88
Anhang B (normativ) Berechnungstemperatur des Flammrohrs.....		90
B.1	Berechnung der maximalen und der mittleren Wandtemperatur des Flammrohres	90
Anhang C (informativ) Berechnung der Rohrbodentemperaturen.....		93
C.1	Allgemeines	93
C.2	Symbole	93
C.3	Berechnungsverfahren.....	94
C.4	Beispiel einer Berechnung mit dem Verfahren von C.3	108
Anhang D (normativ) An den Großwasserraumkessel angeschlossene Economizer und Überhitzer in Wasserrohrausführung.....		111
D.1	Allgemeines.....	111
D.2	Auslegung von an den Großwasserraumkessel angeschlossenen Economizern und Überhitzern	112
Anhang E (informativ) Wesentliche technische Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und der vorherigen Ausgabe		113
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden EU-Richtlinie 2014/68/EU.....		114
Literaturhinweise		115

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 12953-25:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2016 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt EN 12953-3:2002.

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

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

Der informative Anhang E enthält eine Liste der wesentlichen technischen Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und der vorherigen Ausgabe.

EN 12953, *Großwasserraumkessel*, besteht aus den folgenden Teilen:

- *Teil 1: Allgemeines*
- *Teil 2: Werkstoffe für drucktragende Kesselteile und Zubehör*
- *Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile*
- *Teil 4: Verarbeitung und Bauausführung für drucktragende Kesselteile*
- *Teil 5: Prüfung während der Herstellung, Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile*
- *Teil 6: Anforderungen an die Ausrüstung für den Kessel*
- *Teil 7: Anforderungen an Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe für den Kessel*
- *Teil 8: Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung*
- *Teil 9: Anforderungen an Begrenzungseinrichtungen an Kessel und Zubehör*
- *Teil 10: Anforderungen an die Speisewasser- und Kesselwasserqualität*
- *Teil 11: Abnahmeversuche*
- *Teil 12: Anforderungen an Rostfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe für den Kessel*
- *Teil 13: Betriebsanleitungen*
- *CR 12953-14: Leitfaden für die Einbeziehung einer herstellerunabhängigen Prüforganisation*

Obwohl alle Teile der Norm einzeln erworben werden können, sollte bedacht werden, dass die Teile voneinander abhängig sind. Deshalb werden für Konstruktion und Herstellung der Großwasserraumkessel mehrere Teile benötigt, um die Anforderungen der Norm zu erfüllen.

ANMERKUNG Ein „Boiler Helpdesk“ wurde im CEN/TC 269 eingerichtet, der für sämtliche Fragen in Bezug auf die Anwendung der Europäischen Normenreihen EN 12952 und EN 12953 kontaktiert werden kann, siehe folgende Website: <http://www.boiler-helpdesk.din.de>.

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

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Europäischen Norm legt Anforderungen an die Konstruktion und die Berechnung von drucktragenden Teilen für die in EN 12953-1 definierten Großwasserraumkessel fest.

Für andere Komponenten, wie z. B. Wasserrohrwände, sollte die Normenreihe EN 12952 in Bezug genommen werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1092-1:2007+A1:2013, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche*

EN 10160, *Ultraschallprüfung von Flacherzeugnissen aus Stahl mit einer Dicke größer oder gleich 6 mm (Reflexionsverfahren)*

EN 12952-3:2011, *Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten — Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Kesselteile*

EN 12953-1:2012, *Großwasserraumkessel — Teil 1: Allgemeines*

EN 12953-2:2012, *Großwasserraumkessel — Teil 2: Werkstoffe für drucktragende Kesselteile und Zubehör*

EN 12953-4:2002, *Großwasserraumkessel — Teil 4: Verarbeitung und Bauausführung für drucktragende Kesselteile*

EN 12953-5, *Großwasserraumkessel — Teil 5: Prüfung während der Herstellung, Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile*

EN 12953-6:2011, *Großwasserraumkessel — Teil 6: Anforderungen an die Ausrüstung für den Kessel*

EN 12953-10:2003, *Großwasserraumkessel — Teil 10: Anforderungen an die Speisewasser- und Kesselwasserqualität*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 12953-1:2012, EN 12953-6:2011 und die folgenden Begriffe.

3.1

Abzweig

Stutzen, Bund, Führungsrohr

3.2

Kaltstart

Anfahren des Kessels von Umgebungsdruck bei Raumtemperatur auf Normalbetriebszustand

3.3

Warmstart

Anfahren des Kessels aus dem warmen Bereitschaftszustand

3.4

Naht

allgemeine Benennung für Schweißverbindungen, Schweißnähte oder Schweißstellen

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in EN 12953-1:2012, Tabelle 1, angegebenen Symbole. In der gesamten Norm sind zusätzliche Terminologie und Symbole aufgenommen worden, wenn für die Erfüllung der Anforderungen des betreffenden spezifischen Textes erforderlich. Darüber hinaus sollte beachtet werden, dass in einigen Abschnitten das gleiche zusätzliche Symbol in verschiedenen Gleichungen für verschiedene Begriffe verwendet wird. Allerdings wird bei all diesen Fällen die besondere Bedeutung jedes Symbols für jede Gleichung angegeben.

5 Allgemeines

5.1 Dampfkessel

Die Anforderungen in dieser Norm gelten für Kessel nach EN 12953-1:2012, die vollständig nach den in der Norm festgelegten Bedingungen hergestellt werden und unter normalen Betriebsbedingungen mit Speise- und Kesselwasser nach EN 12953-10:2003 unter angemessener Überwachung zu betreiben sind.

Sind Betriebsbedingungen festgelegt, wie z. B. strenger zyklischer Betrieb, müssen diese beim Konstruktionsprozess berücksichtigt werden.

Das in einen Dampfkessel eintretende Speisewasser oder das in einen Heißwasserkessel eintretende Rücklaufwasser darf nicht direkt auf das Flammrohr einwirken.

Es muss keine Berechnung von Wechselbeanspruchungen durchgeführt werden, falls alle der folgenden Anforderungen erfüllt sind:

- a) die Anzahl der Anfahrvorgänge vom Nulldruck bis zum vorgesehenen Betriebsdruck (vollständige Druckzyklen) ist $\leq 1\,000$;
- b) bei Werkstoff mit einer festgelegten Streckgrenze bei Raumtemperatur von $\leq 295\text{ MPa}$ ist die Anzahl der Teildruckzyklen im Bereich von $\Delta P = 20\%$ des PS $\leq 100\,000$ oder, alternativ dazu, im Bereich von $\Delta P = 40\%$ des PS $\leq 10\,000$;
- c) bei Werkstoff mit einer festgelegten Streckgrenze bei Raumtemperatur von $> 295\text{ MPa}$ ist die Anzahl der Teildruckzyklen im Bereich von $\Delta P = 10\%$ des PS $\leq 100\,000$ oder, alternativ dazu, im Bereich von $\Delta P = 20\%$ des PS $\leq 10\,000$;
- d) die Schweißnaht zwischen eingesetzten Böden sowie dem Mantel und/oder dem Flammrohr ist zu mindestens 10 % einer Ultraschallprüfung während der Herstellung zu unterziehen.

Andernfalls ist bei komplizierterer Lastspielsituation eine diesbezügliche Berechnung durchzuführen.

Die Anforderungen an die Berechnung von Wechselbeanspruchungen gelten nicht bei Schweißnahtfaktor 0,7 (siehe 5.4).

5.2 Heißwasserkessel

Bei direkt befeuerten Heißwasserkesseln sollte die Differenz zwischen der Wasservorlauftemperatur (am Austritt) und der Wasserrücklauftemperatur (am Eintritt) 50 K nicht überschreiten. Beträgt die Differenz zwischen diesen beiden Temperaturen mehr als 50 K, sind entweder innere oder äußere Mischeinrichtungen zu verwenden, um das Temperaturgefälle im Kessel auf 50 K zu begrenzen.

Die Differenz zwischen der dem maximalen Betriebsdruck entsprechenden Sattedampftemperatur und der Wasservorlauftemperatur sollte im Normalfall 80 K nicht überschreiten. Bei einer Differenz über 80 K sind die Abstände nach 10.1 um 50 % zu erhöhen. Zusätzlich ist die maximale Wärmeleistung nach Bild 1 um 20 % zu verringern.

5.3 Hauptschweißnähte

Die Arten der für die Konstruktion des Kessels verwendeten Schweißnähte müssen EN 12953-4 entsprechen.

Zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP) müssen den Anforderungen nach EN 12953-5 entsprechen. Die Schweißnähte müssen so ausgeführt sein, dass die erforderlichen ZfP durchgeführt werden können.

5.4 Schweißnahtfaktor

Die bei der Berechnung der drucktragenden Teile verwendeten Schweißnahtfaktoren v müssen je nach Umfang der ZfP entweder 1 oder 0,85 oder 0,7 betragen.

Der Umfang der ZfP muss EN 12953-5 entsprechen.

Ein Schweißnahtfaktor $v = 0,7$ ist nur zulässig, wenn ein erhöhter Prüfdruck nach Gleichung (1) verwendet wird:

$$p_t = 2,2p_c \cdot \frac{R_{p0,2\ 20}}{R_{p0,2\ tc}} \cdot \frac{e_{CS} + c_2}{e_{CS}} \quad (1)$$

5.5 Thermische Auslegung der Flammrohre

5.5.1 Auslegungsbedingungen

Brenner mit konstanter Feuerungsleistung (Einstufenbrenner) dürfen nicht bei einer Wärmeleistung über 1 MW je Flammrohr verwendet werden.

Die Verbrennung muss im Flammrohr abgeschlossen sein.

Die Berechnungstemperatur muss 6.1 e) entsprechen.

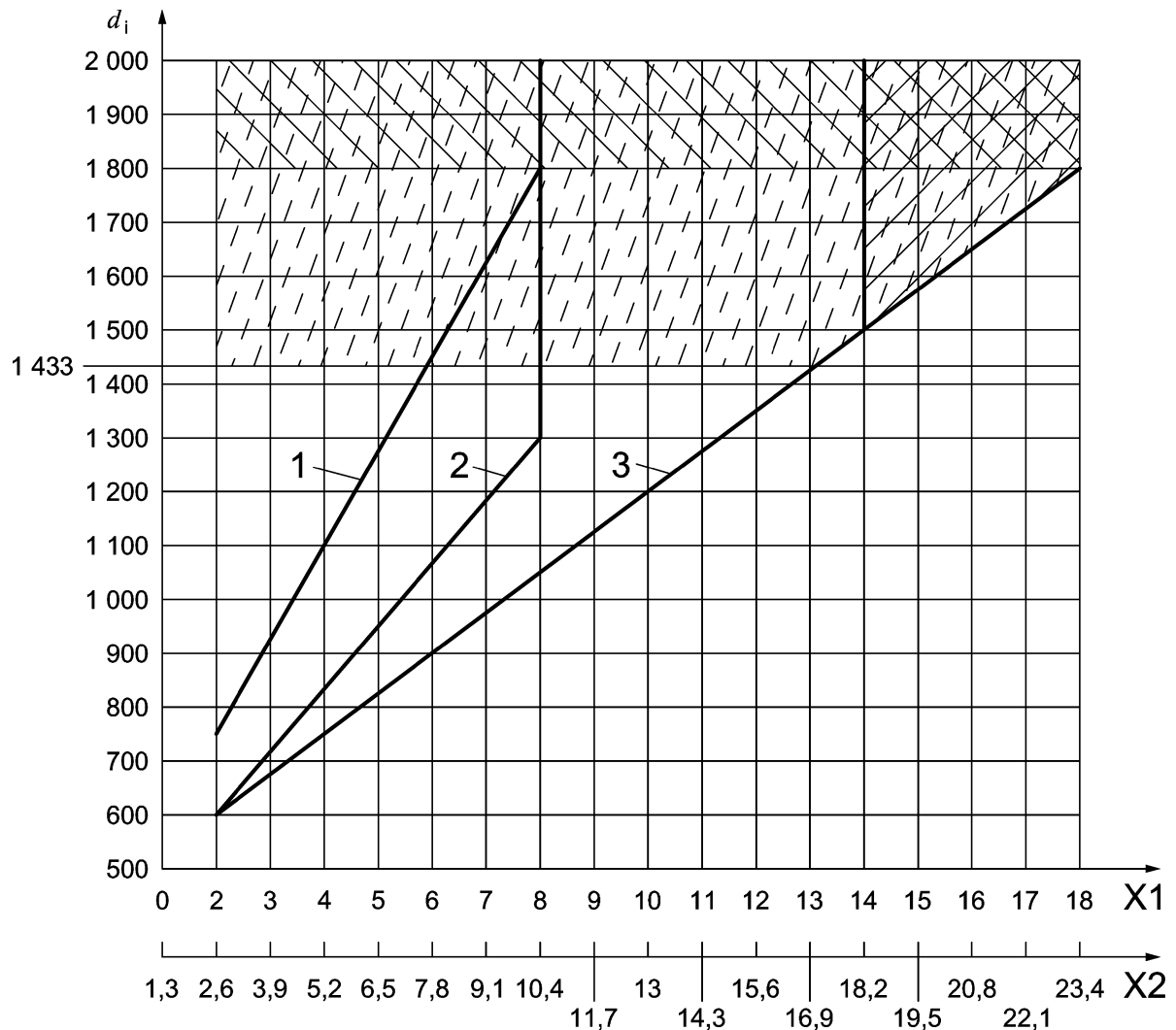
Um eine sichere Brenner-/Kessel-Kombinationen mit einer Wärmeleistung über 2 MW sicherzustellen, darf der Mindest-Flammrohrdurchmesser d_i die folgenden Werte nicht unterschreiten (siehe Bild 1):

- a) Nr. 1 Werkstoffklasse P265GH/P295GH: Kohlefeuerung (Rost): $d_i = 400 + 175 \cdot H$
- b) Nr. 2 Werkstoffklasse P265GH: Ölfeuerung: $d_i = 365 + 117 \cdot H$; Gasfeuerung: $d_i = 365 + 90,4 \cdot H$
- c) Nr. 3 Werkstoffklasse P295GH/P355GH: Ölfeuerung: $d_i = 450 + 75 \cdot H$; Gasfeuerung: $d_i = 450 + 57,7 \cdot H$

Dabei ist

d_i = der Innendurchmesser, in mm, bei glatten Flammrohren [mit oder ohne Versteifungen oder Fairbairnrings(n)] oder mittlerer Durchmesser, in mm, bei gewellten Flammrohren (mit oder ohne Versteifungen);

H = die Wärmeleistung, in MW, (Produkt aus Brennstoffdurchflussmenge und dem unteren Brennwert; eine Luftvorwärmung sollte bei einer Lufttemperatur über 100 °C berücksichtigt werden).



Legende

1 Kohlefeuerung P265GH/P295GH

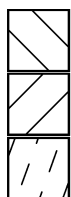
2 P 265 GH

3 P 295 GH/P 355 GH

d_i äquivalenter Durchmesser [mm]

X1 Feuerungsleistung H_{oil} / H_{coal} [MW]

X2 Feuerungsleistung H_{gas} [MW]

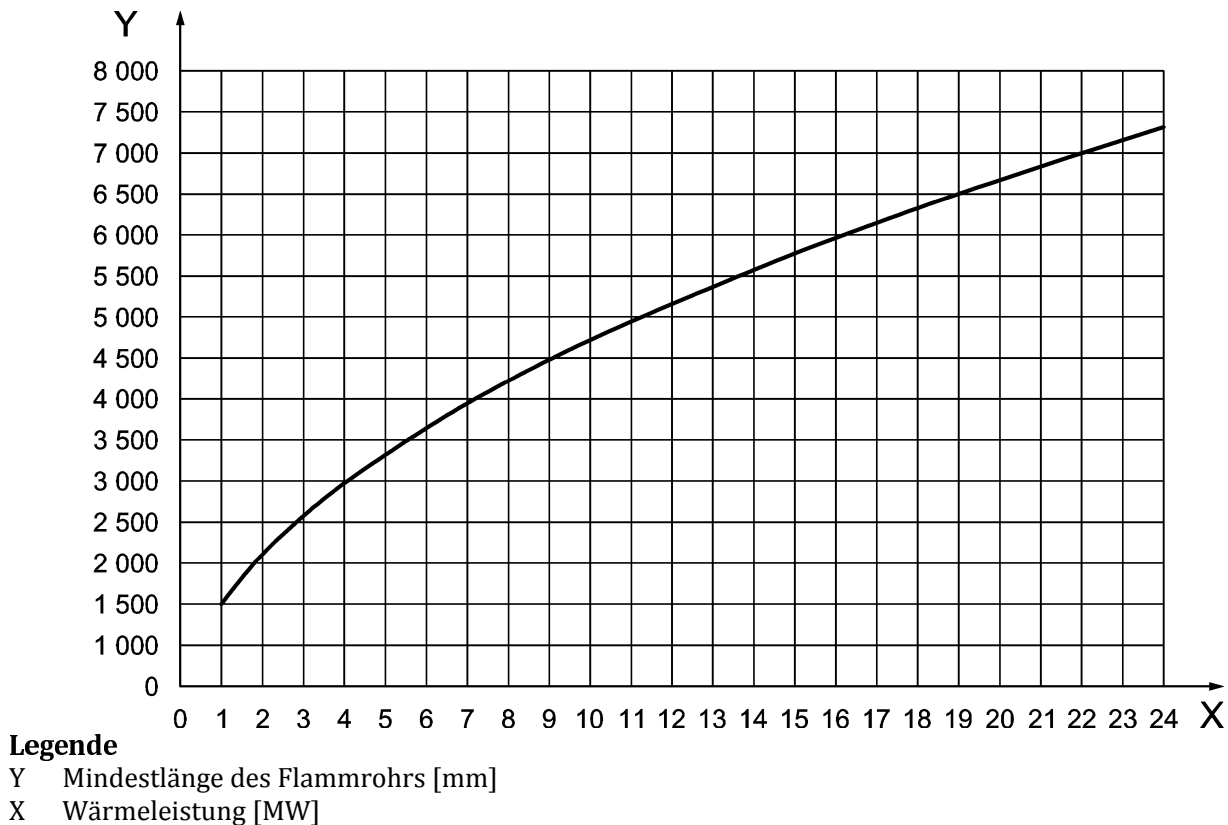


Temperaturüberwachung erforderlich bei $d_i > 1800$ mm

Temperaturüberwachung erforderlich bei $H_{oil} > 14$ MW bzw. $H_{gas} > 18,2$ MW

Überwachung der Betriebsbedingungen bei $d_i > 1433$ mm

Bild 1 — Beziehung zwischen Feuerungsleistung und Flammrohrinnendurchmesser d_i

Bild 2 — Beziehung zwischen Wärmeleistung und Flammrohrlänge L

5.5.2 Maße des Flammrohrs

Die Mindestlänge des Flammrohrs muss entweder anhand von Bild 2 oder mit Gleichung (2) bestimmt werden.

$$L [\text{mm}] = 150\,000 * (H [\text{MW}]/10\,100)^{0,5} \quad (2)$$

Unterschreitet der Flammrohrdurchmesser den Minstdurchmesser (siehe Bild 1) oder die Flammrohrlänge die erforderliche Mindestlänge (siehe Bild 2) müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Verifizierung der Wärmestromdichte und der Berechnungstemperatur des Flammrohrs [z. B. nach 6.1 e)]. Niedrigere Berechnungstemperaturen als in Formel (2) festgelegt dürfen nicht verwendet werden.
- Durchgehende Überwachung der Wasserqualität (siehe EN 12953-6:2011, 4.8.2, 4.8.3 und 4.8.4).

Bei einem Flammrohrdurchmesser über 1 800 mm müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Eine gesonderte Spannungsanalyse des Flammrohrs (z. B. mittels geeigneter FEM-Berechnung) ist zum Nachweis der Aufreißsicherheit erforderlich.

5.5.3 Wärmezufuhr

Bei einer Wärmezufuhr über $H_{\text{gas}} = 18,2 \text{ MW}/H_{\text{oil}} = 14 \text{ MW}$ müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Verifizierung der Wärmestromdichte und der Berechnungstemperatur des Flammrohrs [z. B. nach 6.1 e)].
- Die Design-Dokumentation zeigt zufriedenstellende Integration des Brenners mit dem Kessel und die Betriebsanleitung enthält die vollständige Spezifikation zu der Kessel/Brenner-Kombination.

5.5.4 Zusätzliche Betriebsbedingungen

Der Kesselhersteller muss zusätzliche Betriebsbedingungen bei einer Feuerungsleistung größer $H_{\text{gas}} > 18,2$ MW/ $H_{\text{oil}} > 14$ MW berücksichtigen; die Risikoanalyse muss entsprechend angepasst werden:

Festlegen von strengeren Betriebsbedingungen, wie z. B. Anforderungen für bessere Wasserqualität zusätzlich zu den Anforderungen nach EN 12953-10:2003, kürzere Wartungs- und/oder Inspektionsintervalle.

- Temperaturüberwachung des Flammrohrmantels oder vergleichbare sicherheitsbezogene oder technische Maßnahmen, falls nach Bild 1 erforderlich.
- Strengere Anfahrbedingungen, z. B. Begrenzung der Heizrate beim Kaltstart (entweder automatisch innerhalb des Regel- und Steuersystems oder in der Betriebsanleitung), wie bei der Bewertung des Einbaus von Kessel/Brenner bestimmt.
- Zweiflammrohrkessel: Anforderungen für möglichen Einflammrohrbetrieb, wenn die Betriebsanforderungen einen großen Wärmeleistungsbereich erfordern.

a) Bei Dampfkesseln:

- Überwachung der Leitfähigkeit des Kesselwassers muss EN 12953-6:2011 entsprechen.
- Verbesserung des Umlaufs während des Anfahrens.

b) Bei Heißwasserkesseln:

- Überwachung des Ergänzungswassers sowie der Rücklaufleitungen auf Verunreinigung muss EN 12953-6:2011 entsprechen.
- Zuverlässige Überwachung der Rücklaufleitungen auf plötzliche Änderungen der Durchflussmenge oder Temperatur.

Sind hitzebeständige Werkstoffe am Flammrohrmantel angebracht, darf die Länge ein Drittel des Flammrohr-Innendurchmessers nicht überschreiten. Die Länge ist als am Brennerende beginnend festgelegt. Weitere hitzebeständige Werkstoffe oder andere Flammrohreinbauteile für die Wärmespeicherung oder -rückhaltung sind unzulässig, es sei denn, sie entsprechen den Spezifikationen von Kessel- und Brennerhersteller.

5.6 Maße von drucktragenden Teilen

Die Wanddicke und andere Maße von drucktragenden Teilen müssen ausreichen, um dem Berechnungsdruck bei Berechnungstemperatur standzuhalten, und sind nach diesem Teil der Europäischen Norm festzulegen.

5.7 Bestimmung von Drücken

5.7.1 Maximal zulässiger Druck

Der maximal zulässige Druck PS ist der maximale Druck, für den der Kessel ausgelegt ist und der am höchsten Punkt des Kessels gemessen wird.

5.7.2 Berechnungsdruck

Der Berechnungsdruck p_c darf die Summe von zulässigem Betriebsdruck und hydrostatischem Druck nicht unterschreiten. Beträgt letzterer weniger als 3 % des maximal zulässigen Betriebsdrucks, darf dessen Wirkung vernachlässigt werden.

ANMERKUNG Der Berechnungsdruck p_c wird auch als Auslegungsdruck p_d bezeichnet. Der Begriff Berechnungsdruck p_c wird durchgehend in dieser Europäischen Norm verwendet.

5.7.3 Ansprechdruck der Sicherheitsventile

Der Ansprechdruck von Sicherheitsventilen darf den maximal zulässigen Betriebsdruck nicht überschreiten (siehe auch EN 12953-8:2001).

5.7.4 Hydrostatischer Prüfdruck

Der hydrostatische Standard-Prüfdruck darf den sich aus Formel (3) ergebenden Druck nicht unterschreiten:

$$p_t = 1,25 p_c \frac{R_{p0,2\ 20}}{R_{p0,2\ t_c}} \quad (3)$$

oder

$$p_t = 1,43 p_c \quad (4)$$

je nachdem, welcher Druck größer ist.

Dabei ist

$R_{p0,2\ 20}$ der festgelegte Wert der Streckgrenze bei 20 °C;

$R_{p0,2\ t_c}$ siehe EN 12953-1:2012, Tabelle 1.

Das höchste Verhältnis $R_{p0,2\ 20}/R_{p0,2\ t_c}$ ist für den Kesselmantel und den vorderen Rohrboden (oder in Abhängigkeit von der Bauform: den vorderen Kesselboden) sowie den hinteren Kesselboden (oder in Abhängigkeit von der Bauform: den hinteren Rohrboden) bei deren jeweiligen Berechnungstemperaturen anzunehmen.

In allen Fällen gilt:

- a) Die Spannung in allen drucktragenden Teilen des Kessels und/oder der Kesselbaugruppe darf 95 % ihrer festgelegten Streckgrenze bei Prüftemperatur nicht überschreiten.
- b) p_t darf den Berechnungsdruck für das Flammrohr unter Prüfbedingungen nicht überschreiten (siehe 13.1). Der Wert des Elastizitätsmoduls (E) bei Raumtemperatur ist zu verwenden.
- c) Bei Kesseln mit nur eingewalzten Rauchrohren ist der Wert $p_t = 1,43 p_c$ zu verwenden.

5.8 Zuschläge

5.8.1 Zuschläge für Materialliefertoleranzen und Umformvorgänge

Die Minustoleranz der bestellten Nennwanddicke c_1 muss Minustoleranz aufgrund des Lieferzustands des Materials ausgleichen.

Bei anschließenden Umformvorgängen muss die vom Lieferanten oder Hersteller zu erreichende Minstdicke mindestens der in den maßgebenden Dokumenten (d. h. Zeichnungen, Berechnungsblätter usw.) festgelegten Minstdicke entsprechen.

5.8.2 Zuschlag für den Werkstoffabtrag

Für die Auslegung muss der Zuschlag für den Werkstoffabtrag c_2 Korrosion sowie Erosion und Abrasion einschließen, falls deren Auftreten zu erwarten ist.

Für Komponenten unter normalen Betriebsbedingungen:

- a) mit einer Wanddicke ≤ 30 mm ist mindestens ein Zuschlag für den Werkstoffabtrag von 0,75 mm einzusetzen;
- b) mit einer Wanddicke > 30 mm und für alle flachen Komponenten darf ein Zuschlag für den Werkstoffabtrag von 0 mm eingesetzt werden.

Im Fall starken Werkstoffabtrags ist ein erhöhter Wert für c_2 entsprechend zu wählen.

5.9 Zusätzliche Materialanforderungen an Blechtafeln

Für Platten ≥ 30 mm müssen Ultraschallprüfungen nach EN 10160 durchgeführt werden.

5.10 Genormte Formstücke

Falls genormte Formstücke (z. B. Krümmer, Rohrbiegungen usw.) nach EN 10253-2 verwendet werden, ist eine zusätzliche Berechnung nach EN 12953-3 nicht erforderlich.

ANMERKUNG Alternative Normen, die den Anforderungen der spezifischen Europäischen Normen entsprechen sollten, dürfen angewendet werden.

5.11 Flansche

Falls Flansche nach EN 1092-1:2007+A1:2013 verwendet werden, müssen die Zuordnungen für Druck/Temperatur (p/t) von EN 1092-1:2007+A1:2013, Anhang G, verwendet werden.

ANMERKUNG Alternative Normen, die den Anforderungen der spezifischen Europäischen Normen entsprechen sollten, dürfen angewendet werden.

5.12 Auslegung nach dem analytischen Zulässigkeitsnachweis

Es muss zulässig sein, eine Auslegung nach dem analytischen Zulässigkeitsnachweis durchzuführen, vorausgesetzt, die Sicherheits- und Funktionsanforderungen der Komponenten werden dadurch nicht beeinträchtigt. Die Ergebnisse jeglicher Spannungsberechnungen, die für Lasten durchgeführt werden, die nicht ausdrücklich durch die Formeln in der vorliegenden Norm abgedeckt sind, müssen mithilfe der Kriterien von EN 13445-3:2014 bestimmt werden.

5.13 Speisewasservorwärmer (Economizer) und Überhitzer

Für Speisewasservorwärmer (Economizer) und Überhitzer ausgelegt als Wasserrohrkesselbauteile, die mit dem Großwasserraumkessel verbunden sind, siehe Anhang D.

6 Berechnungstemperatur und zulässige Spannung

6.1 Berechnungstemperatur

Die Berechnungstemperatur t_c muss die mittlere Metalltemperatur sein und entsprechend den Festlegungen nach a) bis e) bestimmt werden.

- a) Bei Bauteilen, die nicht der Wärmeübertragung unterliegen (z. B. zylindrische Kesselmäntel), darf die Berechnungstemperatur (t_c) nicht kleiner sein als die Sattedampftemperatur (t_s) entsprechend dem maximal zulässigen Betriebsdruck bzw. der maximal zulässigen Betriebstemperatur.

- b) Für Rauchrohre muss die Berechnungstemperatur (t_c) als der größere Wert aus den Formeln (5) und (6) bestimmt werden:

$$t_c = t_s + 2e_t \quad (5)$$

oder

$$t_c = t_s + 25 \quad (6)$$

- c) Die Berechnungstemperatur für Bauteile, die Wärme übertragen, jedoch nicht von der Flamme berührt sind, und bei denen die Gaseintrittstemperatur 800 °C nicht überschreitet, ist als der niedrigere Wert aus den Gleichungen (7) und (8) zu bestimmen:

$$t_c = t_s + 2e + 15 \quad (7)$$

oder

$$t_c = t_s + 50 \quad (8)$$

Die Berechnungstemperatur (t_c) für Bauteile im Rauchgasweg mit einer Gaseintrittstemperatur ≤ 400 °C ergibt sich aus Gleichung (9):

$$t_c = t_s + 20 \quad (9)$$

- d) Die Berechnungstemperatur für Bauteile, die Wärme übertragen und bei denen die Gaseintrittstemperatur 800 °C überschreitet, ist nach Gleichung (10) oder (11) oder Anhang C zu bestimmen:

Beheizung durch Strahlung: $t_c = t_s + 3e + 30 \quad (10)$

oder

Beheizung durch Konvektion: $t_c = t_s + 2e + 15$, höchstens jedoch $t_s + 50 \quad (11)$

- e) Die Berechnungstemperatur für Flammrohre ist mit Gleichung (12) zu bestimmen:

$$t_c = t_s + 3,5e + 35 \quad (12)$$

Gleichung (12) kann angewendet werden, um t_c zu berechnen, vorausgesetzt, dass

- 1) $d_i \geq$ äquivalenter Mindestwert für d_i des Flammrohrs (siehe 5.5.1)
- 2) $L \geq$ Mindest-Flammrohrlänge (siehe Bild 2)
- 3) $H_{oil} \leq 14,0$ MW
- 4) $H_{gas} \leq 18,2$ MW

Falls Formel (12) nicht angewendet werden kann, muss die Berechnungstemperatur (t_c) in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Anhang B bestimmt werden.

Die Berechnungstemperatur darf keinesfalls niedriger sein als die mit Gleichung (12) berechnete Temperatur.

Die höchstzulässige Berechnungstemperatur für Flammrohre muss in allen Fällen 420 °C betragen.

6.2 Zulässige Spannung

Sofern nicht anders angegeben, ist die zulässige Spannung f der kleinere der beiden mit Formel (13) erhaltenen Werte:

$$f = \min \left\{ \frac{R_{p0,2tc}}{1,5} ; \frac{R_m}{2,4} \right\} \quad (13)$$

ANMERKUNG Der Begriff „zulässige Spannung“, bezeichnet mit dem Symbol f , ist diejenige Spannung, die in den hier aufgeführten Gleichungen für die Berechnung der drucktragenden Teile zu verwenden ist. Mit den detaillierten Berechnungsregeln in diesem Teil werden die tatsächlichen maximalen Spannungen innerhalb annehmbarer Grenzen für die jeweils betrachtete Art der Beanspruchung abgedeckt.

7 Zylindrische Mäntel

7.1 Wanddicke

7.1.1 Anforderungen

Nach Abzug aller Zuschläge ergibt sich die Manteldicke (e_{rs}) aus Gleichung (14).

$$e_{rs} = e_s - c_1 - c_2 \quad (14)$$

muss mindestens dem nach den folgenden Anforderungen erforderlichen Höchstwert entsprechen:

- a) mindestens 6 mm bei zylindrischen Mänteln mit Außendurchmesser $\geq 1\,000$ mm, ausgenommen Niederdruck-Dampfkessel (NDD). Bei zylindrischen Mänteln mit Außendurchmesser $< 1\,000$ mm und bei NDD ist ein Mindestwert von 4 mm erforderlich;
- b) die Anforderungen nach 7.2 durch Anwendung von 8.2 oder 8.3.3 und 8.3.4.

7.1.2 Erforderliche Wanddicke einschließlich der Zuschläge

Die erforderliche Wanddicke einschließlich der Zuschläge ergibt sich aus Gleichung (15):

$$e_{sa} = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad (15)$$

7.2 Grundlegende Berechnung für Innendruck

Wenn d_{is} gegeben ist, ergibt sich die erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge (e_{cs}) eines zylindrischen Mantels aus Gleichung (16):

$$e_{cs} = \frac{p_c d_{is}}{(2f_s - p_c)v} \quad (16)$$

Wenn d_{os} gegeben ist, ergibt sich die erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge (e_{cs}) eines zylindrischen Mantels aus Gleichung (17):

$$e_{cs} = \frac{p_c d_{os}}{(2f_s - p_c)v + 2p_c} \quad (17)$$

7.3 Kesselunterstützungen und Hebeösen

Die auf den Kesselmantel wirkenden Spannungen aufgrund der Beanspruchungen durch die Unterstützungen und Hebeösen sind zu berechnen.

ANMERKUNG 1 Als Anleitung für die Berechnung ist EN 13445-3:2014, Abschnitt 16 anwendbar, oder es kann eine spezielle Analyse durchgeführt werden.

ANMERKUNG 2 Die Unterstützungen und Hebeösen selbst sollten ebenfalls berechnet werden.

8 Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln

8.1 Allgemeines

8.1.1 Einleitung

Dieser Abschnitt beschreibt die Auslegungsregeln für Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln.

Zu berücksichtigen ist:

- alle Maße gelten ohne Waddickenzuschläge c_1 und c_2 ;
- Schweißnahtdetails sind nur beispielhaft.

8.1.2 Anforderungen für die Verstärkung von Ausschnitten in Mänteln

8.1.2.1 Die Verstärkung von Ausschnitten in Mänteln muss, sofern zutreffend, wie folgt ausgeführt werden:

- a) durch Vergrößerung der nach den Formeln (16) und (17) berechneten Wanddicke des Mantels.

Die zusätzliche Wanddicke muss mindestens bis zu einer Länge l_{rs} entsprechend den Bildern 4 bis 7 vorhanden sein.

Liegt der Abzweig oder Ausschnitt neben einer Stumpfnahht im Mantel, gilt für den Abstand $l_{so} \geq e_{rs}$ (siehe Bilder 5 und 6).

- b) durch Abzweige, gemessen auf einer Länge l_{b1} von der äußeren Oberfläche der Mantelwand, wobei die Wanddicke größer ist als aufgrund des Innendrucks erforderlich, mit oder ohne gleichzeitiger Erhöhung der Mantelwanddicke (siehe Bilder 5 und 6).

Die Schweißverbindung zwischen Mantel und Abzweig muss eine durchgeschweißte Naht sein. Wenn keine voll durchgeschweißte Naht vorgenommen werden kann, ist der Abzweig bei der Verstärkungsberechnung zu vernachlässigen (siehe Bild 4).

Ein Wanddickenverhältnis von e_{rb}/e_{rs} bis einschließlich 2 ist bei $d_{ib} \leq 50$ mm zulässig. Dies gilt auch für Abzweige mit $d_{ib} > 50$ mm bei einem Durchmesser Verhältnis $d_{ib}/d_{is} \leq 0,2$. Bei Abzweigen mit $d_{ib} > 50$ mm und einem Durchmesser Verhältnis $d_{ib}/d_{is} > 0,2$ darf das Verhältnis e_{rb}/e_{rs} den Wert 1 nicht überschreiten. Diese Bedingungen gelten nicht für Befahr- und Besichtigungsöffnungen.

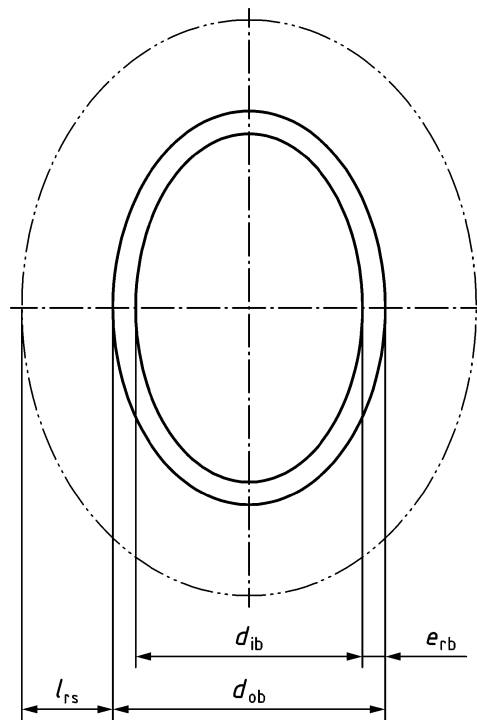
Die Länge l_{rb} in Bild 6 muss mindestens der Dicke des Abzweigs e_{rb} entsprechen.

- c) durch Verstärkungsscheiben zur Vergrößerung der Wanddicke wie in a) festgelegt (siehe Bilder 7 bis 8). Die Verstärkung von Ausschnitten durch innen aufgeschweißte Verstärkungsscheiben ist unzulässig.
- d) durch eingesetzten Verstärkungsring, der als Flansch verwendet werden kann, siehe Bild 9. Die für die Verstärkungsberechnung verwendete Höhe e_r des Rings ist begrenzt auf $\max\{3 \cdot e_{rs}; 3 \cdot l_r\}$. Für die Verstärkungsberechnung sind in den nachfolgenden Abschnitten A_{fr} statt A_{fb} und f_r statt f_b einzusetzen.

ANMERKUNG Aufgesetzte Ringe (Flansche) dürfen nur als Verstärkungsscheibe angesehen werden.

8.1.2.2 Im Falle von elliptischen Befahr- und Besichtigungsöffnungen darf das Verhältnis von großer zu kleiner Achse den Wert von 1,5 nicht überschreiten.

Bei elliptischen oder unrunder Ausschnitten in zylindrischen Mänteln muss das Maß in Richtung der Mantellinie als Durchmesser des Ausschnitts für die Verstärkungsberechnung verwendet werden (siehe Bild 3).



Legende

- d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
- d_{ob} Nenn-Außendurchmesser eines Abzweigs
- e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder des Stutzens ohne Zuschläge

Bild 3 — Berechnungsmaße für elliptische Ausschnitte

Ausschnitte müssen mit einem angemessenen Abstand von den Schweißnähten (Längs- und Rundnähte) des Mantels angeordnet werden.

Der Abstand von der Schweißnahtkante ist als angemessen anzusehen, wenn der Abstand zur Außenkante eines Abzweigs oder einer aufgeschweißten Verstärkung bei einem Mantel der Wanddicke:

- a) $e_{rs} \leq 25$ mm einen Abstand von $2e_{rs}$ beträgt;
- b) $e_{rs} > 25$ mm einen Abstand von mindestens 50 mm beträgt.

Die Bearbeitung von Ausschnitten durch Längs- und Rundnähte in Mänteln ist bei einem Innendurchmesser ≥ 100 mm und einer Dicke des Abzweigs ≥ 8 mm zulässig. Die Öffnung muss von der Kante der Hauptschweißnaht entfernt sein und zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfungen unterzogen werden:

- c) nach der Bearbeitung und vor dem Schweißen des Abzweigs: Prüfung auf Oberflächenrisse im betreffenden Bereich;
- d) nach dem Schweißen des Abzweigs zusätzlich zu der in EN 12953-5 aufgeführten Inspektion: Prüfung auf Oberflächenrisse und Ultraschallprüfungen (UT).

ANMERKUNG Es wird empfohlen, die betroffene Schweißnaht mit dem Faktor $v = 1$ zu berücksichtigen.

8.1.3 Mittragende Längen l_{rs} zur Berechnung von Verschwächungen und Ausgleichsflächen

Zur Berechnung von Verschwächungen durch Näherungsverfahren entsprechend 8.2 und zur Berechnung von einzelnen und benachbarten Abzweigen entsprechend 8.3 sind mittragende Längen l_{rs} für den Mantel erforderlich.

$$l_{rs} = \min \left[\sqrt{(d_{is} + e_{rs})e_{rs}}; l_{s1} \right] \quad (18)$$

ANMERKUNG Bei Einsatz von Verstärkungsringen nach 8.1.2.1 d) ist die Verwendung von e_{rs} als die mittlere Wanddicke zulässig, bestimmt durch iterative Berechnung unter Berücksichtigung von e_r und e_{rs} .

Zu l_{s1} siehe Bilder 4 bis 6.

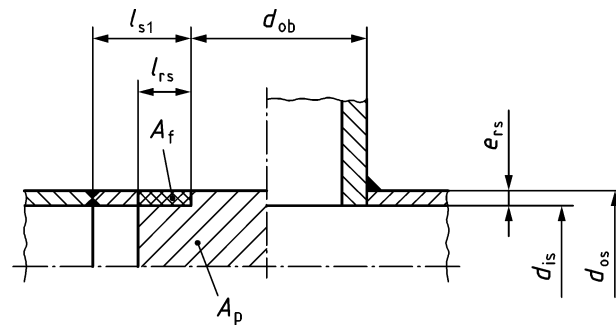
und bei Stützen mit $\psi \geq 45^\circ$ gilt

für den Teil außerhalb des Mantels

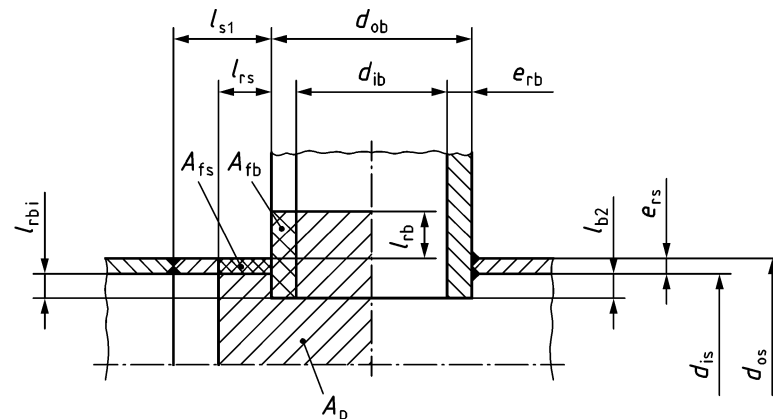
$$l_{rb} = \min \left[\sqrt{(d_{ib} + e_{rb})e_{rb}}; l_{b1} \right] \quad (19)$$

für den Teil innerhalb des Mantels

$$l_{rbi} = \min \left[0,5\sqrt{(d_{ib} + e_{rb})e_{rb}}; l_{b2} \right] \quad (20)$$

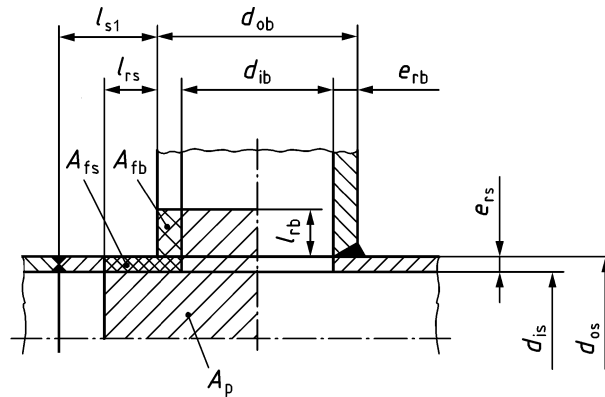
**Legende**

- A_f tragende Querschnittsfläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
 A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
 e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge
 l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers
 d_{os} Nenn-Außendurchmesser des Grundkörpers
 d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
 d_{ob} Nenn-Durchmesser des Abzweiges

Bild 4 — Zylindrischer Mantel mit kehlnahtgeschweißtem Abzweig (keine zusätzliche Verstärkung)**Legende**

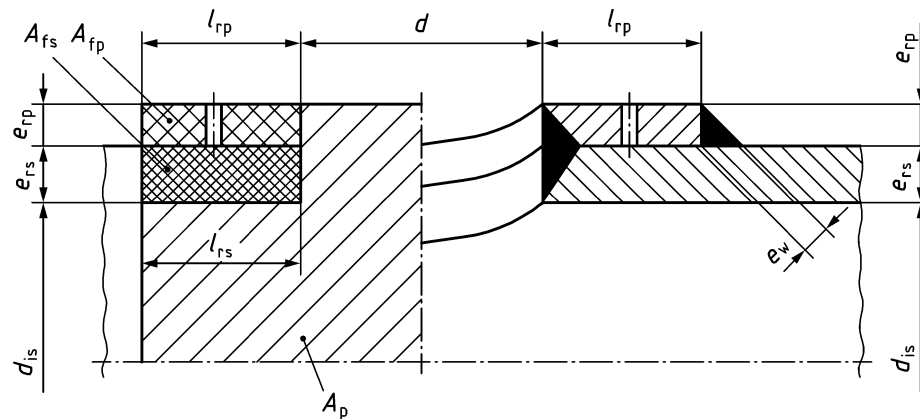
- A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
 A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
 A_{fb} tragende Querschnittsfläche des Abzweigs
 d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
 d_{ob} Nenn-Außendurchmesser des Abzweigs
 d_{os} Nenn-Außendurchmesser des Grundkörpers
 d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
 e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge
 e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers
 l_{b2} gemessene, nach innen überstehende Länge eines Abzweigs
 l_{rb} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Abzweigs
 l_{rbi} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des inneren Überstands eines durchgesteckten Abzweigs
 l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers

Bild 5 — Zylindrischer Mantel mit voll durchgeschweißtem Abzweig (durchgesteckt)

**Legende**

- A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
 A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
 A_{fb} tragende Querschnittsfläche des Abzweigs
 d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
 d_{ob} Nenn-Außendurchmesser des Abzweigs
 d_{os} Nenn-Außendurchmesser des Grundkörpers
 d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
 e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge
 e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers
 l_{rb} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Abzweigs
 l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers

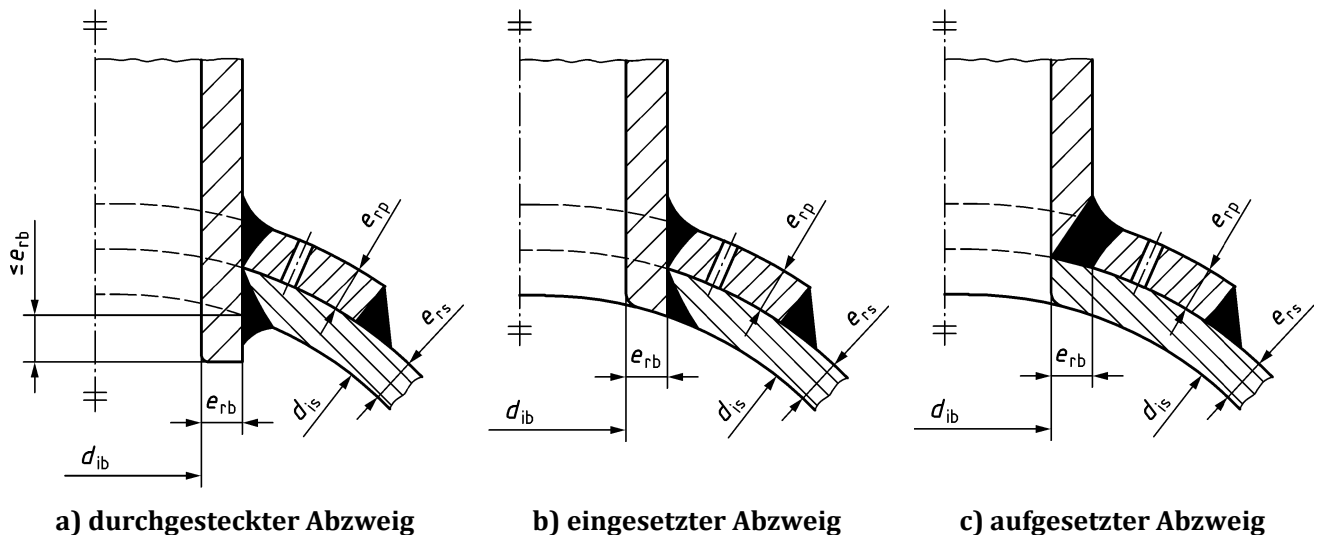
Bild 6 — Zylindrischer Mantel mit aufgeschweißtem Abzweig



Legende

- A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
- A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
- A_{fp} tragende Querschnittsfläche des Verstärkungsringes
- d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
- e_{rp} vorhandene Wanddicke des Verstärkungsblechs ohne Zuschläge
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers
- e_w Dicke der Schweißnaht ($e_w \geq 0,7 e_{rp}$)
- l_{rb} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Abzweigs
- l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers
- l_{rp} wirksame Weite eines Verstärkungsringes
- d Durchmesser des Ausschnitts

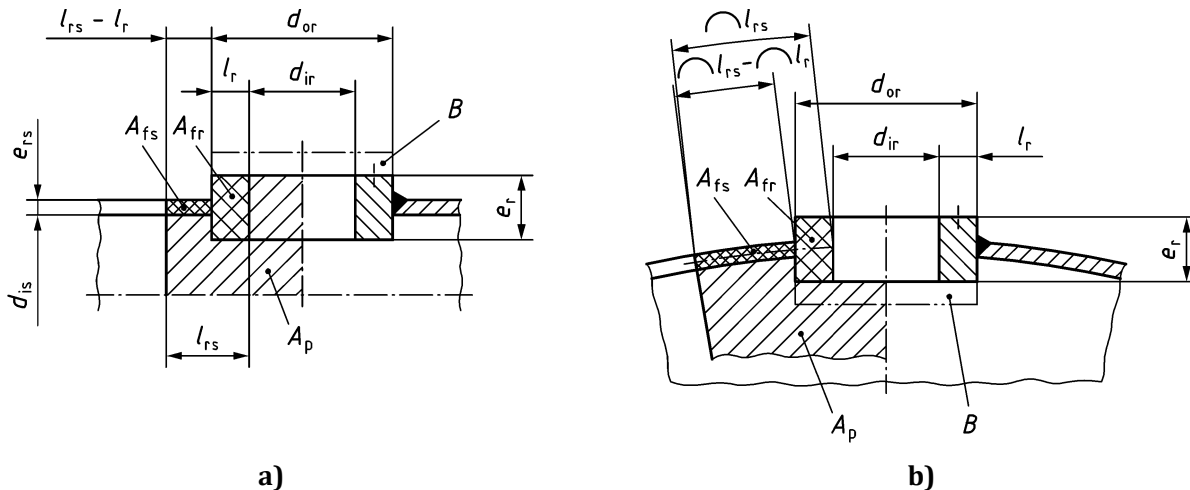
Bild 7 — Ausschnitt mit Verstärkungsscheibe



Legende

- d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
- d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
- e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge
- e_{rp} vorhandene Wanddicke des Verstärkungsblechs ohne Zuschläge
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge

Bild 8 — Ausschnitt mit Verstärkungsscheibe und voll durchgeschweißtem Abzweig



Legende

- A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
- A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
- A_{fr} Querschnittsfläche des Verstärkungsringes
- d_{or} Außendurchmesser des Rings
- d_{ir} Innendurchmesser des Rings
- d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
- e_r Höhe des Rings
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge
- l_r Breite des Rings
- l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers
- B Einbaustelle eines optionalen Blindflansches

Bild 9 — Ausschnitt mit Verstärkungsring (Flansch)

8.1.4 Bedingung für Einzelausschnitte

Benachbarte Ausschnitte müssen wie Einzelausschnitte behandelt werden, wenn für den Mittenabstand P_Φ (wie in Bild 14 dargestellt) die in Gleichung (21) dargestellte Bedingung erfüllt ist:

$$P_\Phi \geq \left(\frac{d_{ib1}}{2} + e_{rb1} \right) + \left(\frac{d_{ib2}}{2} + e_{rb2} \right) + 2\sqrt{(d_{is} + e_{rs})e_{rs}} \quad (21)$$

Für Ausschnitte ohne Abzweige gilt $e_{rb} = 0$.

8.1.5 Anforderungen an die Auslegung von Abzweigen

8.1.5.1 Mäntel mit einer geringeren zulässigen Spannung als die Abzweigung

Wenn der Mantel, der Abzweig und die zusätzliche Verstärkung aus Werkstoffen mit verschiedenen zulässigen Spannungen bestehen, und der Werkstoff des Mantels den niedrigsten Wert der zulässigen Spannung f_s aufweist, ist dieser Wert für alle Werkstoffe bei der Berechnung der Verstärkung des Ausschnitts so einzusetzen, dass sowohl f_p als auch f_b gleich f_s sind.

8.1.5.2 Abzweige oder Verstärkungsscheiben mit geringerer zulässiger Spannung als der Mantel

Wenn der Werkstoff des Abzweigs oder der Verstärkungsscheibe eine geringere zulässige Spannung f_b oder f_p als die zulässige Spannung des Mantels f_s aufweist, ist diese zulässige Spannung f_b oder f_p bei Verwendung der diesbezüglichen Gleichungen zu berücksichtigen.

8.1.5.3 Sonderfall

Der Innendurchmesser eines Stutzens d_{ib} ist in der Berechnung zu verwenden, auch wenn der Öffnungsdurchmesser d im Mantel kleiner als d_{ib} ist.

8.1.6 Anforderungen an die Auslegung von Verstärkungsscheiben

8.1.6.1 Allgemeines

Verstärkungsscheiben sind nach 8.1.2 auszulegen.

Werden Verstärkungsscheiben verwendet (siehe Bilder 7 und 8), müssen diese engen Kontakt mit dem Mantel haben und mit Entlüftungslöchern versehen sein, um Gaseinschlüsse zu verhindern.

8.1.6.2 Berücksichtigung des Drucks

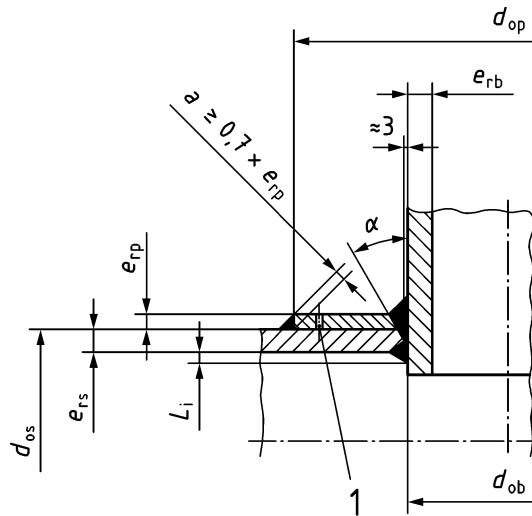
Werden Verstärkungsscheiben für die Verstärkung von Ausschnitten verwendet, sind die folgenden Bedingungen einzuhalten.

Werden Verstärkungsscheiben für die Verstärkung von Ausschnitten verwendet, muss die Schweißnaht zwischen Abzweig und Mantel die Anforderungen von EN 12953-4 erfüllen und:

- a) das Verhältnis d_{ib}/d_{is} des Abzweigdurchmessers zum Manteldurchmesser darf höchstens 1/4 betragen.

Das a -Maß der Schweißverbindung zwischen Verstärkungsscheibe und Mantel muss $\geq 0,7e_{rp}$ sein (siehe Bild 10).

- b) Die rechnerisch erforderliche Wanddicke der Verstärkungsscheibe darf die Wanddicke des Mantels nicht überschreiten.



Legende

- d_{ob} Nenn-Außendurchmesser des Abzweigs
- d_{op} äußerer Durchmesser der Verstärkungsscheibe
- e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge
- e_{rp} vorhandene Wanddicke des Verstärkungsblechs ohne Zuschläge
- L_i Schenkellänge der Kehlnaht
- 1 Entlüftungsloch
- α beträgt 30° bis 45°

Bild 10 — Verschweißen von Verstärkungsscheiben bei durchgesteckten und voll durchgeschweißten Abzweig

8.1.7 Allgemeine Anforderungen für die Berechnung von Querschnittsflächen und druckbeaufschlagten Flächen

Der Innendurchmesser des Mantels ist mit Gleichung (22) zu berechnen:

$$d_{is} = d_{os} - 2 \cdot (e_s - c_1 - c_2) \quad (22)$$

Der Innendurchmesser von Abzweigen ist mit Gleichung (23) zu berechnen:

$$d_{ib} = d_{ob} - 2 \cdot (e_b - c_1 - c_2) \quad (23)$$

Für Verstärkungsscheiben ist kein Korrosionszuschlag zulässig.

Bei Querschnittsflächen sind die Wanddicken anhand der Nennwanddicke abzüglich der Zuschläge für Minustoleranzen (c_1) und Werkstoffabtrag (c_2) zu berechnen.

Wenn beide Seiten des Bauteils in Kontakt mit dem Medium stehen, sind die Zuschläge für den Werkstoffabtrag nur einmal zu berücksichtigen.

8.2 Schweißnahtfaktor, alternatives Berechnungsverfahren, maximaler Durchmesser eines unverstärkten Ausschnitts

8.2.1 Allgemeines

Als Alternative zu den Gleichungen nach 8.3.3 und 8.3.4 dürfen die Gleichungen nach 8.2.3 und 8.2.4 verwendet werden. Gleichung (26) kann jedoch zu einem konservativen Ergebnis führen, da jegliche Verstärkung durch den Abzweig nicht berücksichtigt wird.

8.2.2 Zulässige Verschwächung und maximaler Durchmesser eines unverstärkten Ausschnitts

Die zulässige Verschwächung v_a ist durch Umstellung der Gleichung (16) für die verfügbare Wanddicke e_{rs} eines Mantels mit Gleichung (24) zu berechnen:

$$v_a = \frac{p_c d_{is}}{(2f_s - p_c) e_{rs}} \quad (24)$$

Für diesen Verschwächungsbeiwert ist der größte Außendurchmesser d_{ob} eines Einzelabzweigs zu bestimmen, wenn dessen Wanddicke lediglich dem Innendruck standhalten kann.

$$d_{ob\max} = 2 \left(\frac{l_{rs}}{v_a} - l_{rs} \right) \quad (25)$$

In diesem Fall muss die verfügbare mittlere Spannung f_a gleich der zulässigen Spannung f_s des Mantels sein.

8.2.3 Einzelausschnitte

Die Gleichungen in diesem Abschnitt gelten für Einzelausschnitte oder, falls mehr als ein Ausschnitt vorhanden ist, nur wenn Gleichung (21) erfüllt ist. Wenn mehr als ein Ausschnitt vorhanden und Formel (21) nicht erfüllt ist, ist nach 8.3.3 zu verfahren.

Unverstärkte Einzelausschnitte mit Durchmesser d in zylindrischen Mänteln sind jedoch zulässig, wenn sie den Anforderungen nach den Gleichungen (26) und (27) entsprechen:

$$d \leq 0,14 l_{rs} \quad (26)$$

und

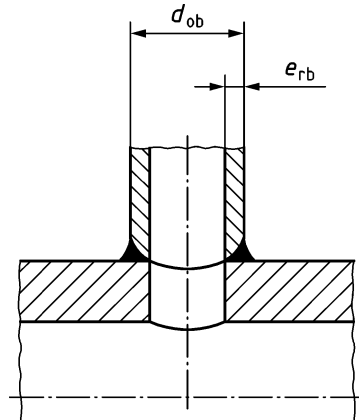
$$e_{rs} \leq 0,1 d_{os} \quad (27)$$

wobei l_{rs} nach 8.1.3 zu berechnen ist.

Dies gilt ebenso für abgestufte Bohrungen und für nur teilweise durchgehende Löcher, selbst wenn die Formel (29) oder (32) oder die genaueren Berechnungen nach 8.3.3 einen kleineren Durchmesser d empfehlen, als sich aus Formel (26) ergibt.

Wenn ein Rohr mit Außendurchmesser d_{ob} auf einen Ausschnitt gesetzt wird, wie in Bild 11 dargestellt, und das Rohr aufgrund seiner Wanddicke e_{rb} dem inneren Berechnungsdruck widerstehen kann, ist der Verschwächungsbeiwert v_b dieses Ausschnitts im Mantel zu berechnen mittels

$$v_b = \frac{2l_{rs}}{(2l_{rs} + d_{ob})} \quad (28)$$

**Legende**

d_{ob} Nenn-Außendurchmesser eines Abzweigs

e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge

Bild 11 — Auf den Mantel aufgesetztes Rohr

Wenn der Durchmesser d_{is} und die Wanddicke e_{rs} des Mantels bereits bestimmt wurden, ist ein Einzelausschnitt für ein Rohr mit einem maximalen Außendurchmesser

$$d_{ob} \leq 2l_{rs} \left[\frac{2e_{rs}}{d_{is}} \left(\frac{f_s}{p_c} - \frac{1}{2} \right) - 1 \right] \quad (29)$$

zulässig.

8.2.4 Benachbarte Ausschnitte

Wenn die Bedingung für den Mittenabstand P_Φ benachbarter Ausschnitte entsprechend 8.1.3 nicht erfüllt ist und Rohre mit einem Außendurchmesser d_{ob} mit dem Ausschnitt verbunden werden, wobei die Rohre lediglich dem Innendruck aufgrund ihrer Wanddicke e_{rb} widerstehen können, lässt sich der Verschwächungsbeiwert der benachbarten Ausschnitte anhand der Formeln (30) und (31) bestimmen:

$$v_m = \frac{2(P_\Phi - d_{ob})}{(1 + \cos^2 \Phi) P_\Phi} \leq 1 \quad (30)$$

bzw. für eine Längsteilung P_Φ mit $\Phi = 0$:

$$v_m = \frac{P_\Phi - d_{ob}}{P_\Phi} \quad (31)$$

Wenn die Außendurchmesser benachbarter Ausschnitte voneinander abweichen, gelten die Anforderungen von Formel (32):

$$d_{ob} = \frac{d_{ob1} + d_{ob2}}{2} \quad (32)$$

Statt der Berechnung im Näherungsverfahren nach diesem Abschnitt ist 8.3.4 anwendbar.

8.3 Auslegung von Ausschnitten und Abzweigen in zylindrischen Mänteln (Verschwächung und Verstärkung)

8.3.1 Symbole und Abkürzungen

Zusätzlich zu den Symbolen nach EN 12953-1:2012 sind die in den Bildern 12 bis 15 dargestellten Symbole zu verwenden.

8.3.2 Anforderungen für die Anwendung

8.3.2.1 Ausschnitte

Die in 8.3.3. bis 8.3.4 festgelegten Regeln gelten für kreisrunde, elliptische und ovale Ausschnitte und Stutzen (einschließlich schräger Stutzen), die einzeln oder in Gruppen in Mänteln angeordnet sind, sofern die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Ausschnitte und Stutzen nicht radial zum Mantel (Bild 13)

Das Verhältnis der großen zur kleinen Achse des Ausschnitts darf den Wert 2 nicht überschreiten.

- b) Schräge Stutzen (Bild 12)

Der Stutzen hat einen kreisrunden Querschnitt und der Winkel zwischen der Stutzenachse und einer Linie senkrecht zur Manteloberfläche darf 45° nicht überschreiten.

- c) Alle Stutzen

Keine bedeutenden äußeren Kräfte und Momente dürfen den Stutzen belasten. Andernfalls ist EN 13445-3:2014 anzuwenden, um die resultierenden Spannungen zu berechnen.

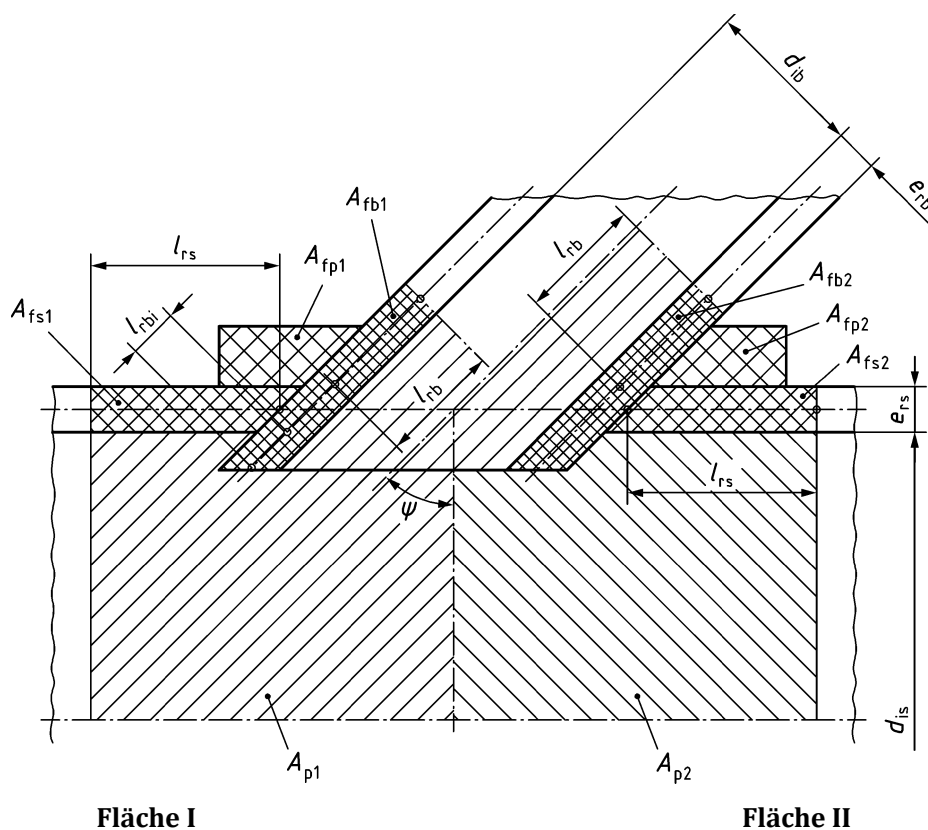
Der Stutzen-Innendurchmesser d_{ib} ist bei der Berechnung zu verwenden, selbst wenn der Durchmesser d des Ausschnitts im Mantel kleiner ist als d_{ib} .

Stutzenverbindungen mit dem Mantel durch nicht durchgeschweißte Nähte oder durchgesteckte Abzweige mit Kehlnaht sind als Ausschnitte ohne Verstärkung durch den Stutzen anzusehen.

Die druckbeaufschlagte Fläche im Rohrausschnitt ist zu berücksichtigen. Bei durchgesteckten Rohren mit innen liegender Kehlnaht ist die druckbeaufschlagte Fläche ebenso zu behandeln wie eine voll durchgeschweißte Naht.

8.3.2.2 Mindestwanddicke von Stutzen- und Abzweigverbindungen

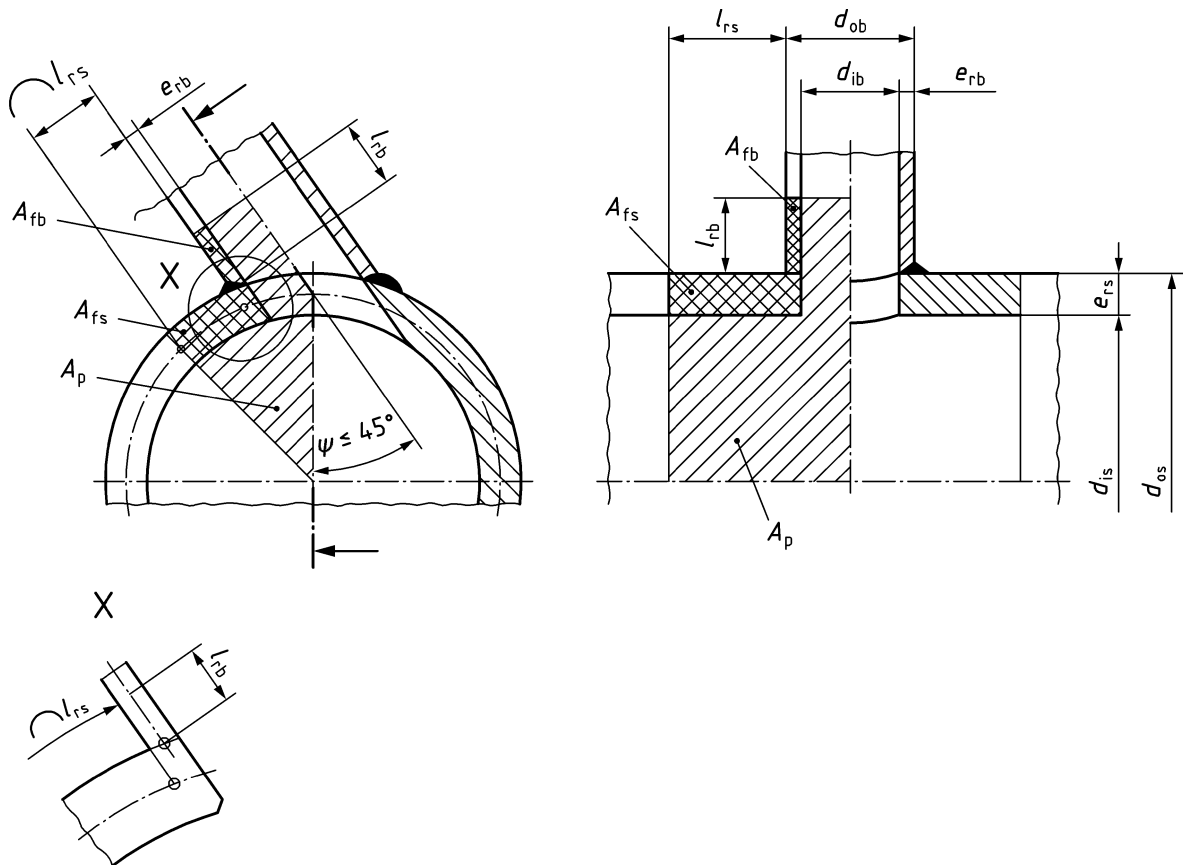
Bei der Wanddicke von Stutzen und Abzweigen muss 8.1.2.1 b) berücksichtigt werden, die Wanddicke muss jedoch mindestens dem in Abschnitt 12 angegebenen Wert entsprechen.



Legende

- A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
- A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
- A_{fp} tragende Querschnittsfläche des Verstärkungsringes
- A_{fb} tragende Querschnittsfläche des Abzweigs
- d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
- d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
- e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge
- l_{rb} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Abzweigs
- l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers
- $\psi \leq 45^\circ$

Bild 12 — Beanspruchungsschema für einen zylindrischen Mantel mit schrägem Abzweig und Verstärkungsscheibe

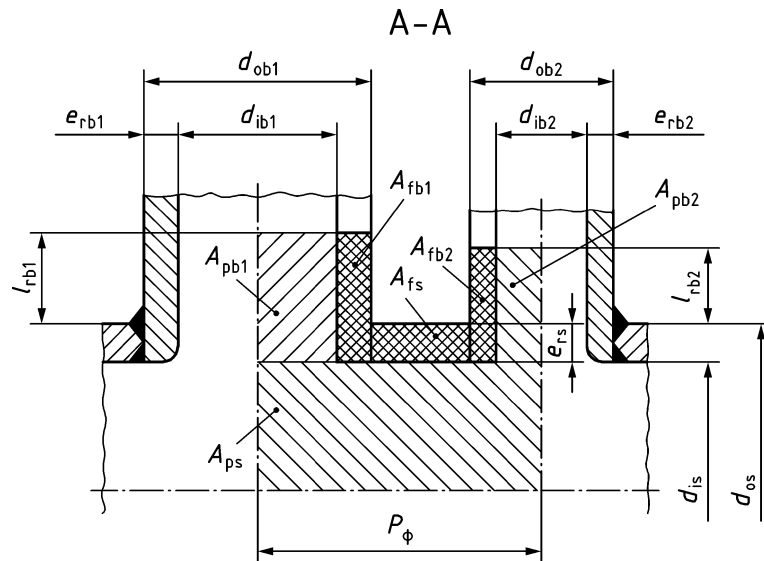


Legende

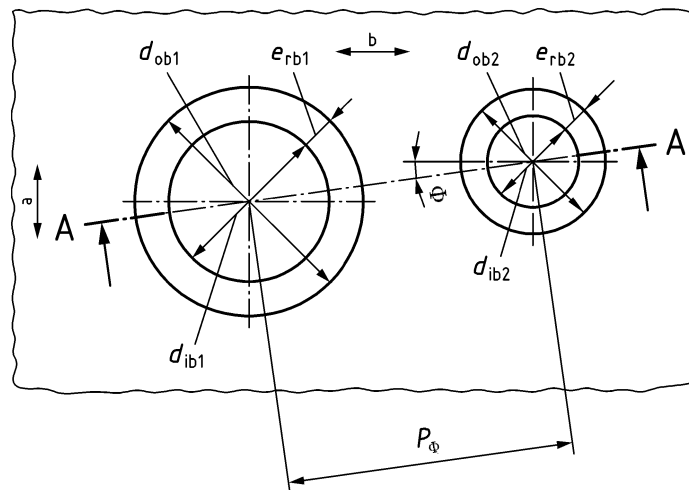
- A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
- A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
- A_{fb} tragende Querschnittsfläche des Abzweigs
- d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
- d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
- d_{ob} Nenn-Außendurchmesser eines Abzweigs
- d_{os} Nenn-Außendurchmesser des Grundkörpers
- e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge
- l_{rb} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Abzweigs
- l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers
- $\psi \leq 45^\circ$

Bild 13 — Beanspruchungsschema für einen zylindrischen Mantel mit nicht radialem Abzweig

a) Schnitt A — A



b) Draufsicht

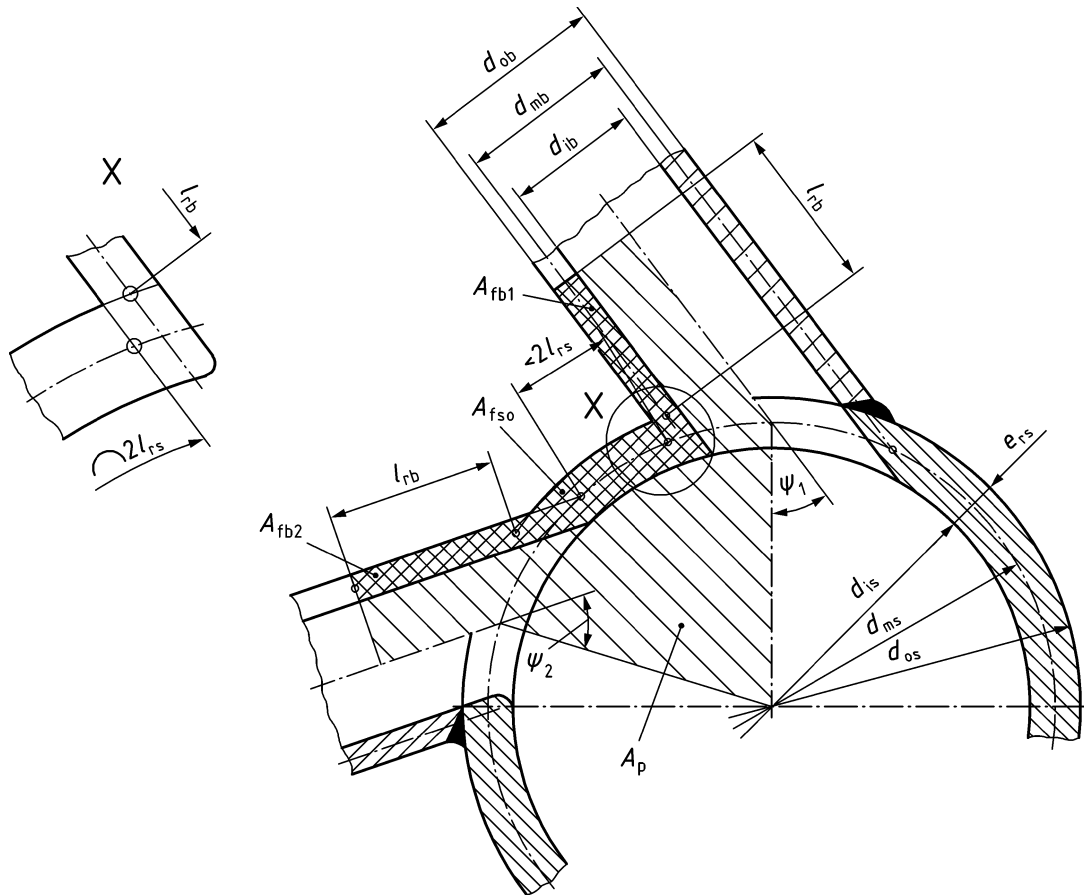


Legende

- A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
- A_{fb} tragende Querschnittsfläche des Abzweigs
- A_{pb} druckbelastete Fläche bezogen auf den Abzweig
- A_{ps} druckbelastete Fläche bezogen auf den Grundkörper
- d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
- d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
- d_{ob} Nenn-Außendurchmesser eines Abzweigs
- d_{os} Nenn-Außendurchmesser des Grundkörpers
- e_{rb} vorhandene Wanddicke des Abzweigs oder Stutzens ohne Zuschläge
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge
- l_{rb} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Abzweigs
- P_Φ Mittenabstand benachbarter Öffnungen, versetzt um den Winkel Φ , bezogen auf die Wandmitte
- a Umfangsrichtung
- b Längsrichtung

ANMERKUNG Bei a) Schnitt A — A wurde P_Φ für $\Phi = 0$ dargestellt.

Bild 14 — Beanspruchungsschema für einen zylindrischen Mantel mit benachbarten Abzweigen mit einem Winkel Φ zur Mantelachse



Legende

- A_{fs} tragende Querschnittsfläche des Grundkörpers
- A_{fb} tragende Querschnittsfläche des Abzweigs
- A_p druckbelastete Fläche ohne Berücksichtigung der Zuschläge
- d_{os} Nenn-Außendurchmesser des Grundkörpers
- d_{ms} mittlerer Durchmesser des Grundkörpers
- d_{is} Innendurchmesser des Grundkörpers
- d_{ob} Nenn-Außendurchmesser eines Abzweigs
- d_{mb} mittlerer Durchmesser des Abzweigs
- d_{ib} Innendurchmesser des Abzweigs ohne Zuschläge
- e_{rs} vorhandene Wanddicke des Grundkörpers ohne Zuschläge
- l_{rb} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Abzweigs
- l_{rs} zur Verstärkung beitragende wirksame Länge des Grundkörpers

Bild 15 — Beanspruchungsschema für einen zylindrischen Mantel mit nicht radialen, benachbarten Abzweigen, angeordnet auf dem Umfang

8.3.3 Auslegung von einzelnen Ausschnitten und Abzweigverbindungen

8.3.3.1 Allgemeines

Die Wanddicke des Mantels e_{rs} und die Wanddicke der Abzweigverbindung e_{rb} muss mindestens dem mit $v = 1$ nach 7.2 berechneten Wert entsprechen.

8.3.3.2 Einzelausschnitt mit radialem Abzweig

8.3.3.2.1 Bei Einzelausschnitten mit radialem Abzweig ohne zusätzliche Verstärkung sind zusätzlich 8.3.3.4 (mit $\psi_1 = 0$) zu berücksichtigen.

8.3.3.2.2 Entspricht die zulässige Spannung des Abzweigs mindestens der des Mantels, muss die Bedingung nach Gleichung (33) erfüllt sein:

$$f_a = p_c \left(\frac{A_p}{A_{fs} + A_{fb}} + \frac{1}{2} \right) \leq f_s \quad (33)$$

Die Verschwächung muss Folgendem entsprechen

$$v_b = \frac{d_{is}(A_{fs} + A_{fb})}{2e_{rs}A_p} \leq 1 \quad (34)$$

ANMERKUNG Statt dieser Berechnung kann die Berechnung im Näherungsverfahren nach 8.2 durchgeführt werden; in diesem Fall sollte der Verstärkungseffekt durch die Stutzen nicht berücksichtigt werden.

8.3.3.2.3 Ist die zulässige Spannung des Abzweigs kleiner als die des Mantels, muss die Bedingung nach Gleichung (35) erfüllt sein:

$$f_a = \frac{p_c(2A_p + A_{fs} + A_{fb})}{2 \left(A_{fs} + \frac{f_b}{f_s} A_{fb} \right)} \leq f_s \quad (35)$$

In diesem Fall gilt für die Verschwächung

$$v_b = \frac{d_{is} \left(A_{fs} + \frac{f_b}{f_s} A_{fb} \right)}{e_{rs} \left(2A_p + A_{fb} - \frac{f_b}{f_s} A_{fb} \right)} \leq 1 \quad (36)$$

ANMERKUNG Statt dieser Berechnung kann die Berechnung im Näherungsverfahren nach 8.2 durchgeführt werden; in diesem Fall sollte der Verstärkungseffekt durch die Stutzen nicht berücksichtigt werden.

8.3.3.3 Einzelausschnitt mit schrägem Abzweig und zusätzlicher Verstärkung

8.3.3.3.1 Bei Einzelausschnitten mit schrägem Abzweig und zusätzlicher Verstärkungsscheibe entsprechend Bild 12 sind zusätzlich die Bedingungen für die Auslegung von Verstärkungsscheiben nach 8.1.5 zu berücksichtigen.

8.3.3.3.2 Entspricht die zulässige Spannung des Abzweigs mindestens der des Mantels, muss die Festigkeitsbedingung für Fläche I Folgendem entsprechen:

$$f_{aI} = p_c \left(\frac{A_{pI}}{A_{fsI} + A_{fbI} + 0,7A_{fpI}} + \frac{1}{2} \right) \leq f_s \quad (37)$$

und für Fläche II

$$f_{aII} = p_c \left(\frac{A_{pII}}{A_{fsII} + A_{fbII} + 0,7A_{fpII}} + \frac{1}{2} \right) \leq f_s \quad (38)$$

8.3.3.3.3 Wenn die zulässige Spannung des Abzweigwerkstoffs oder des Werkstoffs der zusätzlichen Verstärkungsscheibe kleiner ist als die des Mantels, ist die Festigkeitsbedingung für Fläche I:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2}\right) A_{fs I} + \left(f_b - \frac{p_c}{2}\right) A_{fb I} + \left(f_p - \frac{p_c}{2}\right) 0,7 A_{fp I} \geq p_c A_{p I} \quad (39)$$

und für Fläche II:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2}\right) A_{fs II} + \left(f_b - \frac{p_c}{2}\right) A_{fb II} + \left(f_p - \frac{p_c}{2}\right) 0,7 A_{fp II} \geq p_c A_{p II} \quad (40)$$

8.3.3.4 Zylindrische Mäntel mit nicht radialem Abzweig

Für zylindrische Mäntel, bei denen der Abzweig nicht in radialer Richtung angeordnet ist (siehe Bild 13), sondern mit einem Winkel ψ , kann die höhere Beanspruchung im Querschnitt nach Bild 13 oder im Längsschnitt nach Bild 13 auftreten. In beiden Fällen gilt die Festigkeitsbedingung nach Gleichung (33), wobei die in den diesbezüglichen Bildern dargestellten Flächen A_p , A_{fs} und A_{fb} für die Berechnung zu verwenden sind. Die mittragenden Längen der Verstärkungsscheibe (effektive Längen) dürfen nur bei der Berechnung des Mantels nach Gleichung (18) oder bei der Berechnung der Abzweigverbindung nach Gleichung (19) bzw. (20) eingesetzt werden.

Die Wanddicke des Abzweigs e_{rb} darf die Wanddicke des Mantels e_{rs} nicht überschreiten.

8.3.4 Auslegung von benachbarten Ausschnitten und Abzweigverbindungen

8.3.4.1 Allgemeines

Benachbarte Ausschnitte sind zusätzlich wie Einzelausschnitte zu berechnen.

8.3.4.2 Bedingung für benachbarte Ausschnitte und Abzweige

Diese Berechnung muss nur dann durchgeführt werden, falls die Bedingung für Einzelausschnitte oder Abzweige nach 8.1.3 nicht erfüllt ist.

8.3.4.3 Mantel mit kleinerer zulässiger Spannung als die Abzweige

Für benachbarte Ausschnitte oder Abzweigverbindungen muss die Festigkeit für einen Querschnitt mit einem Winkel ϕ für den Mantel nach Bild 14 durchgeführt werden. Die Festigkeitsbedingung nach Gleichung (41) muss erfüllt sein:

$$f_{a\phi} = \frac{p_c}{2} \frac{2A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \phi}{2} + 2A_{p1} + 2A_{p2}}{A_{fs0} + A_{fb1} + A_{fb2}} + \frac{p_c}{2} \leq f_s \quad (41)$$

Diagonal oder auf den Umfang verteilte Ausschnitte sind zu berechnen wie über die Länge verteilte Ausschnitte nach Bild 14 mit einem Abstand P_ϕ . In diesem Fall wird die drucktragende Fläche $2A_{p0}$ korrigiert durch den Faktor $((1 + \cos^2 \phi)/2)$ in der Festigkeitsbedingung nach Gleichung (44).

Die Verschwächung muss Folgendem entsprechen:

$$v_m = \frac{d_{is}}{e_{rs}} \frac{A_{fs0} + A_{fb1} + A_{fb2}}{2A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \phi}{2} + 2A_{p1} + 2A_{p2}} \leq 1 \quad (42)$$

ANMERKUNG Statt dieser Berechnung kann die Berechnung im Näherungsverfahren nach 8.2 durchgeführt werden; in diesem Fall sollte der Verstärkungseffekt durch die Stutzen nicht berücksichtigt werden.

8.3.4.4 Abzweige mit gleicher oder kleinerer zulässiger Spannung als der Mantel

Ist die zulässige Spannung von einem oder beiden Abzweig(en) kleiner als die des Mantels, muss die Bedingung nach Gleichung (43) erfüllt sein:

$$f_{a\Phi} = \frac{p_c}{2} \frac{2A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} + 2A_{p1} + 2A_{p2} + A_{fs0} + A_{fb1} + A_{fb2}}{A_{fs0} + \frac{f_{b1}}{f_s} A_{fb1} + \frac{f_{b2}}{f_s} A_{fb2}} \leq f_s \quad (43)$$

In diesem Fall gilt für die Verschwächung:

$$v_m = \frac{d_{is}}{e_{rs}} \frac{A_{fs0} + \frac{f_{b1}}{f_s} A_{fb1} + \frac{f_{b2}}{f_s} A_{fb2}}{2A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} + 2A_{p1} + 2A_{p2} + A_{fb1} + A_{fb2} - \frac{f_{b1}}{f_s} A_{fb1} - \frac{f_{b2}}{f_s} A_{fb2}} \leq 1 \quad (44)$$

ANMERKUNG Statt dieser Berechnung kann die Berechnung im Näherungsverfahren nach 8.2 durchgeführt werden; in diesem Fall sollte der Verstärkungseffekt durch die Stützen nicht berücksichtigt werden.

8.3.4.5 Benachbarte Abzweige in Umfangsrichtung

Für nicht radiale benachbarte Abzweige in Umfangsrichtung nach Bild 15 muss die Berechnung analog zu der für radiale Abzweige durchgeführt werden. In diesem Fall ist der Korrekturfaktor $((1 + \cos^2 \Phi)/2)$ durch den Faktor 1 zu ersetzen.

9 Böden

9.1 Unverankerte gewölbte Böden ohne Ausschnitte

ANMERKUNG Im Fall von unverankerten gewölbten Böden ohne Ausschnitte, siehe EN 12952-3:2011, 10.2.

9.1.1 Unverankerte gewölbte Böden unter innerem Überdruck

Die Mindestwanddicke von unverankerten gewölbten Böden ohne Ausschnitte muss den Anforderungen der Gleichungen (45) und (46) entsprechen:

$$e_s = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad (45)$$

$$e_{cs} = \frac{p_c d_o C}{2f} \quad (46)$$

Zusätzlich darf die Wanddicke eines Klöpperbodens nicht kleiner als die nach Gleichung (47) berechnete Wanddicke sein:

$$e_{cs} = \frac{p_c r_{is}}{2f - 0,5p_c} \quad (47)$$

Der Berechnungsbeiwert C für unverankerte gewölbte Böden ohne Ausschnitte ist nach Bild 16 zu bestimmen. Es gelten jedoch die in 9.1.2 aufgeführten Randbedingungen.