

	Großwasserraumkessel Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile Deutsche Fassung EN 12953-3:2002	DIN EN 12953-3
ICS 27.060.30; 27.100 Shell boilers — Part 3: Design and calculation for pressure parts; German version EN 12953-3:2002 Chaudières à tubes de fumée — Partie 3: Conception et calcul des parties sous pression de la chaudière; Version allemande EN 12953-3:2002 Die Europäische Norm EN 12953-3:2002 hat den Status einer Deutschen Norm. Nationales Vorwort Diese Deutsche Norm enthält die Deutsche Fassung der Europäischen Norm EN 12953-3:2002 „Großwasserraumkessel — Teil 3: Konstruktion und Berechnung für drucktragende Teile“. Die Europäische Norm wurde vom CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“ erarbeitet. Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss eingesetzte Arbeitsausschuss GA 269 „Dampfkessel“ des Normenausschusses Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD). Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm. Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm. Fortsetzung 91 Seiten EN Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.		

— Leerseite —

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 15. Mai 2002 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	5
5 Allgemeines	5
5.1 Dampfkessel.....	5
5.2 Heißwassererzeuger.....	6
5.3 Auslegung der Hauptschweißnähte.....	6
5.4 Thermische Auslegung der Flammrohre.....	6
5.5 Abmessungen von drucktragenden Teilen.....	7
5.6 Festlegung von Drücken.....	8
5.7 Zuschläge.....	8
6 Berechnungstemperatur und zulässige Spannung	9
6.1 Berechnungstemperatur.....	9
6.2 Zulässige Spannung.....	10
7 Zylindrische Schalen unter Innendruck	10
7.1 Wanddicke.....	10
7.2 Grundlegende Berechnung.....	11
7.3 Kesselunterstützungen.....	11
7.4 Verstärkungsscheiben.....	11
8 Ausschnitte und Abzweigungen in zylindrischen Mänteln	11
8.1 Allgemeines.....	11
8.2 Verschwächungsbeiwert, näherungsweise Berechnung und maximaler Durchmesser eines unverstärkten Ausschnittes.....	17
8.3 Auslegung von Ausschnitten und Abzweigen in Zylinderschalen (Verschwächungsbeiwert und Ausschnittsverstärkung).....	19
9 Böden	26
9.1 Unverankerte gewölbte Böden ohne Ausschnitte.....	26
9.2 Unverankerte ebene abnehmbare Verschlüsse.....	28
9.3 Flanschverbindungen.....	31
10 Unterstützte ebene Böden, Verankerungen und Versteifungen	31
10.1 Der lichte Abstand (Ausdehnungsräume).....	31
10.2 Verankerte ebene Wandungen.....	33
11 Berechnung von Einzelausschnitten in ebenen Böden von Großwasserraumkesseln	52
11.1 Unverstärkte Einzelausschnitte.....	52
11.2 Ausschnitte mit Abzweigen.....	52
11.3 Mann-, Kopf- und Handlöcher.....	54
12 Rohre ohne Ausschnitte und Rohrplatten	54
12.1 Wanddicke gerader Rohre unter äußerem Überdruck.....	54
12.2 Wanddicke von geraden Rohren unter innerem Überdruck.....	55
12.3 Wanddicke und Unrundheit von Krümmern und Rohrbögen.....	55
12.4 Ankerrohre.....	57
12.5 Rauchrohre.....	58
12.6 Rohrteilung.....	59
12.7 Wanddicke von Rohrplatten innerhalb von Rohrbündeln.....	59
13 Flammrohre, Flammrohrkomponenten und zylindrische Wendekammern unter äußerem Überdruck	59
13.1 Flammrohre.....	59
13.2 Berechnungslänge von zusammengesetzten Flammrohren.....	61
13.3 Flammrohrtoleranzen.....	61
13.4 Versteifungen.....	62

	Seite
14	Befahr- und Besichtigungsöffnungen 65
14.1	Allgemeine Anforderungen 65
14.2	Arten und Mindestabmessungen von Befahr- und Besichtigungsöffnungen.....65
14.3	Mindestauflagebreite einer Dichtung und Spielraum für die Führung von Befahr- und Besichtigungsöffnungen.....69
14.4	Befahr- und Besichtigungsöffnungen in ebenen Platten 69
14.5	Anforderungen für Prüfung 69
14.6	Anforderungen an die Befahrbarkeit bei Kesseln mit einem Außendurchmesser größer als 1 400 mm 70
14.7	Zugänglichkeit und Anordnung von Befahr- und Besichtigungsöffnungen 70
Anhang A (normativ)	Berechnung der Rohrbodentemperatur 71
Anhang B (informativ)	Berechnungs-Formblatt für Kurvenabschnitte oder Wellen für „Walker“-Typ 88
Anhang ZA (informativ)	Abschnitte in dieser Europäischen Norm, die grundlegende Sicherheitsanforderungen oder andere Vorgaben von Druckgeräte-Richtlinie betreffen 90
Literaturhinweise	91

Vorwort

Dieses Dokument (EN 12953-3:2002) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 269 „Großwasserraum- und Wasserrohrkessel“, dessen Sekretariat vom DIN geführt wird, erarbeitet.

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen eines Mandates, das dem CEN von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde, erarbeitet und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie(n).

Für den Zusammenhang mit EU-Richtlinie(n) siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieser Europäischen Norm ist.

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

Die Europäische Norm 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 Kesseln 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.

Die Anhänge A und B dieser Europäischen Norm sind informativ.

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

1 Anwendungsbereich

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

2 Normative Verweisungen

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

EN 12953-1:2002, *Großwasserraumkessel — Teil 1: Allgemeines*.

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

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

EN 12953-5:2002, *Großwasserraumkessel — Teil 5: Prüfung während der Herstellung; Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile*.

EN 12953-8, *Großwasserraumkessel — Teil 8: Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung*.

prEN 12953-10, *Großwasserraumkessel — Teil 10: Anforderungen an die Speisewasser- und Kesselwasserqualität*.

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe in EN 12953-1.

4 Symbole und Abkürzungen

Im Sinne dieser Norm gelten die angegebenen Symbole wie in EN 12953-1:2002, Tabelle 4-1 angegeben. In der Norm sind, wo erforderlich, zusätzliche Terminologie und Symbole aufgenommen worden, um die Anforderungen des spezifischen betroffenen Textes zu erfüllen. Es sollte ebenfalls angemerkt werden, dass in einigen Abschnitten das gleiche Symbol in verschiedenen Gleichungen für verschiedene Begriffe verwendet wird. Jedoch 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 Dampfkessel, die vollständig nach den in der Norm vorgeschriebenen Bedingungen hergestellt und unter normalen Betriebsbedingungen, mit Speise- und Kesselwasser nach prEN 12953-10, unter angemessener Überwachung betrieben werden. Wird ein Risiko für anormale Betriebsbedingungen gesehen, wie z. B. strenger zyklischer Betrieb muss dies bei der Auslegung besonders berücksichtigt werden.

5.2 Heißwassererzeuger

Bei direkt beheizten Heißwassererzeugern sollte die Differenz zwischen der Wasservorlauftemperatur (am Austritt) und der Wasserrücklauftemperatur (am Eintritt) 50 K nicht überschreiten. Beträgt die Differenz zwischen 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 Sättigungstemperatur und der Eintrittstemperatur darf 80 K nicht überschreiten. Bei Temperaturunterschieden über 80 K sind die Abstände nach 10.1 um 50 % zu erhöhen. Zusätzlich ist die maximale Wärmeleistung nach Bild 5.4-1 um 20 % zu reduzieren.

Das Rücklaufwasser darf beim Eintritt in den Kessel nicht direkt auf das Flammrohr einwirken.

5.3 Auslegung der Hauptschweißnähte

Die Arten der beim Bau des Kessels verwendeten Schweißnähte müssen mit EN 12953-4 übereinstimmen. Schweißnähte, die einer zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) nach den Anforderungen nach EN 12953-5 unterzogen werden, müssen so ausgeführt sein, dass die erforderlichen Prüfungen durchgeführt werden können.

Der Wert des Schweißnahtfaktors ν , der bei der Berechnung der Mantelwanddicke verwendet wird, muss entweder 0,85 oder 1,0 betragen je nach Umfang der durchzuführenden ZfP (siehe 7.2 und EN 12953-5).

5.4 Thermische Auslegung der Flammrohre

Zur Gewährleistung sicherer Brenner-/Dampfkesselkombinationen darf die Feuerungswärmeleistung für einen gegebenen Flammrohrdurchmesser den in Bild 5.4-1 angegebenen Wert nicht überschreiten. Brenner mit konstanter Feuerungsleistung (Einstufenbrenner) dürfen nicht bei einer Wärmeleistung über 1 MW pro Flammrohr verwendet werden. Die Verbrennung muss im Flammrohr abgeschlossen sein.

ANMERKUNG Beispiele 1 und 2 zeigen die Anwendung von Bild 5.4-1.

BEISPIEL 1 Geforderter Flammrohrinnendurchmesser für eine festgelegte Wärmeleistung

Öldurchfluss: 0,1 kg/s
Nettobrennwert: 42,9 MJ/kg
Luftdurchfluss (mit Luftüberschuss von 15 %): 1,76 kg/s
Lufttemperatur (mit Luftvorwärmer): 120 °C
Wärmeleistung: $4\,290 + 214 = 4\,504$ kW
Flammrohrstahl: P295 GH

- a) Mindestinnendurchmesser der glatten Flammrohre: 810 mm
- b) Fox 150 × 50 (Tabelle 13.1-1) Wellflamrohrinnendurchmesser: 760 mm.

BEISPIEL 2 Mögliche Wärmeleistung für einen festgelegten Flammrohrinnendurchmesser

a) glatter Flammrohrinnendurchmesser: 1 500 mm

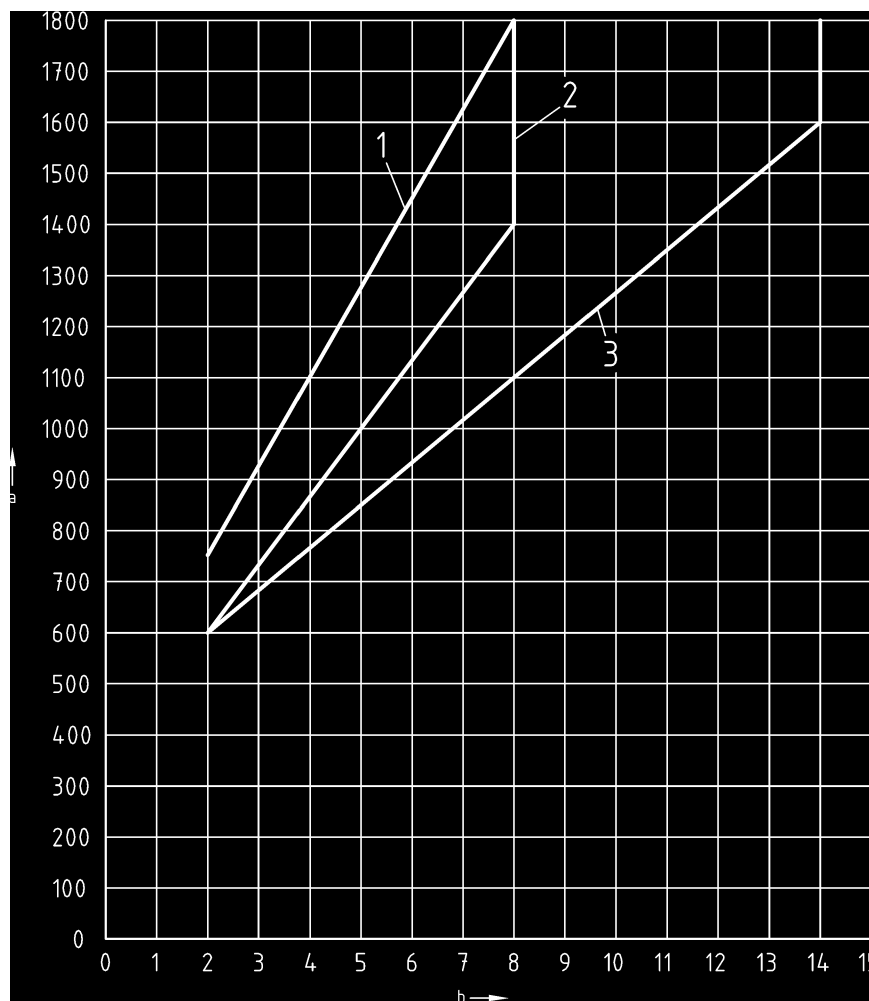
- P295 GH, Ölfeuerung: 12,90 MW
- P295 GH, Gasfeuerung: 16,77 MW
- P265 GH, Ölfeuerung: 8,00 MW
- P265 GH, Gasfeuerung: 10,40 MW

b) Fox 150 × 50 (Tabelle 13.1-1) Wellflamrohrinnendurchmesser 1 000 mm

- P265 GH, Gasfeuerung: 7,02 MW

Die Länge der feuerfesten Auskleidung sollte, gemessen vom Brennerende, nicht mehr als ein Drittel des Flammrohrinnendurchmessers betragen.

ANMERKUNG Es wird auf nationale Vorschriften aufmerksam gemacht, dass für Kesseln mit einem Flammrohrinnendurchmesser größer als 1 400 mm oder einer Wärmeleistung größer als 12 MW ein Temperaturmesssystem mit mindestens drei Messpunkten im Flammrohr erforderlich sein kann.



Legende

- 1 Kohlefeuerung (Rost) P 295 GH
- 2 Ölfeuerung P 265 GH
- 3 Ölfeuerung of P 295 GH, P 355 GH

- a Minstdurchmesser für Flammrohre in mm
- b Wärmeleistung in MW

ANMERKUNG 1 Bei gewellten Flammrohren kann der Minstdurchmesser für Flammrohre d_i um die Welltiefe reduziert werden.

ANMERKUNG 2 Bei Gasfeuerung kann die für Ölfeuerungen angegebene Wärmeleistung um 30 % vergrößert werden.

ANMERKUNG 3 Die Wärmeleistung ist das Produkt aus Brennstoffdurchflussmenge und dem unteren Brennwert. Eine Luftvorwärmung muss berücksichtigt werden, falls die Lufttemperatur größer als 100 °C ist.

Bild 5.4.1 — Beziehung zwischen Wärmeleistung und Flammrohrinnendurchmesser

5.5 Abmessungen von drucktragenden Teilen

Die Wanddicke und andere Abmessungen von drucktragenden Teilen, die ausreichen müssen, um dem Berechnungsdruck bei Berechnungstemperatur standzuhalten, sind nach diesem Teil festzulegen.

5.6 Festlegung von Drücken

5.6.1 Zulässiger Betriebsdruck

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

5.6.2 Zulässiger Betriebsdruck

Der Berechnungsdruck darf nicht kleiner sein als die Summe von zulässigem Betriebsdruck und hydrostatischem Druck. Beträgt der hydrostatische Druck weniger als 3 % des maximal zulässigen Betriebsdruckes braucht dessen Wirkung nicht berücksichtigt werden.

5.6.3 Ansprechdruck

Der Ansprechdruck des/der Sicherheitsventils(e) darf den zulässigen Betriebsdruck nicht überschreiten (siehe auch EN 12953-8).

5.6.4 Hydrostatischer Prüfdruck

Der standardmäßige hydrostatische Prüfdruck soll nicht kleiner als der größere aus den folgenden Gleichungen erhaltene sein:

$$p_t = 1,25 p_d \frac{R_{p0,2\ 20}}{R_{p0,2\ tc}} \quad (5.6-1)$$

oder

$$p_t = 1,43 p_d \quad (5.6-2)$$

dabei ist

$R_{p0,2\ 20}$ der Mindestwert der Zugfestigkeit bei 20 °C

Der Wert für $R_{p0,2\ tc}$ soll für die Kesselwand oder den Kesselboden bei deren Berechnungstemperatur genommen werden.

Im Fall von Kesseln mit eingewalzten Rohren darf der Wert für $p_t = 1,43 p_d$ genommen werden.

5.7 Zuschläge

5.7.1 Zuschläge für Herstellungstoleranzen

Der Zuschlag c_1 muss eine negative Toleranz und eine Wanddickenverringerung durch den Umformvorgang ausgleichen.

5.7.2 Korrosionszuschlag

Für die Auslegung schließt der Korrosionszuschlag c_2 auch eine Erosion und Abrasion ein, falls diese auftreten können.

Für Bauteile mit einer Wanddicke:

> 30 mm und für alle flachen Bauteile darf ein Korrosionszuschlag von 0 mm eingesetzt werden.

≤ 30 mm ist mindestens ein Korrosionszuschlag von 0,75 mm einzusetzen.

Im Fall starker Korrosionsbedingungen ist ein entsprechend erhöhter Betrag c_2 zu wählen.

6 Berechnungstemperatur und zulässige Spannung

6.1 Berechnungstemperatur

Die Berechnungstemperatur t_c ist die mittlere Metalltemperatur. Sie ist zu bestimmen wie in den Aufzählungen a) bis e) beschrieben.

- a) Für Kesselmäntel, Trommeln und andere Komponenten, die nicht zum Zweck der Wärmeübertragung konstruiert wurden, darf die Berechnungstemperatur nicht kleiner sein als die Sättigungstemperatur entsprechend dem zulässigen Betriebsdruck bzw. der maximal zulässigen Betriebstemperatur.
- b) Für Rauchrohre ist als Berechnungstemperatur der größere Wert aus den folgenden Gleichungen bestimmend:

$$t_c = t_s + 2e_t \quad (6.1-1)$$

oder

$$t_c = t_s + 25 \quad (6.1-2)$$

- c) Als Berechnungstemperatur für ebene Platten, die Wärme übertragen, jedoch nicht von der Flamme berührt sind oder für Rohrfelder, bei denen die Gaseintrittstemperatur nicht größer als 800 °C ist, ist der größere der beiden folgenden Werte einzusetzen:

$$t_c = t_s + 2e_h \quad (6.1-3)$$

oder

$$t_c = t_s + 50 \quad (6.1-4)$$

Die Berechnungstemperatur für unbeheizte Wände im Rauchgasweg mit einer Rauchgastemperatur $t_G < 400$ °C beträgt:

$$t_c = t_s + 20 \quad (6.1-5)$$

- d) Für Rohrplatten, die einer Gaseintrittstemperatur von mehr als 800 °C ausgesetzt sind, in Kesseln, die mit fossilen Brennstoffen, einschließlich Erdgas befeuert sind, ist die Berechnungstemperatur im Einklang mit Anhang A zu bestimmen, wobei die wirkliche Gaseintrittstemperatur t_G mit der folgenden Gleichung zu bestimmen ist:

$$t_G = 51 \left(\frac{H}{A} \right)^{0,25} \quad (6.1-6)$$

Bei Brennstoffen, bei denen die wirkliche Gaseintrittstemperatur höher ist als diejenige, die mit Erdgas erreicht würde, und für Abhitzekeessel ist die Berechnungstemperatur entsprechend Anhang A zu bestimmen.

Die maximale Metalltemperatur — entsprechend Anhang A bestimmt — darf nicht über 420 °C liegen.

Die Bedingung für die Berechnung entsprechend Anhang A ist ein guter Kontakt zwischen Rauchrohren und Rohrplatte. Wenn dies nicht sichergestellt werden kann, kann das Verfahren zur Verbindung wie in Bild 12.4-1f benutzt werden mit den folgenden Grenzen:

- 1) Die Tiefe der Schweißverbindung zwischen Rauchrohren und Rohrplatte soll größer oder gleich der Wanddicke der Rauchrohre plus 2 mm sein.
- 2) Die Länge des Spaltes, gemessen von der Schweißwurzel, muss kleiner oder gleich viermal Wanddicke des Rauchrohres sein. Wenn diese Abmessung überschritten wird, ist eine Kühlrinne anzubringen.

Wenn die obigen Bedingungen erfüllt sind, ist die Berechnungstemperatur entsprechend Gleichung (6.1-4) zu bestimmen.

Bei Niederdruckkesseln ist die Berechnungstemperatur für ebene Wände, die einer Rauchgastemperatur größer als 800 °C ausgesetzt sind, nach Gleichung (6.1-4) zu bestimmen.

e) Die Berechnungstemperatur für Flammrohre ist entsprechend folgenden Gleichungen zu bestimmen:

1) Im Falle von Flammrohren, die einer Flamme ausgesetzt sind mit einer Wärmeleistung ≤ 12 MW:

$$t_c = t_s + 4e + 15 \quad (6.1-7)$$

mit einem Minimum von 250 °C bzw. 200 °C für Niederdruckkessel.

2) Im Falle von Flammrohren, die einer Flamme ausgesetzt sind mit einer Wärmeleistung > 12 MW:

bei Ölfeuerung

$$t_c = t_s + 3,5e + 80 \quad (6.1-8)$$

bei Gasfeuerung

$$t_c = t_s + 3e + 65 \quad (6.1-9)$$

mit einem Minimum von 250 °C bzw. 200 °C für Niederdruckkessel.

ANMERKUNG Gleichungen (6.1-8) und (6.1-9) basieren auf einer maximalen Wärmestromdichte von 0,3 W/mm² bei Ölfeuerung und 0,24 W/mm² bei Gasfeuerung. Dabei wurde ein Belag von 0,25 mm Dicke mit einer Wärmeleitfähigkeit von 1,2 W/m K in Rechnung gestellt.

Wenn nachgewiesen werden kann, dass die Wärmestromdichte kleiner ist, z. B. bei NO_x-armer-Feuerung, können die Berechnungen entsprechend angepasst werden. Der Wert von t_c darf jedoch nicht kleiner sein als nach Gleichung (6.1-7).

3) Im Falle von Flammrohren ohne Flamme ist als Berechnungstemperatur t_c der größere der beiden folgenden Werte zu benutzen:

$$t_c = t_s + 25 \quad (6.1-10)$$

$$t_c = t_s + 2e \quad (6.1-11)$$

6.2 Zulässige Spannung

Sofern keine anderen Festlegungen in dieser Norm getroffen werden, ist die zulässige Spannung f der kleinere der beiden folgenden Werte:

$$f = \min \left\{ \frac{R_{p0,2} t_c}{1,5}, \frac{R_m}{2,4} \right\} \quad (6.1-12)$$

ANMERKUNG Der Begriff "zulässige Spannung", bezeichnet mit dem Symbol f , ist diejenige Spannung, die in den Gleichungen für die Auslegung der Druckteile zu benutzen ist. Mit den detaillierten Auslegungsregeln in diesem Teil der Norm werden die tatsächlich vorhandenen maximalen Spannungen innerhalb annehmbarer Grenzen für die jeweils betrachtete Beanspruchung abgedeckt.

7 Zylindrische Schalen unter Innendruck

7.1 Wanddicke

7.1.1 Anforderungen

Die Wanddicke zylindrischer Bauteile nach Abzug aller Zuschläge

$$e_{rs} = e_s - c_1 - c_2 \quad (7.1-1)$$

muss mindestens das Maximum der folgenden Werte betragen:

a) Mindestens 6 mm bei Zylinderschalen mit Außendurchmesser größer oder gleich 1 000 mm außer bei Niederdruckkesseln, mindestens 4 mm bei Zylinderschalen mit Außendurchmesser kleiner als 1 000 mm und für Niederdruckkessel.

b) Die Anforderungen von 7.2;

c) Die Anforderungen von 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 ist zu berechnen mittels:

$$e_{sa} = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad (7.1-2)$$

7.2 Grundlegende Berechnung

Die erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge e_{cs} einer zylindrischen Schale ist zu berechnen mittels einer der beiden folgenden Gleichungen:

$$e_{cs} = \frac{p_c d_{is}}{(2 f_s - p_c) v} \quad (7.2-1)$$

wenn d_{is} gegeben ist oder

$$e_{cs} = \frac{p_c d_{os}}{(2 f_s - p_c) v + 2 p_c} \quad (7.2-2)$$

wenn d_{os} gegeben ist.

Die Vergleichspannung im Grundkörper kann durch Umformung der Gleichung (7.2-1) oder (7.2-2) berechnet werden.

7.3 Kesselunterstützungen

Die Erfahrung hat gezeigt, dass es nicht notwendig ist, Festigkeitsberechnungen für Kesselunterstützungen auszuführen, da Ermüdung normalerweise in diesem Bereich nicht auftritt.

7.4 Verstärkungsscheiben

Verstärkungsscheiben können für die Verstärkung von Ausschnitten und Abzweigen sowie für die Verteilung von Lasten an Unterstützungen und Befestigungsteilen verwendet werden. Diese Verstärkungsscheiben sind analog den Anforderungen nach 8.1.5.1 zu konstruieren.

8 Ausschnitte und Abzweigungen in zylindrischen Mänteln

ANMERKUNG Dieser Abschnitt beschreibt die Auslegungsregeln für Ausschnitte und Abzweige in zylindrischen Mänteln. Alle Abmessungen gelten ohne Zuschläge für c_1 und c_2 .

8.1 Allgemeines

8.1.1 Anforderungen für die Verschwächung des Grundkörpers durch Ausschnitte und Abzweigungen

8.1.1.1 Bei zylindrischen Mänteln mit Ausschnitten kann die Verschwächung des Grundkörpers wie folgt ausgeglichen werden:

- durch Vergrößerung der Wanddicke des Grundkörpers verglichen mit der eines zylindrischen Mantels ohne Ausschnitte. Diese Wanddicke muss mindestens bis zu einer Länge l_{rs} gemessen vom Rand des Ausschnittes, vorhanden sein; siehe (Bild 8.1-1; und für l_{rs} siehe 8.1.2). Bei Abzweigen muss die zylindrische Länge des Grundkörpers bis zu jeder benachbarten Stumpfnah $l_{so} \leq e_{rs}$ sein, (siehe Bilder 8.1-2 und 8.1-3).
- durch Abzweige, gemessen auf einer Länge l_{b1} von der äußeren Oberfläche der Grundkörperwand, welche eine größere Wanddicke als diejenige haben, die für den reinen Innendruck notwendig wäre, mit oder ohne gleichzeitiger Anhebung der Wanddicke des Grundkörpers; (siehe Bilder 8.1-2 und -3). Die Schweißverbindung zwischen dem Grundkörper und dem Abzweig muss volltragend sein, wobei im Falle von Abzweigen entsprechend Bild 8.1-3 ein Restspalt $\leq 1,5$ mm erlaubt ist. Ein Wanddickenverhältnis von e_{rb}/e_{rs} bis und inklusive 2 ist erlaubt für $d_{ib} > 50$ mm. Dies gilt auch für Abzweige mit $d_{ib} > 50$ mm, wenn das Durchmesserverhältnis $d_{ib}/d_{is} \leq 0,2$ ist. Für Abzweige mit $d_{ib} > 50$ mm und einem Durchmesserverhältnis $d_{ib}/d_{is} > 0,2$, darf das Verhältnis e_{rb}/e_{rs} den Wert 1 nicht überschreiten. Diese Bedingungen gelten nicht für Befahr- und Besichtigungsöffnungen.

Bei eingewalzten oder eingesetzten und dichtgeschweißten Abzweigen wie in Bild 8.1-1 oder bei Abzweigen, die mit einer Kehlnaht mit dem Grundkörper verbunden sind mit einem Restspalt $> 1,5$ mm können die Abzweige nicht als verstärkend betrachtet werden.

Die zylindrische Länge von Abzweigen bis zur Stumpfnah zwischen Rohr und Abweig muss $l_{bo} \geq e_{rb}$ (siehe Bilder 8.1-2 und 8.1-3).

Abzweige mit $d_{ib}/d_{is} \geq 0,7$ sind nach 8.3.3.4 zu behandeln.

Im allgemeinen ist besonderer Wert auf sanfte Wanddickenübergänge zu legen. Wanddickenübergänge müssen mit einem Winkel $\leq 30^\circ$ ausgeführt werden (siehe Bild 8.1-2). Die Verstärkung von Ausschnitten durch innen aufgeschweißte Platten oder Scheiben ist nicht erlaubt.

- c) Verstärkung durch Verstärkungsscheiben zur Vergrößerung der Wanddicke wie in a) von 8.1.1.1 festgelegt; (siehe Bilder 8.1-4 und 8.1-5).

8.1.1.2 Im Falle von elliptischen Ausschnitten für Zugang und Inspektion darf das Verhältnis von großer zu kleiner Achse den Wert von 1,5 nicht übersteigen. Bei elliptischen oder unrunder Ausschnitten in zylindrischen Mänteln ist die Abmessung in Richtung der Mantellinie als Durchmesser für die Auslegung zu benutzen. (Für schräge Abzweige siehe 8.3.3.3).

Für die Berechnungsverfahren wird vorausgesetzt, dass die Übergänge eine weitgehend kerbfreie Oberfläche besitzen¹⁾. Kanten sind zu runden.

Ausschnitte müssen mit einem angemessenen Abstand von den Schweißnähten (Längs- und Rundnähte) des Grundkörpers angeordnet werden. Der Abstand ist angemessen, wenn die Außenseite eines Abzweiges oder einer aufgeschweißten Verstärkung auf einem Grundkörper mit einer Wanddicke $e_{rs} \leq 25$ mm einen Abstand von $2 e_{rs}$ hat und bei einem Grundkörper mit einer Wanddicke $e_{rs} > 25$ mm einen Abstand von mindestens 50 mm vom Rand der Schweißnaht hat.

8.1.2 Mittragende Längen l_{rs} zur Berechnung von Verschwächungsbeiwerten und Ausgleichsflächen

Zur Berechnung von Verschwächungsbeiwerten durch Näherungsverfahren wie beschrieben in 8.2 und zur Berechnung von einzelnen und benachbarten Abzweigen wie beschrieben in 8.3 werden mittragende Längen l_{rs} für den Grundkörper benötigt.

$$l_{rs} = \min \left[\sqrt{(d_{is} + e_{rs})e_{rs}}; l_{s1} \right] \quad (8.1-1)$$

zu l_{s1} siehe Bilder 8.1-1 bis -3.

und für Stutzen mit $\Psi \geq 45^\circ$

für den Teil außerhalb des Grundkörpers

$$l_{rb} = \min \left[\sqrt{(d_{ib} + e_{rb})e_{rb}}; l_{b1} \right] \quad (8.1-2)$$

für den Teil innerhalb des Grundkörpers

$$l_{rbi} = \min \left[0,5 \sqrt{(d_{ib} + e_{rb})e_{rb}}; l_{b2} \right] \quad (8.1-3)$$

1) Schweißnähte gelten als weitgehend kerbfrei, wenn sie frei von Einbrand- und Wurzelkerben sind und innerhalb der in EN 12953-5 genannten Grenzwerte liegen.

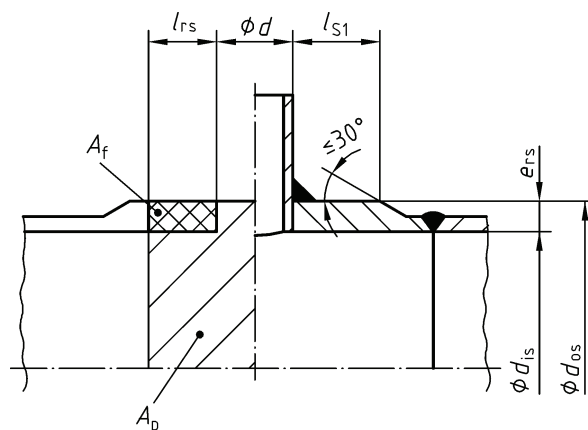


Bild 8.1.1 — Verstärkung durch Vergrößerung der Wanddicke des Grundkörpers mit Ausschnitt

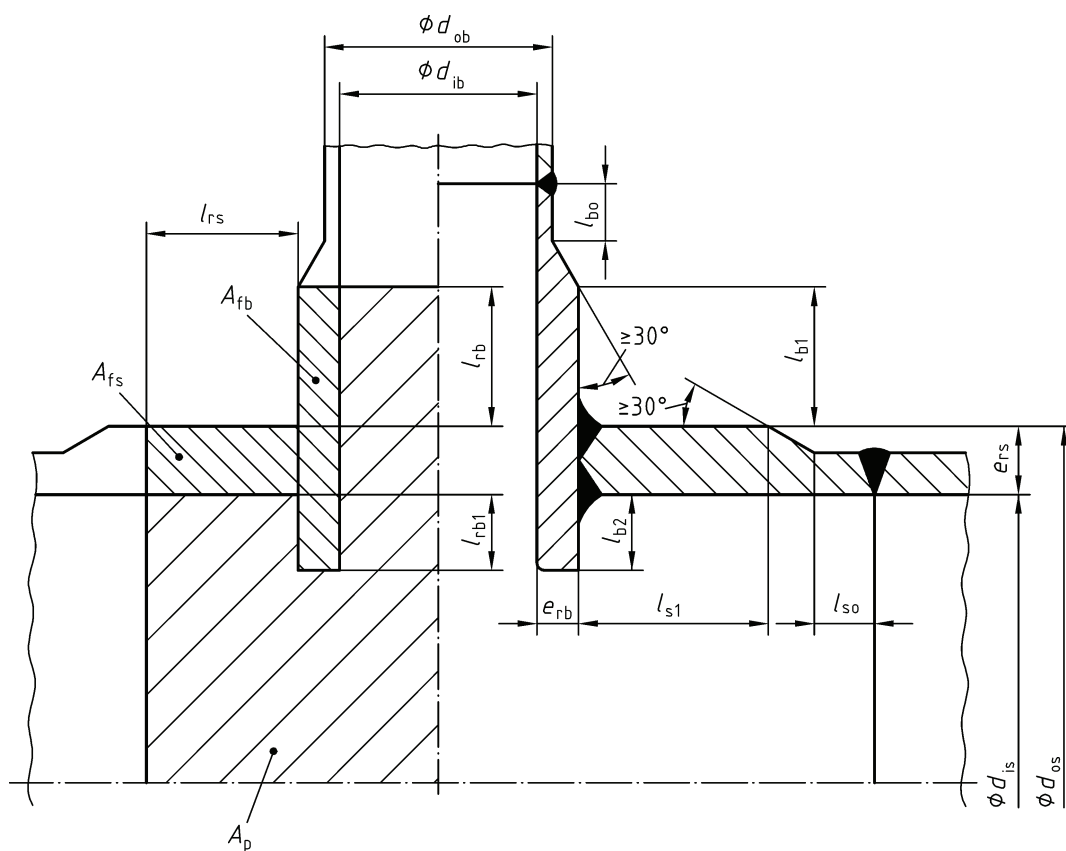


Bild 8.1.2 — Verstärkung mittels durchgestecktem und voll durchgeschweißtem Abzweig

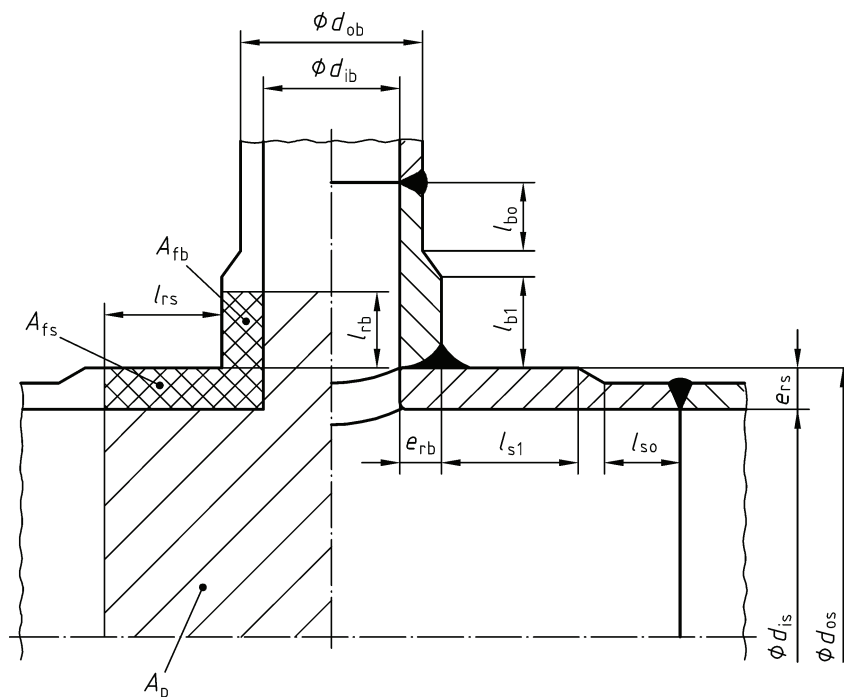


Bild 8.1.3 — Verstärkung durch aufgeschweißten Abzweig

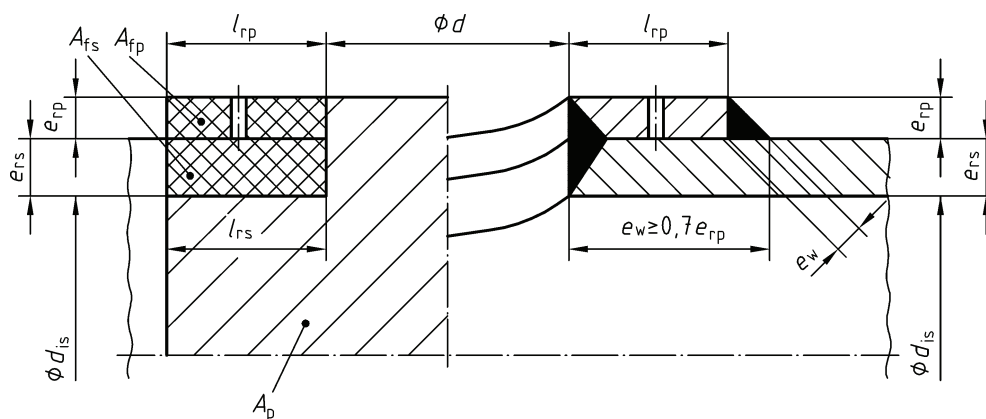


Bild 8.1.4 — Ausschnitt mit Verstärkungsscheibe

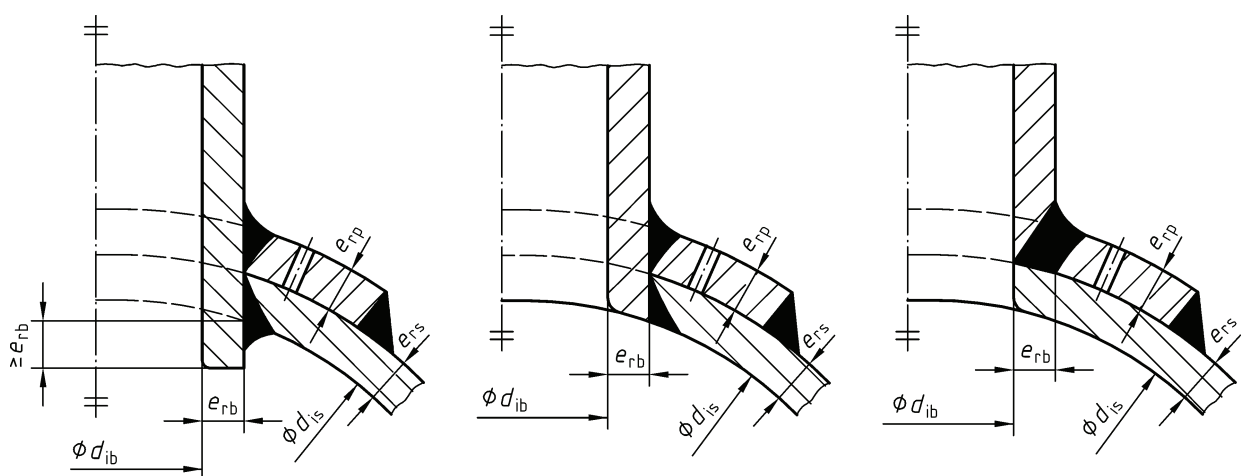


Bild 8.1.5 — Ausschnitt mit Verstärkungsscheibe und vollverschweißtem Abzweig

8.1.3 Bedingung für einzelne Ausschnitte

Benachbarte Ausschnitte müssen wie Einzelausschnitte behandelt werden, wenn für den Mittenabstand P_ϕ entsprechend Bild 8.3-3 die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$P_\phi \geq \frac{\left(\frac{d_{ib1}}{2} + e_{rb1}\right)}{\cos \Psi_1} + \frac{\left(\frac{d_{ib2}}{2} + e_{rb2}\right)}{\cos \Psi} + 2\sqrt{(d_{is} + e_{rs})} e_{rs} \quad (8.1-4)$$

Für Ausschnitte ohne Abzweige ist $e_{rb} = 0$ und $\Psi = 0^\circ$ einzusetzen (für Ψ siehe Bild 8.3-1).

8.1.4 Anforderungen an die Konstruktion von Abzweigen

1.1.1.1 Grundkörper mit einer geringeren zulässigen Spannung als die Abzweigung

Wenn der Grundkörper, der Abzweig und die zusätzliche Verstärkung aus Werkstoffen mit verschiedenen zulässigen Spannungen bestehen, und der Werkstoff des Grundkörpers die niedrigste zulässige Spannung f_s besitzt, so ist dieser Wert für alle Werkstoffe bei der Berechnung der Verstärkung durch den Abzweig zu benutzen.

8.1.4.2 Abzweige oder Verstärkungsscheiben mit geringerer zulässiger Spannung als der Grundkörper

Wenn der Werkstoff des Abzweiges oder des Verstärkungsringes eine geringere zulässige Spannung f_b oder f_p als die zulässige Spannung des Grundkörpers f_s hat, so ist diese zulässige Spannung f_b oder f_p in die Berechnungsgleichungen einzusetzen.

8.1.4.3 Sonderfall

Der Innendurchmesser eines Abzweiges d_{ib} ist in der Berechnung zu benutzen, auch wenn der Lochdurchmesser d im Grundkörper kleiner ist als d_{ib} .

8.1.5 Anforderungen an die Auslegung von Verstärkungsscheiben

8.1.5.1 Allgemeines

Verstärkungsscheiben müssen nach 8.1.1.1 konstruiert werden.

Verstärkungsscheiben müssen engen Kontakt mit dem Grundkörper haben (siehe Bild 8.1-4 und 8.1-5) und müssen mit Entlüftungslöchern versehen sein, um das Treiben der Gase zu verhindern; es sei denn, die Erfahrung hätte gezeigt, dass dies nicht notwendig ist.

Verstärkungsscheiben dürfen nicht eingesetzt werden, wenn starke Korrosion oder Oxidation zu erwarten ist oder wenn große Temperaturgefälle über die Dicke der Wand zu erwarten sind.

Verstärkungsscheiben an der Innenseite des Behälters sind nicht zulässig.

8.1.5.2 Berücksichtigung des Innendrucks

Wenn Verstärkungsscheiben für die Verstärkung von Bohrungen oder Ausschnitten verwendet werden, sind die folgenden Bedingungen einzuhalten.

- a) das Verhältnis d_{ib}/d_{is} des Abzweigdurchmessers zum Durchmesser des Grundkörpers darf nicht größer als 1/4 sein, es sei denn, die Gleichwertigkeit dieser Konstruktion kann aus der Erfahrung belegt oder mit einem Drucktest bewiesen werden.
- b) die Größe L_i der inneren Kehlnaht mit der die Verstärkungsscheibe mit dem Mantel verbunden ist (siehe Bild 8.1-6) muss der folgenden Bedingung genügen:

$$L_i \geq 0,7 e_{cp}$$

- c) Die Größen L_o der äußeren peripheren Kehlnaht, durch die die Verstärkungsscheibe mit dem Mantel verbunden ist (siehe Bild 6.1-3), muss aus der folgenden Gleichung bestimmt werden. Sie darf in keinem Fall kleiner sein als die Größe der inneren Kehlnaht:

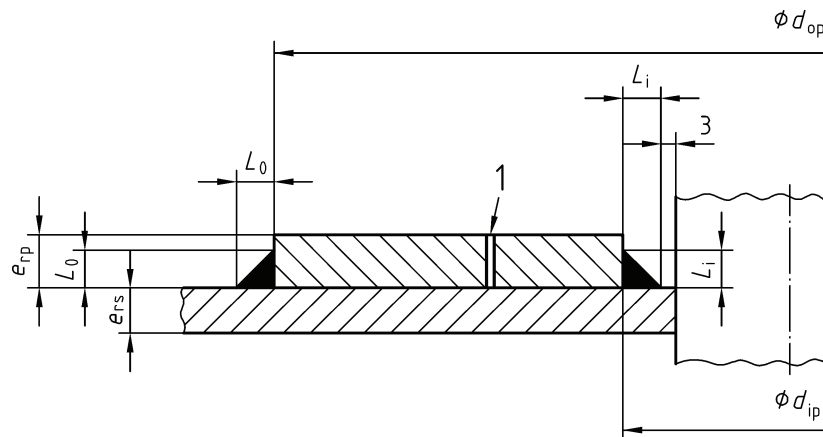
$$L_o = \max \left[\frac{d_{ip} (2 e_{rs} - L_i)}{d_{op}}; L_i \right] \quad (8.1-6)$$

Für elliptische Verstärkungsscheiben.

$$d_{op} = \frac{a_o + b_o}{2} \quad (8.1-7)$$

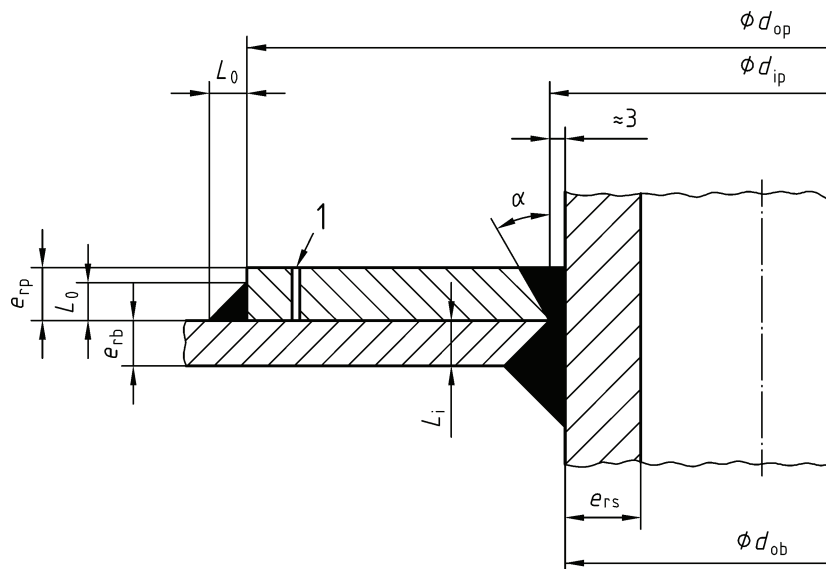
$$d_{ip} = \frac{a_i + b_i}{2} \quad (8.1-8)$$

- d) Für Berechnungszwecke darf die Dicke der Verstärkungsscheibe nicht größer als die Dicke des Mantels gewählt werden.

**Legende**

1 Entlüftungsloch

a)

**Legende**

1 Entlüftungsloch

 $\alpha = 30^\circ$ bis 45°

b)

Bild 8.1.6 — Anschweißen von Verstärkungsblechen**8.2 Verschwächungsbeiwert, näherungsweise Berechnung und maximaler Durchmesser eines unverstärkten Ausschnittes****8.2.1 Allgemeines**

Genaue Lösungen sind durch die Gleichungen in 8.3.3 und 8.3.4 gegeben. Die Anwendung der Gleichungen in 8.2.3 und 8.2.4 außer Gleichung (8.2-3) ist konservativ, da eine Verstärkung durch den Abzweig nicht in Rechnung gestellt wird.

8.2.2 Zulässige Verschwächung und maximaler Durchmesser eines unverstärkten Ausschnittes

Die zulässige Verschwächung v_a kann durch Umstellung der Gleichung (7.2-1) berechnet werden. Für die verfügbare Wanddicke e_{rs} des Grundkörpers wie folgt:

$$v_a = \frac{p_c d_{is}}{(2 f_s - p_c) e_{rs}} \quad (8.2-1)$$

Für diesen Verschwächungsbeiwert erhält man den größten Außendurchmesser d_{ob} eines einzelnen Abzweiges wenn dessen Wanddicke lediglich dem inneren Druck standhalten kann.

$$d_{ob \max} = 2 \left(\frac{l_{rs}}{v_a} - l_{rs} \right) \quad (8.2-2)$$

In diesem Fall ist die mittlere Spannung f_a gleich der zulässigen Spannung f_s des Grundkörpers.

8.2.3 Einzelne Ausschnitte

Die Gleichungen in diesem Unterabschnitt sind nur bei Einzelausschnitten zu verwenden oder falls mehr als ein Ausschnitt vorhanden ist, nur wenn Gleichung (8.1-4) erfüllt ist. Falls mehr als eine Öffnung vorhanden ist und Gleichung (8.1-4) nicht erfüllt ist, ist nach 8.2.4 zu verfahren.

Einzelne unverstärkte Ausschnitte mit Durchmesser d in zylindrischen Schalen sind jedoch erlaubt, wenn sie folgenden Gleichungen genügen:

$$d \leq 0,14 l_{rs} \quad (8.2-3)$$

und

$$e_{rs} \leq 0,1 d_{os} \quad (8.2-4)$$

wobei l_{rs} nach 8.1.2 zu berechnen ist.

Dies gilt ebenso für abgestufte Bohrungen und für nur teilweise durchgehende Löcher, auch dann wenn die Gleichungen (8.2-6) oder (8.2-9) oder die genaueren Berechnungen nach 8.3.3. einen kleineren Durchmesser d fordern als sich aus Gleichung (8.2-3) ergibt.

Wenn ein Rohr mit Außendurchmesser d_{ob} auf einen Ausschnitt gesetzt wird, siehe Bild 8.2-1, und das Rohr aufgrund seiner Wanddicke e_{rb} dem inneren Berechnungsdruck widerstehen kann, ist der Verschwächungsbeiwert v_b dieser Öffnung im Grundkörper zu berechnen mittels

$$v_b = \frac{2 l_{rs}}{(2 l_{rs} + d_{ob})} \quad (8.2-5)$$

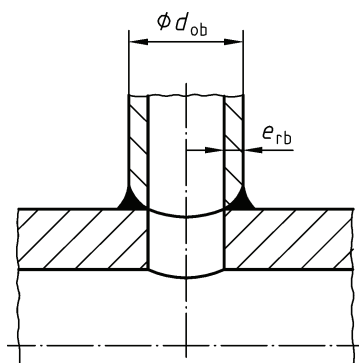


Bild 8.2-1 — Rohr verbunden mit Grundkörper

Wenn der Durchmesser d_{is} und die Wanddicke e_{rs} des Grundkörpers bereits bestimmt sind, ist ein einzelnes Loch für ein Rohr mit einem maximalen Außendurchmesser

$$d_{ob} \leq 2l_{rs} \left[\frac{2e_{rs}}{d_{is}} \left(\frac{f_s}{p_c} - \frac{1}{2} \right) - 1 \right] \quad (8.2-6)$$

erlaubt.

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, so lässt sich der Verschwächungsbeiwert der benachbarten Ausschnitte wie folgt bestimmen:

$$v_m = \frac{2(P_\phi - d_{ob})}{(1 + \cos^2 \phi) P_\phi} \leq 1 \quad (8.2-7)$$

bzw. für eine Längsteilung P_ϕ mit $\phi = 0$:

$$v_m = \frac{P_\phi - d_{ob}}{P_\phi} \quad (8.2-8)$$

Wenn die Außendurchmesser benachbarter Ausschnitte voneinander abweichen, so gilt Folgendes

$$d_{ob} = \frac{d_{ob1} + d_{ob2}}{2} \quad (8.2-9)$$

Abschnitt 8.3.4 kann anstelle der näherungsweisen Berechnung benutzt werden.

8.3 Auslegung von Ausschnitten und Abzweigen in Zylinderschalen (Verschwächungsbeiwert und Ausschnittsverstärkung)

8.3.1 Formelzeichen und Abkürzungen

Zusätzlich zu den Formelzeichen in EN 12953-1:2002, Tabelle 4-1 sind die Zeichen, die in den Bildern 8.3-1 bis 8.3-4 gezeigt sind, zu benutzen.

8.3.2 Anforderungen für die Anwendungen

8.3.2.1 Ausschnitte

Die Regeln in 8.3.3. bis 8.3.4 sind für die Auslegung von kreisrunden, elliptischen und ovalen Ausschnitten und Stutzen (einschließlich schräger Stutzen) anzuwenden, die einzeln oder in Gruppen in zylindrischen Mänteln so angeordnet sind, dass die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Ausschnitte und Stutzen nicht radial zum Mantel (Bild 8.3-2)

Das Verhältnis der großen zu kleinen Achse des Ausschnittes überschreitet nicht den Wert 2;

- b) Schräge Stutzen (Bild 8.3-1)

Der Stutzen hat einen kreisrunden Querschnitt und der Winkel zwischen der Stutzenachse und einer Linie senkrecht zur Mantelfläche überschreitet nicht den Wert 45°;

- c) Alle Stutzen

Keine vernachlässigbaren äußere Kräfte und Momente dürfen den Stutzen belasten. Falls dies nicht der Fall ist, ist EN 13445-3 anzuwenden, um die daraus resultierenden Spannungen zu berechnen.

Der innere Stutzendurchmesser d_{ib} ist bei der Berechnung zu benutzen, und zwar auch dann, wenn der Durchmesser d des Ausschnittes im Grundkörper kleiner ist als d_{ib} .

Stützenverbindungen mit einem Restspalt größer als 1,5 mm oder mit durchgestecktem und lediglich dicht geschweißten Abzweigen sind zu behandeln wie Ausschnitte ohne Abzweige. Die druckbeaufschlagte Fläche in der Bohrung ist in Rechnung zu stellen, außer bei durchgesteckten und an der Innenseiten dicht geschweißten Rohren.

8.3.2.2 Mindestwanddicke von Stützen und Abzweigen

Die Wanddicke von Stützen und Abzweigen muss im Einklang stehen mit 8.1.1.1b. Jedoch muss die Wanddicke nicht kleiner sein als diejenige entsprechend der folgenden Gleichung:

$$e_{cb} = 0,015 d_{ob} + 3,2 \quad (8.3-1)$$

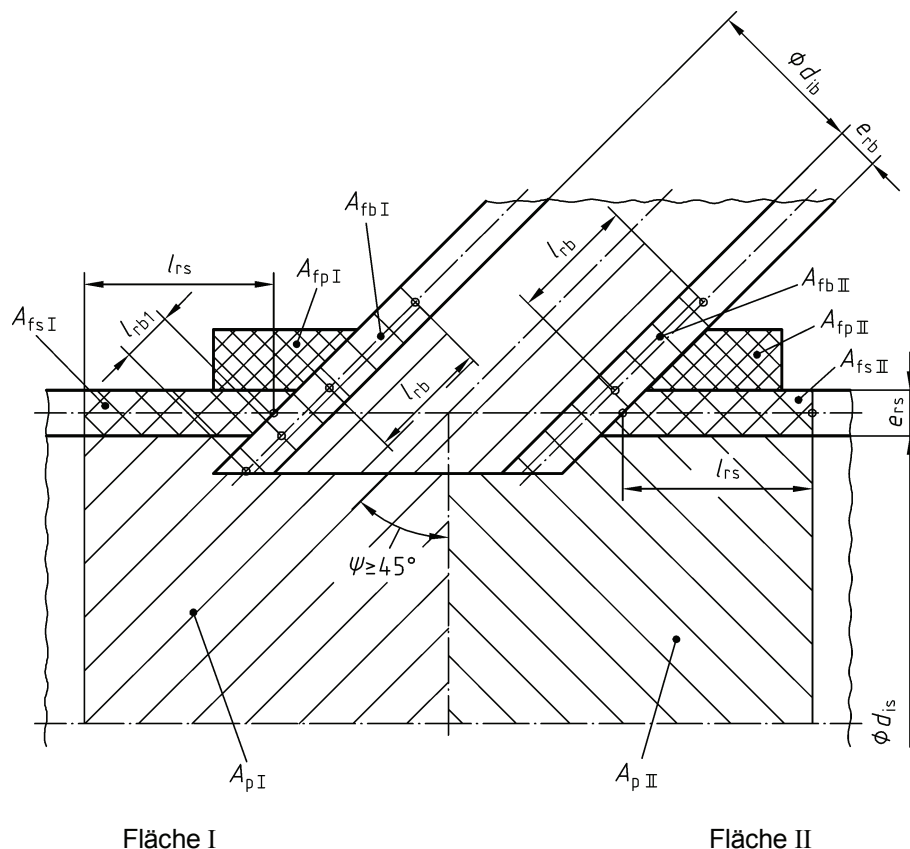


Bild 8.3-1 — Belastete Flächen für einen zylindrischen Mantel mit schrägem Abzweig und Verstärkungsplatte

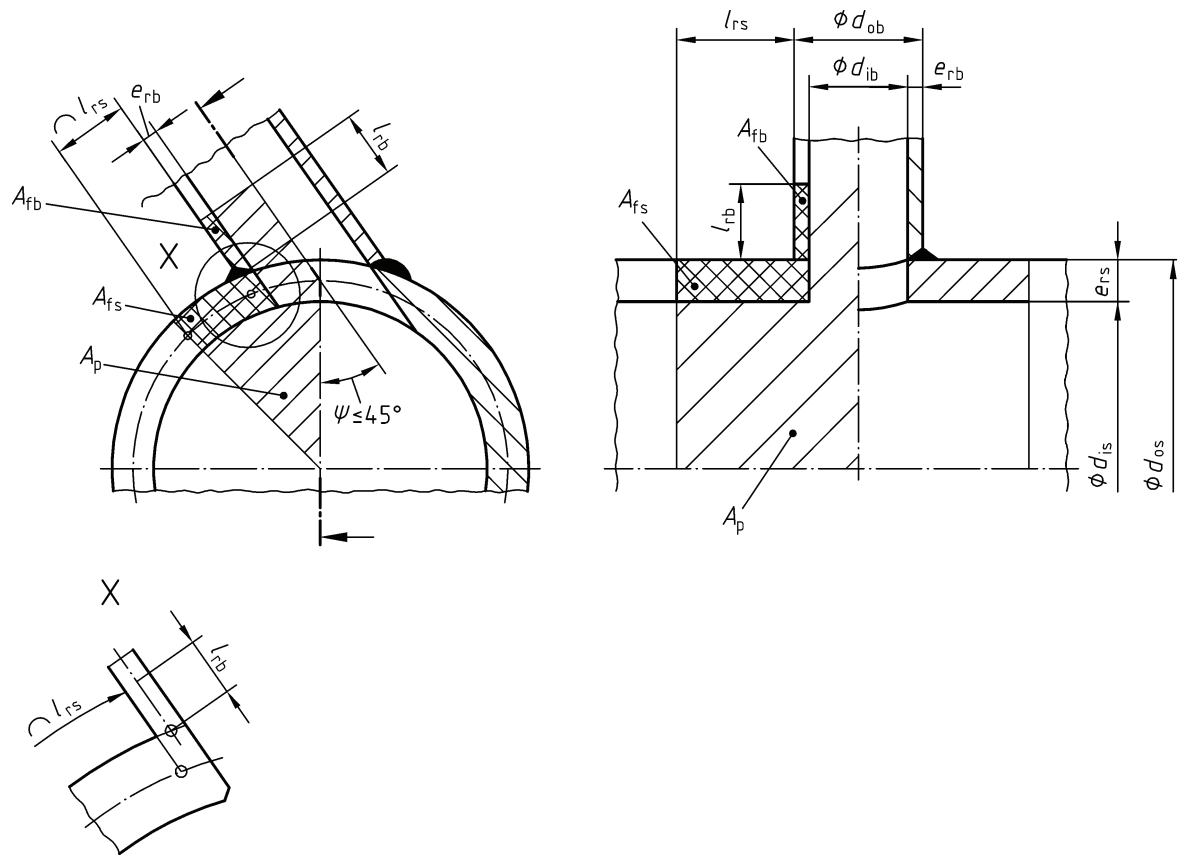
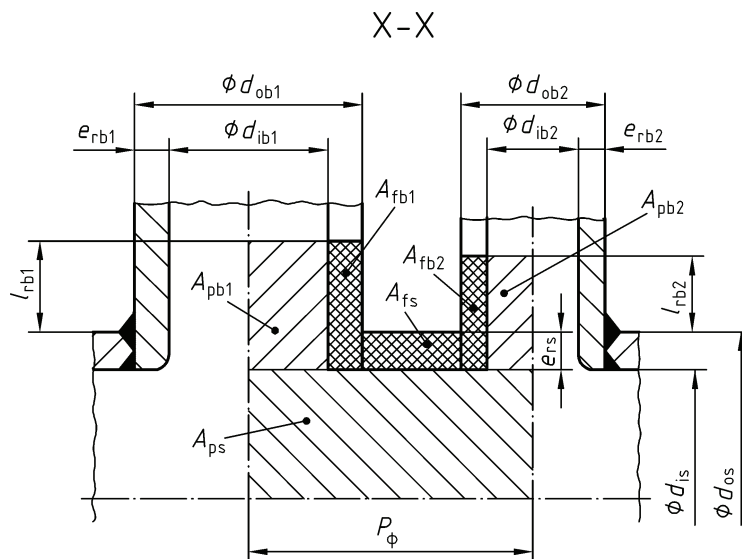
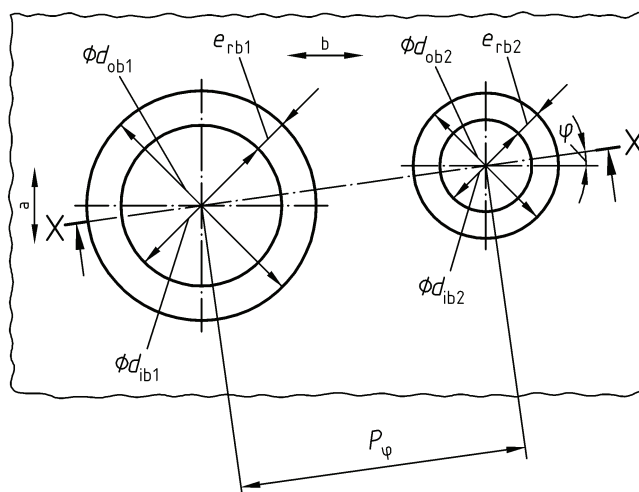


Bild 8.3-2 — Belastete Flächen für einen zylindrischen Mantel mit nicht radialem Abzweig

a) Schnitt X — X



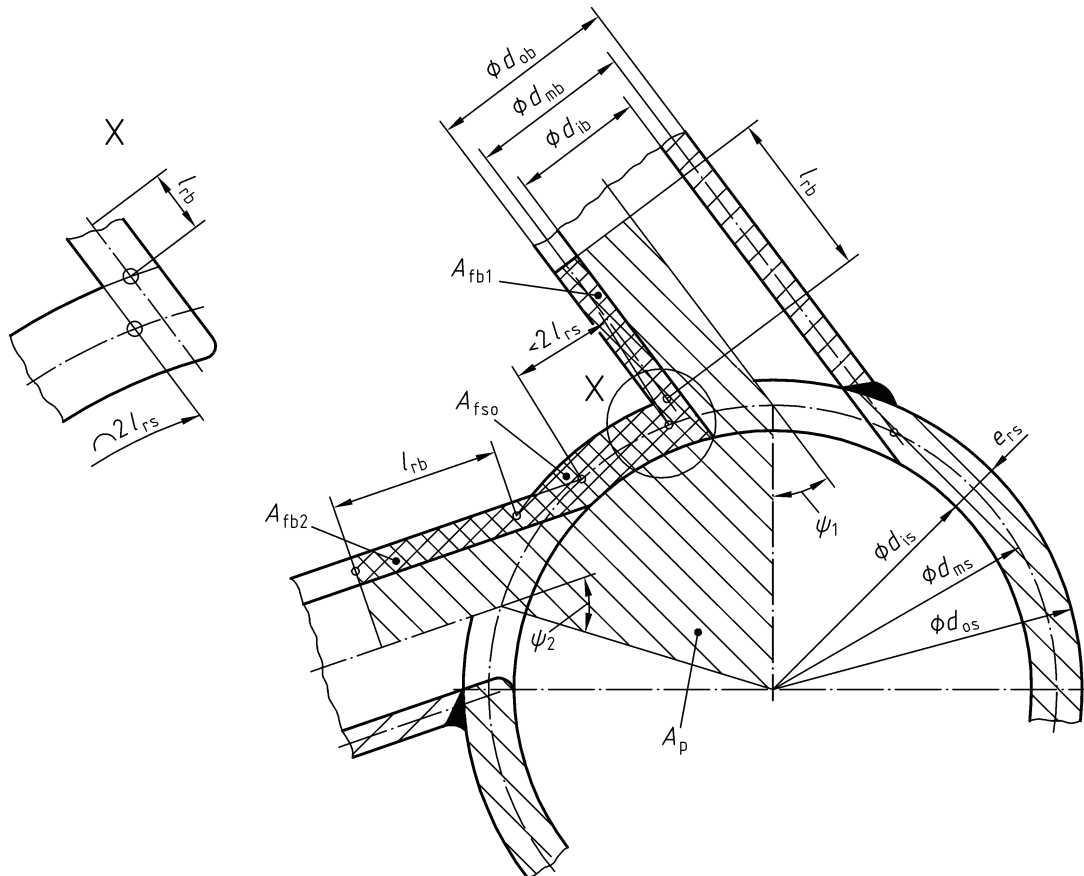
b) Draufsicht



a Umfangsrichtung

b Längsrichtung

Bild 8.3-3 — Belastete Flächen für einen zylindrischen Mantel mit benachbartem Abzweigen, mit einem Winkel ϕ zur Achse des Grundkörpers



mit

$$\psi_1 \leq 45^\circ$$

$$\psi_2 \leq 45^\circ$$

Bild 8.3-4 — Belastete Flächen für einen zylindrischen Mantel mit nicht radialen, benachbarten Abzweigen, angeordnet auf einem Umfang

8.3.3 Auslegung von einzelnen Ausschnitten und Abzweigen

8.3.3.1 Allgemeines

Die Wanddicke des Grundkörpers e_{rs} und die Wanddicke des Abzweiges e_{rb} darf nicht kleiner sein als diejenige, die mit $\nu = 1$ nach 7.2 berechnet wird.

8.3.3.2 Einzelausschnitt mit radialem Abzweig

8.3.3.2.1 Für Einzelausschnitte mit radialem Abzweig ohne zusätzliche Verstärkung sind zusätzlich 8.3.3.4 und 8.3.3.5 (mit $\psi_1 = 0$) zu berücksichtigen.

8.3.3.2.2 Wenn die zulässige Spannung des Abzweiges größer oder gleich der des Grundkörpers ist, muss die folgende Festigkeitsbedingung erfüllt sein:

$$f_a = \min \left[p_c \left(\frac{A_p}{A_{fs} + A_{fb}} + \frac{1}{2} \right); f_s \right] \quad (8.3-2)$$

Die Verschwächung²⁾ ist

$$v_b = \frac{d_{is} (A_{fs} + A_{fb})}{2 e_{rs} A_p} \leq 1 \quad (8.3-3)$$

8.3.3.2.3 Wenn die zulässige Spannung des Abzweiges kleiner ist als die des Grundkörpers, so gilt die folgende Festigkeitsbedingung:

$$f_a = \frac{p_c (2 A_p + A_{fs} + A_{fb})}{2 \left(A_{fs} + \frac{f_b}{f_s} A_{fb} \right)} \leq f_s \quad (8.3-4)$$

In diesem Fall ist die Verschwächung²⁾

$$v_b = \frac{d_{is} \left(A_{fs} + \frac{f_b}{f_s} A_{fb} \right)}{e_{rs} \left(2 A_p + A_{fb} - \frac{f_b}{f_s} A_{fb} \right)} \leq 1 \quad (8.3-5)$$

8.3.3.3 Einzelausschnitte mit schrägem Abzweig und zusätzlicher Verstärkung

8.3.3.3.1 Für einzelne Ausschnitte mit schrägen Abzweigen und zusätzlicher Verstärkung entsprechend Bild 8.3-1 sind zusätzlich die Bedingungen für eine Auslegung mit Verstärkungsscheiben nach 8.1.5 zu berücksichtigen.

8.3.3.3.2 Wenn die zulässige Spannung des Abzweiges größer oder gleich der des Grundkörpers ist, so ist die Festigkeitsbedingung für Fläche I:

$$f_{a I} = p_c \left(\frac{A_{p I}}{A_{fs I} + A_{fb I} + 0,7 A_{fp I}} + \frac{1}{2} \right) \leq f_s \quad (8.3-6)$$

und für Fläche II

$$f_{a II} = p_c \left(\frac{A_{p II}}{A_{fs II} + A_{fb II} + 0,7 A_{fp II}} + \frac{1}{2} \right) \leq f_s \quad (8.3-7)$$

8.3.3.3.3 Wenn die zulässige Spannung des Abzweigwerkstoffes oder des Werkstoffes der zusätzlichen Verstärkung kleiner ist als die des Grundkörpers so ist die Festigkeitsbedingung für Fläche I:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2} \right) A_{fs I} + \left(f_b - \frac{p_c}{2} \right) A_{fb I} + \left(f_p - \frac{p_c}{2} \right) 0,7 A_{fp I} \geq p_c A_{p I} \quad (8.3-8)$$

und für Fläche II:

$$\left(f_s - \frac{p_c}{2} \right) A_{fs II} + \left(f_b - \frac{p_c}{2} \right) A_{fb II} + \left(f_p - \frac{p_c}{2} \right) 0,7 A_{fp II} \geq p_c A_{p II} \quad (8.3-9)$$

2) Anstelle dieser Berechnung kann die näherungsweise Berechnung nach 8.2 durchgeführt werden. In diesem Fall darf der Verstärkungseffekt durch den Stutzen nicht berücksichtigt werden.

8.3.3.4 Querschnitt senkrecht zur Achse des Grundkörpers

Für Abzweige mit $d_{ib}/d_{is} \geq 0,7$ und gleichzeitig $e_{rb}/e_{rs} < d_{ib}/d_{is}$, ist die folgende Bedingung für den Übergang zwischen Grundkörper und Abzweig in Querschnitt senkrecht zur Achse des Grundkörpers zu erfüllen:

$$f_{ab} = \frac{p_c}{1,5} \left(\frac{d_{is} + e_{rs}}{2 e_{rs}} + 0,2 \frac{d_{ib} + e_{rb}}{e_{rb}} \sqrt{\frac{d_{is} + e_{rs}}{e_{rs}}} \right) \leq \min(f_s; f_b) \quad (8.3-10)$$

Wenn der Grundkörper und der Abzweig aus Werkstoffen mit unterschiedlichen zulässigen Spannungen bestehen, so ist in dieser Berechnung der kleinere Wert zu benutzen.

8.3.3.5 Zylindrische Schalen mit nicht radialen Abzweigen

Für zylindrische Schalen, bei denen der Abzweig nicht in radialer Richtung angeordnet ist (siehe Bild 8.3-2), sondern mit einem Winkel ψ , kann die höhere Beanspruchung im Querschnitt nach Bild 8.3-2 oder im Längsschnitt nach Bild 8.3-2 auftreten. In beiden Fällen gilt die Festigkeitsbedingung Gleichung (8.3-2), wobei die Flächen A_p , A_{fs} und A_{fb} , die in den diesbezüglichen Bildern dargestellt sind, bei der Berechnung zu benutzen sind. Als mittragende Längen bei Grundkörper und Abzweig dürfen höchstens die in Gleichung (8.1-1) bzw. (8.1-2) oder (8.1-3) eingesetzt werden.

Die Wanddicke des Abzweiges e_{rb} darf nicht größer sein als die des Grundkörpers e_{rs} .

8.3.4 Auslegung von benachbarten Ausschnitten und Abzweigen

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 einzelne Ausschnitte oder Abzweige nach 8.1.3 nicht erfüllt ist.

8.3.4.3 Grundkörper mit kleinerer zulässiger Spannung als der Abzweig

Für benachbarte Ausschnitte oder Abzweige muss die Festigkeit für einen Querschnitt mit dem Winkel Φ für den Grundkörper nach Bild 8.3-3 durchgeführt werden. Die folgende Festigkeitsbedingung gilt:

$$f_{a\Phi} = \frac{p_c}{2} \frac{2 A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} + 2 A_{p1} + 2 A_{p2}}{A_{fs0} + A_{fb1} + A_{fb2}} + \frac{p_c}{2} \leq f_s \quad (8.3-11)$$

Diagonal oder auf den Umfang verteilte Ausschnitte sind zu berechnen wie über die Länge verteilte Ausschnitte nach Bild 8.3-3 mit einem Abstand P_Φ . In diesem Fall wird die drucktragende Fläche $2 A_{p0}$ korrigiert durch den Faktor $((1 + \cos^2 \Phi)/2)$ in der Festigkeitsbedingung nach Gleichung (8.3-14).

Die Verschwächung²⁾ ist:

$$v_m = \frac{d_{is}}{e_{rs}} \frac{A_{fs0} + A_{fb1} + A_{fb2}}{2 A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} + 2 A_{p1} + 2 A_{p2}} \leq 1 \quad (8.3-12)$$

8.3.4.4 Abzweige mit gleicher oder kleinerer zulässiger Spannung als der Grundkörper

Wenn die zulässige Spannung von einem oder beiden Abzweigen kleiner ist als die des Grundkörpers so gilt die folgende Bedingung:

$$f_{a\Phi} = \frac{p_c}{2} \frac{2 A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} + 2 A_{p1} + 2 A_{p2} + A_{fs0} + A_{fb1} + A_{fb2}}{A_{fs0} + \frac{f_{b1}}{f_s} A_{fb1} + \frac{f_{b2}}{f_s} A_{fb2}} \leq f_s \quad (8.3-13)$$

In diesem Fall ist die Verschwächung²⁾:

$$v_m = \frac{d_{is}}{e_{rs}} \frac{A_{fs0} + \frac{f_{b1}}{f_s} A_{fb1} + \frac{f_{b2}}{f_s} A_{fb2}}{2 A_{p0} \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} + 2 A_{p1} + 2 A_{p2} + A_{fb1} + A_{fb2} - \frac{f_{b1}}{f_s} A_{fb1} - \frac{f_{b2}}{f_s} A_{fb2}} \leq 1 \quad (8.3-14)$$

8.3.4.5 Benachbarte Abzweige in Umfangsrichtung

Für nicht radiale benachbarte Abzweige in Umfangsrichtung nach Bild 8.3-4 muss die Berechnung analog zu der für radiale Abzweige durchgeführt werden. In diesem Fall wird der Korrekturfaktor $((1 + \cos^2 \Phi)/2)$ durch den Faktor 1 ersetzt.

9 Böden

9.1 Unverankerte gewölbte Böden ohne Ausschnitte

9.1.1 Unverankerte gewölbte Böden ohne Ausschnitte unter innerem Überdruck

Die Mindestwanddicke von unverankerten gewölbten Böden ohne Ausschnitte muss den folgenden Gleichungen entsprechen:

$$e_s = e_{cs} + c + c_1 + c_2 \quad (9.1-1)$$

und

$$e_{cs} = \frac{p_e d_o C}{2 f} \quad (9.1-2)$$

Zusätzlich darf die Wanddicke eines Klöpperbodens nicht kleiner als die nach Gleichung (9.1-1) berechnete Wanddicke nach folgender Gleichung sein:

$$e_{cs} = \frac{p_e r_{is}}{2 f - 0,5 p_e} \quad (9.1-3)$$

Der Berechnungsbeiwert C für unverankerte gewölbte Böden ohne Ausschnitte ist nach Bild 9.1-1 zu bestimmen. Es gelten jedoch die in 9.1.2 aufgeführten Einschränkungen.