

DIN EN 13445-3/A14

ICS 23.020.30

Entwurf

Einsprüche bis 2019-09-12
Vorgesehen als Änderung von
DIN EN 13445-3:2018-12

**Unbefeuerte Druckbehälter –
Teil 3: Konstruktion;
Deutsche und Englische Fassung EN 13445-3:2014/prA14:2019**

Unfired pressure vessels –
Part 3: Design;
German and English version EN 13445-3:2014/prA14:2019
Récipients sous pression non soumis à la flamme –
Partie 3: Conception;
Version allemande et anglaise EN 13445-3:2014/prA14:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-07-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fnca@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 114 Seiten

DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-3:2014/prA14:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 012-00-05-03 UA „Konstruktion und Auslegung“ des Arbeitsausschusses NA 012-00-05 AA „Unbefeuerte Druckbehälter“ im DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion

Réipients sous pression non soumis à la flamme — Partie 3 : Conception

Unfired pressure vessels — Part 3: Design

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp: Änderung
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	3
1 Änderungen an Abschnitt 9, Ausschnitte in Schalen und Böden	4

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-3:2014/prA14:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil der EN 13445-3:2014 ist.

1 Änderungen an Abschnitt 9, Ausschnitte in Schalen und Böden

Abschnitt 9 ist durch den folgenden zu ersetzen:

„

9 Ausschnitte in Schalen und Böden

9.1 Zweck

Dieser Abschnitt enthält die Anforderungen für die Auslegung von kreisrunden, elliptischen und länglich runden Ausschnitten in Zylinder-, Kegel- und Kugelschalen sowie gewölbten Böden unter Innen- und Außendruck.

Dieser Abschnitt gilt für Ausschnitte, Stutzen und Verstärkungsscheiben in gewölbten Böden, die vollständig innerhalb eines zentralen Bereichs angeordnet sind, der durch einen Radius von $0,4D_e$ begrenzt wird, wie in Bild 9.5-4 dargestellt. Für andere Positionen (d. h. Stutzen im Krempebereich) gelten die entsprechenden Auslegungsregeln in Abschnitt 7.

Die Festigkeitswerte gegenüber anderen als durch Druck verursachten Beanspruchungen werden in Abschnitt 16 ermittelt.

9.2 Zusätzliche Definitionen

Die folgenden Definitionen gelten zusätzlich zu denen in Abschnitt 3.

9.2.1

Stegprüfung

Prüfung der Verstärkung zwischen zwei benachbarten Ausschnitten

9.2.2

Ausschnitt

durchgängige Öffnung in einer Schale, die ggf. mit einer Verstärkungsscheibe, einem Verstärkungsring oder einem Stutzen verstärkt ist

9.2.2.1

länglich runder Ausschnitt

Öffnung mit länglich runder Form, bestehend aus zwei Halbkreisen, die durch zwei gerade Linien verbunden sind

9.2.3

Gesamtprüfung

Prüfung der Verstärkung im Querschnitt einschließlich der Schalenwände auf beiden Seiten des Ausschnitts sowie der Länge der angrenzenden Schale

9.2.4

Verstärkung

beanspruchte Querschnittsfläche des Werkstoffs, die die Festigkeit gegenüber Druckeinwirkung an einem Ausschnitt gewährleistet

9.2.5

verstärkter Ausschnitt

Ausschnitt mit einer Verstärkung durch die Schale, durch einen Stutzen, eine Verstärkungsscheibe oder durch einen Verstärkungsring

9.2.6

Verstärkungsscheibe

zur Verstärkung beitragende mit der Schale kehlnahtverschweißte Blechplatte

9.2.7

Verstärkungsring

zur Verstärkung beitragender eingeschweißter Ring

9.2.8

Einschweißstutzen

durch die Schale durchgesteckter und auf der Innen- und Außenseite der Schale verschweißter Stutzen (siehe Bild 9.4-8)

9.2.9

Aufschweißstutzen

lediglich auf der Außenseite der Schale verschweißter Stutzen (siehe Bild 9.4-7)

9.2.10

Schale

Zylinder-, Kegel- oder Kugelschale bzw. gewölbter Boden

9.2.11

Störstelle (in der Schale)

Verbindungsstelle zwischen zwei der folgenden Teile: Zylinderschale, achsenversetzte Zylinderschale, Kegelschale, gewölbter Boden, Kugelkalotte, Flansch oder ebener Boden

9.2.12

kleiner Ausschnitt

einzelner Ausschnitt mit kleinem Durchmesser, der die Kriterien nach Gleichung (9.5-18) erfüllt

9.3 Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

9.3.1 Allgemeines

Die folgenden Symbole, Indizes und Abkürzungen gelten zusätzlich zu denen in Abschnitt 4.

9.3.2 Indizes

Die folgenden Indizes werden bei den Symbolen in 9.3.3 verwendet:

- a Berechnungswanddicke eines Bauteils;
- b Stutzen oder Abzweig;
- c Mittelwert einer Abmessung;
- e Abmessung auf der Außenseite;
- i Abmessung auf der Innenseite;
- L Stegprüfung;
- O Gesamtprüfung;
- o Berechneter Maximalwert oder Minimalwert unter verschiedenen Werten;

p Verstärkungsscheibe;

r Verstärkungsring;

s Schale;

w Verstärkungsrelevante Fläche der Kehlnaht;

φ Zusätzliche druckbeanspruchte Fläche bei einem schrägen Stutzen;

1 Erster von zwei benachbarten Ausschnitten;

2 Zweiter von zwei benachbarten Ausschnitten.

9.3.3 Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
a	Abstand zwischen dem Ausschnittmittelpunkt und der Außenkante eines Einschweißstutzens oder Rings, gemessen entlang des Schalenabschnitts mittlerer Dicke; ist kein Stutzen oder Ring vorhanden, ist a der Abstand zwischen Ausschnittmittelpunkt und Innenkante des Ausschnitts	mm
a_1, a_2	Werte für a auf der Stegseite des Ausschnitts (siehe Bilder 9.6-2 und 9.6-3)	mm
a'_1, a'_2	Werte für a auf der gegenüber liegenden Seite des Ausschnitts bis zum Steg (siehe Bild 9.6-5)	mm
A_f	Verstärkungsrelevante spannungsbeanspruchte Querschnittsfläche	mm ²
$A_{f_{LS}}$	A_f der Schale für die Länge L_b (siehe Bilder 9.6-1 bis 9.6-4)	mm ²
$A_{f_{Os}}$	A_f der Schale für die Länge L_{b1} (siehe Bilder 9.6-5 bis 9.6-6)	mm ²
A_{f_w}	Querschnittsfläche der Kehlnaht zwischen Stutzen (oder Scheibe) und Schale (siehe 9.5.2.3.3 und Bilder 9.4-4 und 9.5-1)	mm ²
A_p	Druckbeanspruchte Fläche	mm ²
$A_{p_{LS}}$	A_p der Schale für die Länge L_b (siehe Bilder 9.6-1 bis 9.6-4)	mm ²
$A_{p_{Os}}$	A_p der Schale für die Länge L_{b1} (siehe Bilder 9.6-5 bis 9.6-6)	mm ²
A_{p_φ}	Zusätzliche druckbelastete Fläche für schräge Stutzenverbindung, abhängig vom Winkel φ (siehe Bilder 9.5-1 bis 9.5-3)	mm ²
d	Durchmesser (oder maximale Weite) eines Ausschnitts ohne Stutzen in einem Mantel oder Boden	mm
d_{eb}	Außendurchmesser eines Stutzens an einem Mantel oder Boden	mm
d_{ib}	Innendurchmesser eines Stutzens an einem Mantel oder Boden	mm
d_{ip}	Innendurchmesser einer Verstärkungsscheibe	mm
d_{er}	Außendurchmesser eines Verstärkungsringes	mm
d_{ir}	Innendurchmesser eines Verstärkungsringes	mm
d_{ix}	Innendurchmesser eines ausgehalsten Ausschnitts	mm

Symbol	Beschreibung	Einheit
D_c	Mittlerer Durchmesser einer Zylinderschale an der Verbindungsstelle mit einem anderen Bauteil	mm
D_e	Außendurchmesser einer Zylinder- oder Kugelschale, des zylindrischen Teils eines gewölbten Bodens, einer Kegelschale in der Ausschnittsmitte	mm
D_i	Innendurchmesser einer Zylinder- oder Kugelschale, des zylindrischen Teils eines gewölbten Bodens, einer Kegelschale in der Ausschnittsmitte	mm
e_1	Erforderliche Wanddicke einer Zylinderschale an der Verbindungsstelle mit einem anderen Bauteil (siehe Bilder 9.7-6 und 9.7-10)	mm
e_2	Erforderliche Wanddicke einer Kegelschale an der Verbindungsstelle mit einer Zylinderschale (siehe Bilder 9.7-6 und 9.7-10)	mm
e_b	Mittragende Wanddicke eines Stutzens (oder mittlere Wanddicke über die äußere Länge l_{b0} oder die innere Länge l_{bi0}), bei der Verstärkungsberechnung berücksichtigt	mm
$e_{a,b}$	Berechnungswanddicke eines Stutzens (oder mittlere Berechnungswanddicke über die Länge l_b innen bzw. außen an der Schale)	mm
$e_{a,m}$	Durchschnittliche Dicke entlang der Länge l_0 für Versteifungsringe (siehe Gleichung (9.5-48))	mm
$e_{c,s}$	Angenommene Schalenstärke der Schalenwand (siehe Gleichung (9.5-2) zur Überprüfung der Verstärkung einer Öffnung. Die Dicke kann vom Konstrukteur zwischen der erforderlichen minimalen Schalenstärke e und der Berechnungswanddicke $e_{a,s}$ angenommen werden. Die angenommene Dicke muss dann konsistent für alle Anforderungen verwendet werden.) Für $e_{c,s}$ kann die Berechnungswanddicke immer verwendet werden, aber manchmal kann es vorteilhafter sein, einen kleineren Annahmewert zu verwenden, um kleinere Abstände von benachbarten Störungsstellen in der Schale zu erhalten.	mm
e_p	Mittragende Wanddicke einer Verstärkungsscheibe, bei der Verstärkungsberechnung berücksichtigt	mm
$e_{a,p}$	Berechnungswanddicke einer Verstärkungsscheibe	mm
e_r	Mittragende Wanddicke eines Verstärkungsringes, bei der Verstärkungsberechnung berücksichtigt	mm
$e_{a,r}$	Berechnungswanddicke eines Verstärkungsringes	mm
$e_{a,s}$	Berechnungswanddicke der Schale oder mittlere Berechnungswanddicke über die Länge l'_s und ohne die Wanddicke der Verstärkungsscheibe (sofern vorhanden)	mm
e'_s	Einstecktiefe eines Stutzens in der Schalenwand bei nicht vollständig durchgestecktem Einschweißstutzen	mm
f_b	Berechnungsnennspannung des Stutzenwerkstoffs	MPa
f_p	Berechnungsnennspannung des Werkstoffs des Verstärkungsringes	MPa
f_s	Berechnungsnennspannung des Schalenwerkstoffs	MPa
h	Innenhöhe eines gewölbten Bodens ohne zylindrischen Bord	mm
k	Abminderungsbeiwert für l_{s0} (verwendet für Gesamtprüfung in 9.6.4)	—
l_b	Aus der Schale herausragende Länge eines Stutzens	mm

Symbol	Beschreibung	Einheit
l'_b	Aus der Schale herausragende mittragende Länge eines Stutzens zur Verstärkungs-berechnung	mm
l_{bi}	In die Schale hineinragende Länge eines Stutzens (z. B. überstehender Stutzen)	mm
l'_{bi}	In die Schale hineinragende mittragende Länge eines Stutzens zur Verstärkungs-berechnung	mm
l_{bo}	Größte aus der Schale herausragende Länge eines Stutzens zur Verstärkungsberechnung	mm
l_{cyl}	Länge der Zylinderschale ermittelt nach Gleichung (9.7-3) und verwendet zur Festigkeitsanalyse einer Verbindung (siehe Bild 9.7-6) zwischen einem Zylinder und: — der kleinen Grundfläche einer koaxialen Kegelschale; — einer zum Zylinder konvexen Kugelschale; — einer Zylinderschale mit konvergierender Achse.	mm
l_{con}	Länge einer Kegelschale ermittelt nach Gleichung (9.7-7) und verwendet zur Festigkeitsanalyse einer Verbindung zwischen der kleinen Grundfläche einer Kegelschale und einer Zylinderschale (siehe Bild 9.7-6)	mm
l_n	Abstand zwischen der Mittellinie einer Stumpfnah der Schale und dem Mittelpunkt eines an die Stumpfnah angrenzenden oder sie überschneidenden Ausschnitts	mm
l_o	Maximale Länge der Ring- bzw. Schalenwand in Versteifungsringen	mm
l_p	Breite einer Verstärkungsscheibe	mm
l_{pi}	Breite einer Verstärkungsscheibe zwischen zwei benachbarten Ausschnitten (siehe Bild 9.6-5)	mm
l'_p	Mittragende Breite einer Verstärkungsscheibe zur Verstärkungsberechnung	mm
l_r	Breite eines Verstärkungsringes	mm
l'_r	Mittragende Breite eines Verstärkungsringes zur Verstärkungsberechnung	mm
l_s	Länge der Schale vom Rand eines Ausschnitts oder vom Außendurchmesser eines Stutzens bis zu einer Störstelle der Schale	mm
l'_s	Zur Ausschnittverstärkung anrechenbare mittragende Länge einer Schale	mm
l_{so}	Zur Ausschnittverstärkung anrechenbare maximale Länge einer Schale, gemessen am mittleren Krümmungsradius der Schalenwand	mm
L_b	Mittelpunktabstand zwischen zwei Ausschnitten oder Stutzen, gemessen am mittleren Krümmungsradius der Schale (siehe Bild 9.6-2)	mm
L_{b1}	Länge der Querschnittsfläche der Schale einschließlich des gesamten Querschnitts zweier benachbarter Ausschnitte, gemessen am mittleren Krümmungsradius der Schale	mm
r_{is}	Innerer Krümmungsradius der Schale im Ausschnittmittelpunkt	mm
R	Innenradius eines halbkugelförmigen Bodens oder des gewölbten Teils eines torisphärischen Bodens	mm
w	Abstand zwischen Ausschnitttrand und Störstelle der Schale (siehe Bilder 9.7-1 bis 9.7-11)	mm

Symbol	Beschreibung	Einheit
$w_{\min}$	Mindestwert für w	mm
w_p	Mindestwert für w ohne Einfluss auf l_s durch Störstellen der Schale	mm
α	Halber Öffnungswinkel einer Kegelschale	Grad
θ	für einen Stutzen mit Längsschweißnaht, Winkel zwischen der Ebene, gebildet zwischen der Stutzenachse und der Linie der Längsschweißnaht, und der Ebene, gebildet zwischen der Stutzenachse und der Mantellinie des Behälters, die durch die Mittelachse der Öffnung geht	Grad
φ	Neigungswinkel an den Querschnittsflächen in Längs- oder Querrichtung, gemessen zwischen der Senkrechten zur Wandung an der Öffnungsmitte und dem Überstand der Stutzenachse auf dem betrachteten Querschnitt	Grad
φ_e	Projektion von φ in die Ebene von L_b zur Stegprüfung von Mehrfachausschnitten	rad
Φ	Winkel zwischen der Mittelpunkt-Verbindungsline zweier Ausschnitte oder Stutzen und der Mantellinie einer Zylinder- oder Kegelschale ($0^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$) (siehe Bild 9.6-1)	Grad
Ω	— für Einzelausschnitte, Winkel zwischen Schalenmantellinie und der Achse mit dem größten Durchmesser für benachbarte Ausschnitte — Winkel zwischen der Ebene, in der die Ausschnittsmittelpunkte liegen, und der Achse mit dem größten Durchmesser	Grad

9.4 Allgemeines

9.4.1 Ausschnitte

Schalen mit Ausschnitten müssen im Bereich um den Ausschnitt angemessen verstärkt werden, um die Verschwächung der druckbeanspruchten Querschnittsfläche auszugleichen. Die Verstärkung muss durch eines der nachstehenden Verfahren erfolgen:

- Erhöhen der Wanddicke der Schale gegenüber der erforderlichen Mindestdicke der unverschwächten Schale (siehe Bilder 9.4-1 und 9.4-2);
- Aufschweißen scheibenförmiger Verstärkungen (Verstärkungsscheiben) (siehe Bilder 9.4-3 und 9.4-4);
- Einschweißen ringförmiger Verstärkungen (Verstärkungsringe) (siehe Bilder 9.4-5 und 9.4-6);
- Erhöhen der Stutzenwanddicke (siehe Bilder 9.4-7 und 9.4-8) über den für die Membran-Druckspannung geforderten Wert;
- Kombination der genannten Verfahren (siehe Bilder 9.4-9 bis 9.4-13).

9.4.2 Verstärkung

Die Abmessungen der zu verstärkenden Querschnittsfläche eines Ausschnitts müssen zunächst geschätzt werden. Die Auslegung ist dann durch das nachstehend beschriebene Verfahren zu verifizieren.

Das Verfahren soll sicherstellen, dass die Reaktionskraft des Werkstoffs größer oder gleich der Druckbelastung ist. Die Reaktionskraft ist die Summe des Produkts der mittleren Membranspannungen in allen Bauteilen und ihrer spannungsbeanspruchten Querschnittsflächen (siehe Bilder 9.4-1 bis 9.4-13). Die Druckbelastung ist die Summe des Produkts von Druck und druckbeanspruchten Querschnittsflächen. Ist die Verstärkung nicht ausreichend bemessen, muss sie erhöht und die Berechnung wiederholt werden.

Verstärkung und Festigkeit können um die Stutzenachse herum unterschiedlich sein. Es ist nachzuweisen, dass die Verstärkung in allen Ebenen ausreichend hoch bemessen ist.

9.4.3 Konstruktion

Das Verfahren ist anwendbar, wenn der Ausschnitt sich in einem bestimmten Mindestabstand von einer Störstelle in der Schale befindet. Die Ermittlung dieses Abstands ist in 9.7 beschrieben.

9.4.4 Elliptische oder länglich runde Ausschnitte

Elliptische oder länglich runde Ausschnitte, die aus einem runden Stutzen schräg zur Schalenwand resultieren, müssen nach 9.5.2.4.5 berechnet werden.

Für sämtliche anderen elliptischen bzw. länglich runden Ausschnitte darf das Verhältnis zwischen dem größten und dem kleinsten Durchmesser maximal 2 betragen.

9.4.4.1 Elliptische oder länglich runde Ausschnitte verstärkt durch höhere Wanddicke, Verstärkungsplatten oder Verstärkungsringe (siehe 9.4.1 a), b) oder c))

Bei Zylinder- oder Kegelschalen ist der Durchmesser d für die Verstärkungsberechnung wie folgt zu nehmen:

- entlang der Mantellinie der Schale bei Einzelausschnitten;
- in der Ebene der Ausschnittsmittelpunkte.

Bei Kugelschalen und gewölbten Böden ist der Durchmesser d für den Ausschnitt wie folgt zu nehmen:

- entlang der größten Abmessung der Öffnung (Hauptachse) bei Einzelausschnitten;
- in der Ebene der Ausschnittsmittelpunkte.

9.4.4.2 Ausschnitte verstärkt durch elliptische oder länglich runde Stutzen senkrecht zur Schalenwand (siehe 9.4.1 d))

In zylindrischen bzw. konischen Schalen ist der Durchmesser d des Ausschnitts wie folgt zu berechnen:

$$d = d_{\min} \cdot \left(\sin^2 \Omega + \frac{d_{\max}}{d_{\min}} \cdot \frac{(d_{\min} + d_{\max})}{2 \cdot d_{\min}} \cdot \cos^2 \Omega \right) \quad (9.4-1)$$

Dabei sind

$d_{\min}$ und $d_{\max}$ der kleinste und der größte Durchmesser im Ausschnitt;

- Ω
- für Einzelausschnitte, der Winkel zwischen der Schalenerzeugenden durch die Ausschnittsmitte und der Hauptachse des Ausschnitts;
 - für benachbarte Ausschnitte und für jeden der beiden Ausschnitte, der Winkel zwischen der kürzesten (gekrümmten) Verbindungslinie der beiden Ausschnittsmitten an der Schalenoberfläche und der Schnittlinie der Schalenoberfläche mit der durch die Stutzenachse und den größten Schalendurchmesser (des Ausschnitts, für den d berechnet wird) aufgespannten Ebene.

In kugelförmigen und gewölbten Böden ist der Durchmesser d des Ausschnitts wie folgt zu berechnen:

$$d = d_{\max} \cdot \left(\frac{d_{\min} + d_{\max}}{2 \cdot d_{\min}} \right) \quad (9.4-2)$$

Dabei sind

$d_{\min}$ und $d_{\max}$ wie vorstehend definiert.

Der Durchmesser für die Berechnung des Werts l_{b0} in Gleichung (9.5-75) ist in 9.5.2.4.4.1 festgelegt.

Bei Stützen mit elliptischem oder länglich rundem Querschnitt ruft der Druck nicht nur Membranbeanspruchungen hervor, sondern auch Biegebeanspruchungen in Umfangsrichtung. Deshalb müssen die verbundene Schalenwand auf der einen Seite und der verbundene Flansch bzw. Rundrohr auf der anderen Seite den Stützen halten, wenn dessen Wanddicke nur unter Zugrundelegung von Membranbeanspruchungen festgelegt wurde. Der Stützen beansprucht die Schale und es ist möglich, dass der Durchmesser, der für den elliptischen bzw. länglich runden Stützen zur Anwendung kommt, breiter ist als die größte Achse.

9.4.4.3 Für elliptische und länglich runde Stützen, die nicht senkrecht zur Schalenwand sind, ist 9.4.4.2 nicht anwendbar; deshalb muss 9.4.4.1 ohne Beitrag von Stützenwänden zur Verstärkungsberechnung verwendet werden.

9.4.5 Durchmesserbegrenzungen

9.4.5.1 Ausschnitte mit Erhöhung der Schalenwanddicke

Ausschnitte mit erhöhter Schalenwanddicke ohne Stützen müssen die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{d}{2r_{is}} \leq 0,5 \quad (9.4-3)$$

9.4.5.2 Ausschnitte mit Verstärkungsscheiben

Ist bei Ausschnitten mit Verstärkungsscheiben kein Stützen vorhanden, muss die Bedingung der Gleichung (9.4-3) erfüllt werden. Verstärkungsscheiben befinden sich üblicherweise an der Schalenaußenseite, sie dürfen jedoch auch auf der Innenseite oder beidseitig angeordnet sein.

Bei hohen mittleren Wandtemperaturen für die Schale (mehr als 250 °C) oder bei extremen Temperaturgradienten durch die Schale muss der Einsatz von Verstärkungsscheiben vermieden werden; gegebenenfalls muss für die Verstärkungsscheibe dieselbe Werkstoffgüte gewählt werden wie für die Schale; mit speziellen Maßnahmen bzw. über spezielle Hinweise muss eine konzentrierte thermische Beanspruchung vermieden werden.

9.4.5.3 Ausschnitte in gewölbten Böden

Bei Ausschnitten in Kugelschalen und gewölbten Böden darf das Verhältnis d/D_e einen Wert von 0,6 nicht überschreiten. Entsprechend darf bei einer Ausschnittverstärkung durch einen Stützen oder einen Verstärkungsring auch das Verhältnis d_{ib}/D_e und das Verhältnis d_{ir}/D_e einen Wert von 0,6 nicht überschreiten.

9.4.5.4 Mit Stützen verstärkte Ausschnitte

Bei mit Stützen verstärkten Ausschnitten in Zylinderschalen darf das Verhältnis $d_{ib}/(2r_{is})$ einen Wert von 1,0 nicht überschreiten (siehe Bilder 9.4-14 und 9.4-15).

9.4.6 Begrenzungen der Stutzenwanddicke

9.4.6.1 Bei Anwendungen im Dauerfestigkeitsbereich, wenn die Ermüdungsfestigkeit nach Abschnitt 17 bewertet wird und der Ausschnitt ein kritischer Bereich ist (nach 17.2)

Das Verhältnis $e_b/e_{a,s}$ darf den aus dem Diagramm in Bild 9.4-14 entnommenen Wert nicht überschreiten und der Wert e_b darf den Wert $e_{a,b}$ in keinem Fall überschreiten. Die über den nach Bild 9.4-14 ermittelten Wert hinausgehende Stutzenwanddicke darf bei der Berechnung der Verstärkung nicht berücksichtigt werden.

Darüber hinaus darf das Verhältnis $e_{a,b}/e_{a,s}$ den aus dem Diagramm in Bild 9.4-15 entnommenen Wert nicht überschreiten.

ANMERKUNG 1 Der Wert e_b ist die mittragende Wanddicke des Stutzens, die für die Überprüfung der Verstärkung zu verwenden ist. Der Wert $e_{a,b}$ ist die Berechnungswanddicke des Stutzens. Das Verhältnis $e_b/e_{a,s}$ begrenzt den für die Ausschnittverstärkung anrechenbaren Anteil des Stutzens. Das Verhältnis $e_{a,b}/e_{a,s}$ begrenzt die Berechnungswanddicke des Stutzens und folglich die Fertigungswanddicke, um mögliche Spannungen aufgrund großer Wanddickenunterschiede zu begrenzen und um möglicherweise auftretende Probleme im Dauerfestigkeitsbereich zu vermeiden.

ANMERKUNG 2 Wenn die Ermüdungsfestigkeit nach Abschnitt 18 bewertet wird, ist keine Begrenzung des Wanddickenverhältnisses notwendig, da in diesem Fall genauere Spannungen für die Ermüdungsberechnungen verwendet werden.

9.4.6.2 Bei Anwendungen im Zeitstandbereich (d. h. wenn die Berechnungstemperatur im Zeitstandbereich liegt)

Die mittragende Wanddicke e_b darf der Berechnungswanddicke $e_{a,b}$ des Stutzens gleichgesetzt werden.

Das Verhältnis $e_{a,b}/e_{a,s}$ darf jedoch den aus dem Diagramm in Bild 9.4-15 entnommenen Wert nicht überschreiten.

9.4.6.3 Bei Anwendungen ohne Zeitstandsbeanspruchung und ohne Bewertung der Ermüdungsfestigkeit nach Abschnitt 17 (d. h. wenn die Berechnungstemperatur außerhalb des Zeitstandbereiches liegt und der Ausschnitt kein kritischer Bereich nach 17.2 ist)

Die mittragende Wanddicke e_b darf der Berechnungswanddicke $e_{a,b}$ des Stutzens gleichgesetzt werden und für das Verhältnis $e_{a,b}/e_{a,s}$ gelten keine Begrenzungen.

9.4.7 Mit der Schale verschweißte Stutzen

Stutzen liegen üblicherweise in folgender Verbindungsform vor: geschweißt (eingeschweißt, aufgeschweißt, hervorstehende Stutzen), ausgehalst oder geschraubt.

Bei geschweißten Stutzen kann die Querschnittsfläche des Stutzens immer für die Verstärkung des Ausschnitts berücksichtigt werden, sofern die Schweißmaße den Tabellen A-6 und A-8 des Anhangs A dieser Norm entsprechen.

Bei aus der Schale ausgehalste Stutzen muss die Querschnittsfläche des Stutzens für die Verstärkung des Ausschnitts berücksichtigt werden, sofern die Anforderungen nach 9.5.2.4.4.2 erfüllt werden.

Bei geschraubten Stutzen darf die Querschnittsfläche des Stutzens nicht für die Verstärkung des Ausschnitts berücksichtigt werden.

9.4.8 Abstand zwischen Stutzen und Stumpfnah der Schale (Längs- oder Rundnaht)

Der Abstand zwischen der Mittellinie einer Stumpfnah der Schale (Längs- oder Rundnaht) und dem Mittelpunkt eines Ausschnittes muss entweder kleiner als $d_{ib}/6$ oder größer als der Wert für l_n sein, der sich wie folgt ergibt:

$$l_n = \min(0,5d_{eb} + 2e_{a,s}; 0,5d_{eb} + 40) \quad (9.4-4)$$

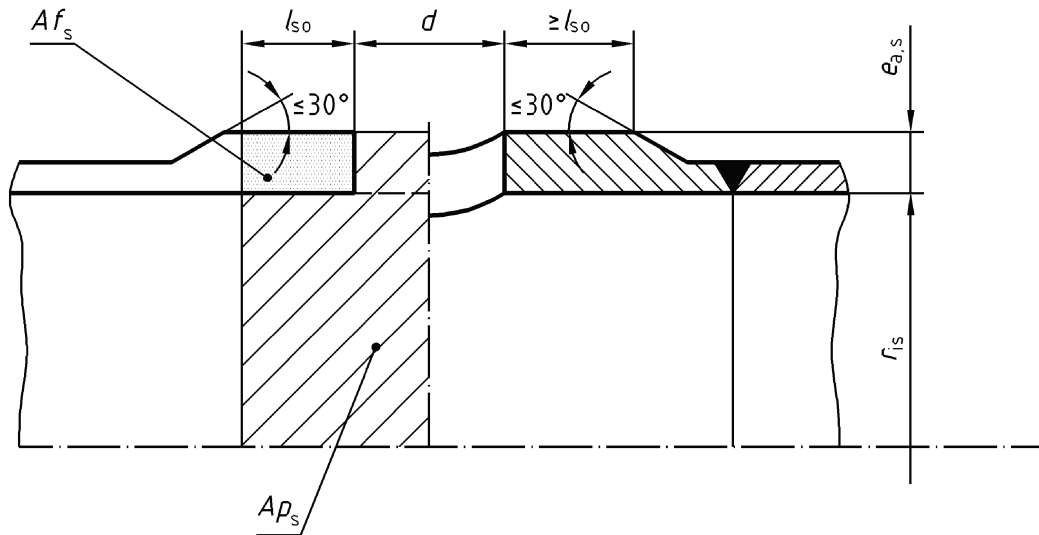


Bild 9.4-1 — Zylinderschale mit Einzelausschnitt und Verstärkung durch Wanddickenerhöhung

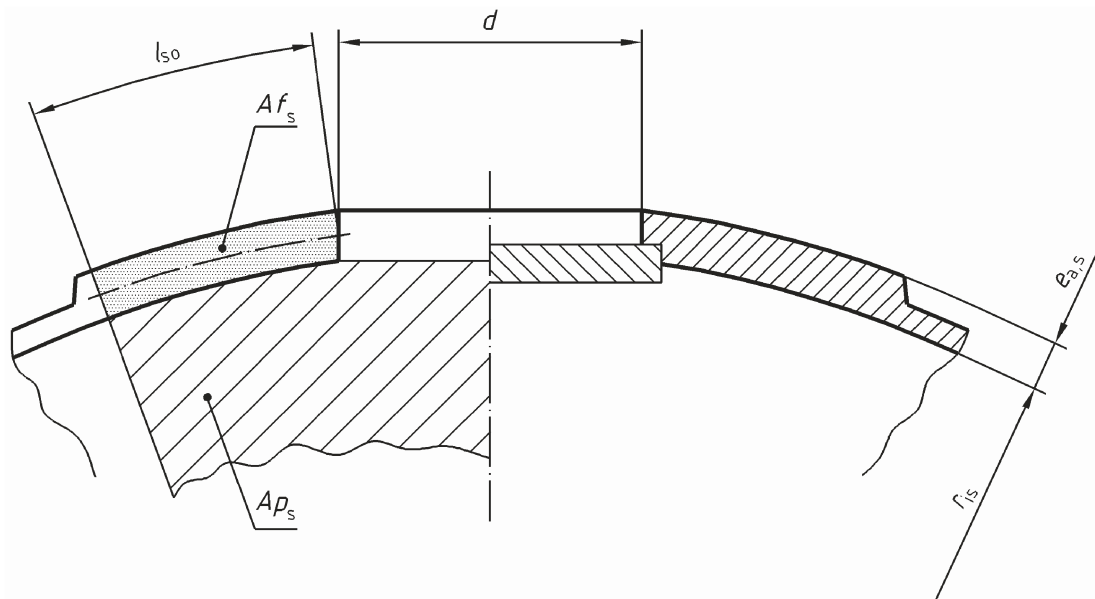


Bild 9.4-2 — Kugelschale oder gewölbter Boden mit Einzelausschnitt und Verstärkung durch Wanddickenerhöhung

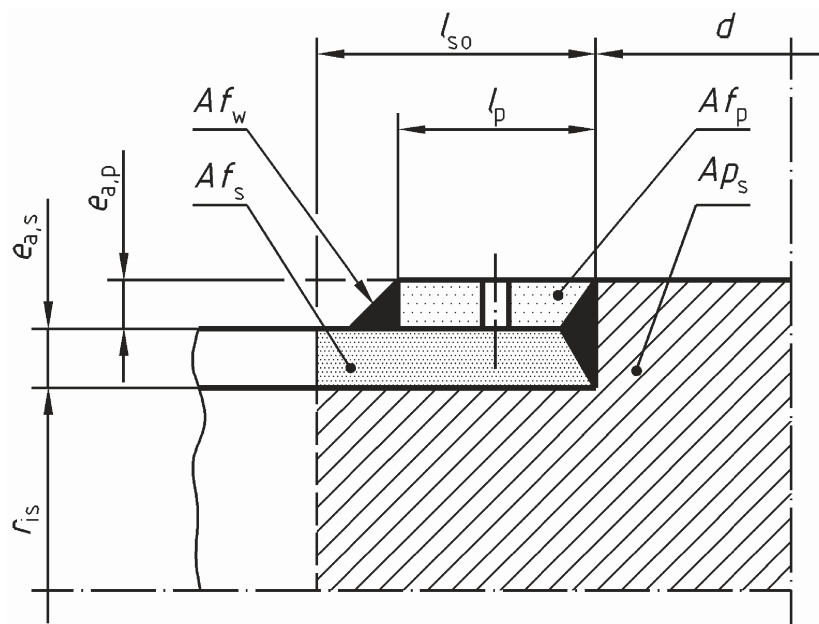


Bild 9.4-3 — Zylinderschale mit Einzelausschnitt und Verstärkung durch Verstärkungsscheibe

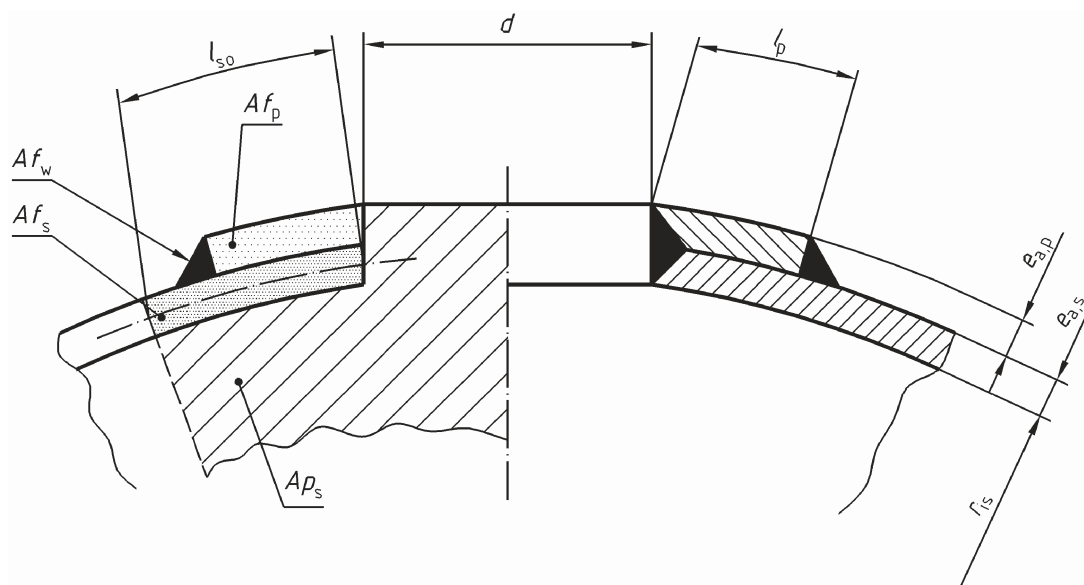


Bild 9.4-4 — Kugelschale oder gewölbter Boden mit Einzelausschnitt und Verstärkung durch Verstärkungsscheibe

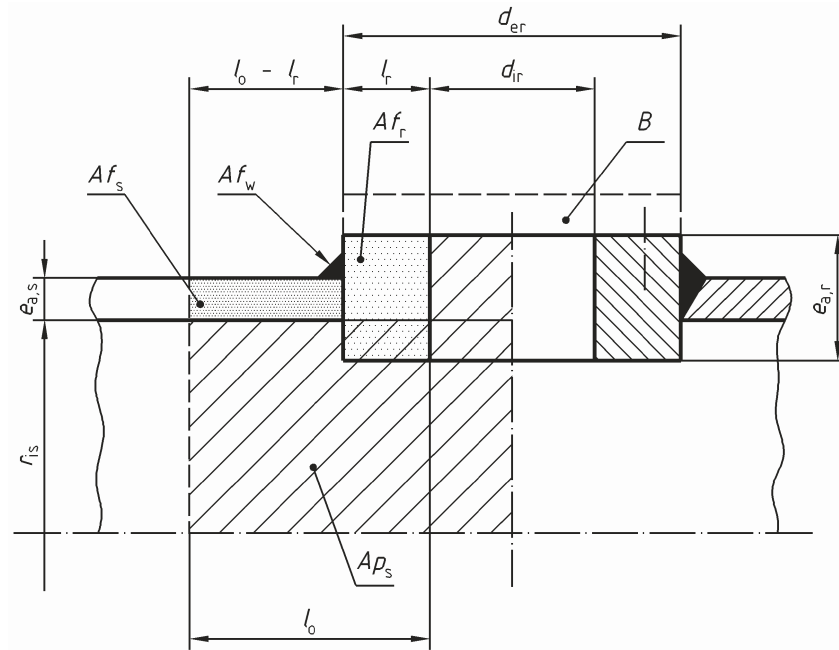


Bild 9.4-5 — Zylinderschale mit Einzelausschnitt und Verstärkung durch Verstärkungsring, mit externem Blindflansch B

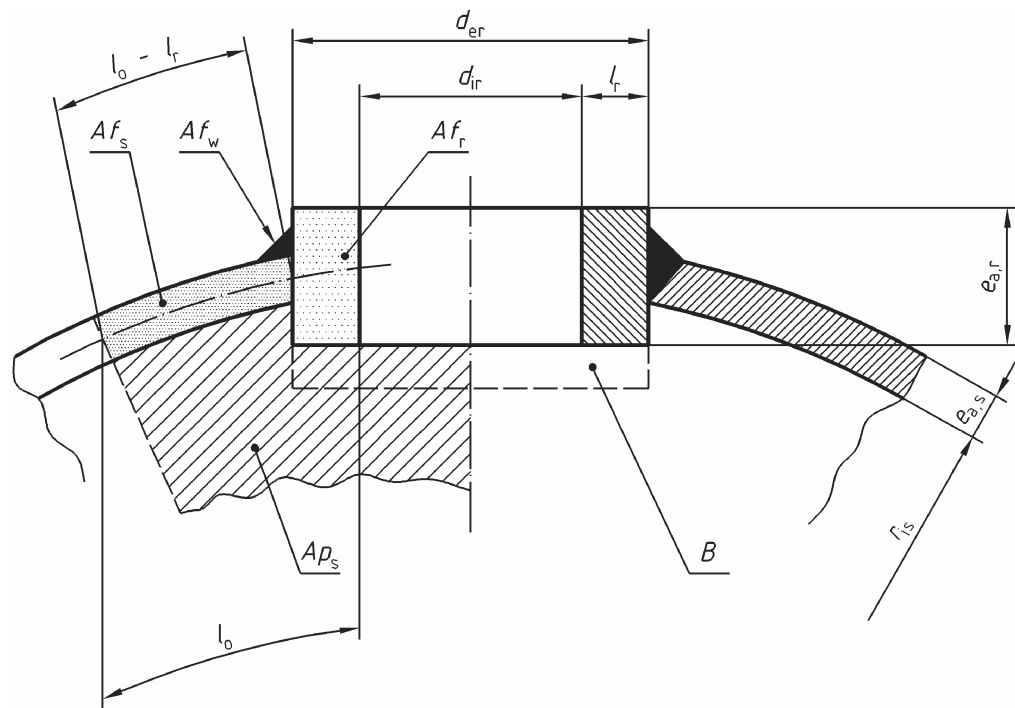


Bild 9.4-6 — Kugelschale oder gewölbter Boden mit Einzelausschnitt und Verstärkung durch Verstärkungsring, mit innerem Blindflansch B

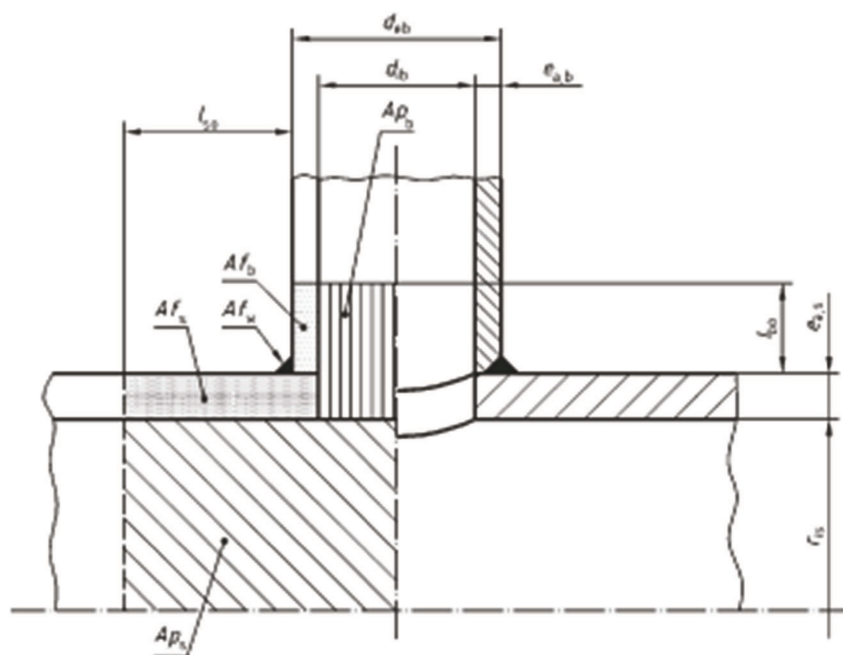


Bild 9.4-7 — Zylinderschale mit Einzelausschnitt und aufgeschweißtem Stutzen

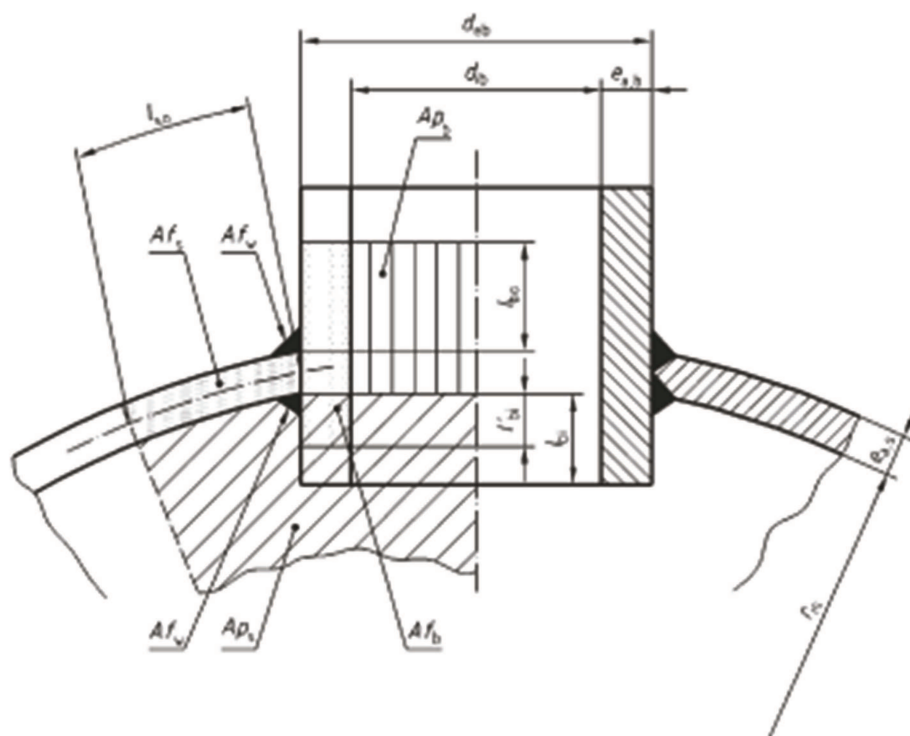


Bild 9.4-8 — Kugelschale oder gewölbter Boden mit Einzelausschnitt und eingeschweißtem Stutzen

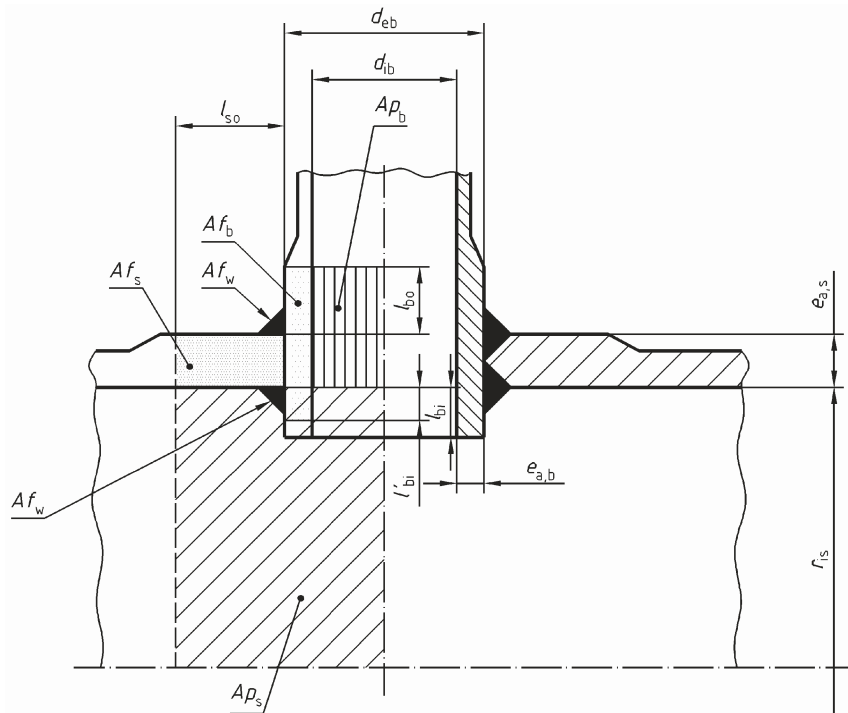
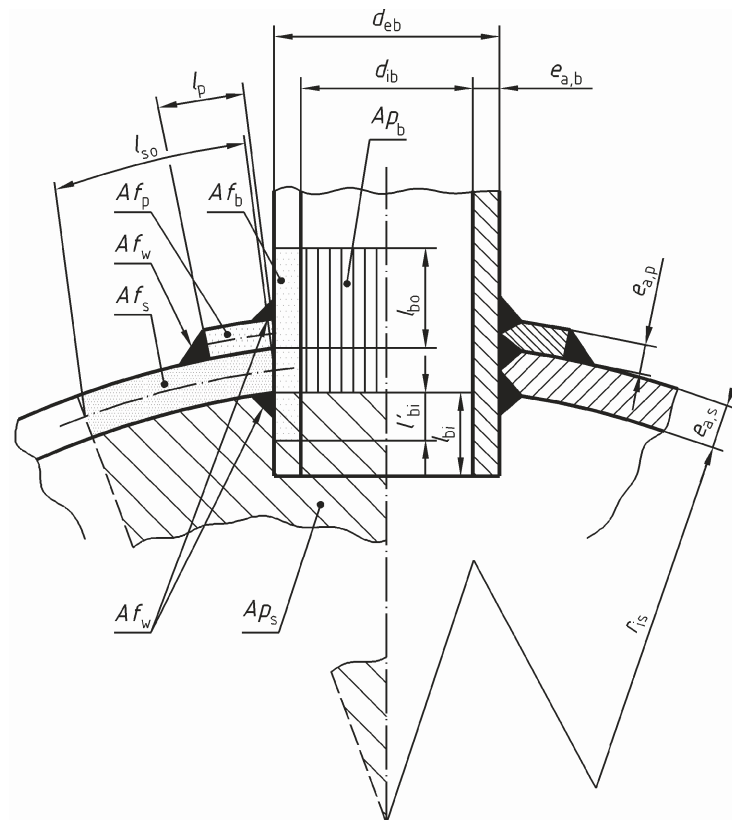


Bild 9.4-9 — Kugelschale mit Einzelausschnitt, Verstärkung durch höhere Wanddicke und eingeschweißtem Stutzen



ANMERKUNG Die für den Fall eines Stutzens in einer Kugelschale mit Verstärkungsscheibe eingetragenen Längen und Flächen gelten auch für den Fall eines Stutzens in einer Zylinderschale mit Verstärkungsscheibe.

Bild 9.4-10 — Kugelschale oder gewölbter Boden mit Einzelausschnitt und Schale, Stutzen und Verstärkungsscheibe

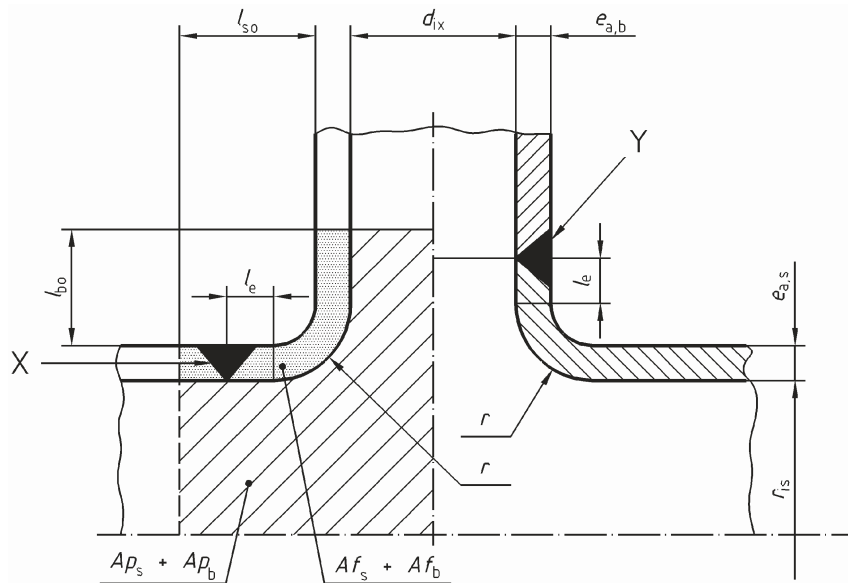


Bild 9.4-11 — Zylinderschale mit Einzelausschnitt und stumpfgeschweißtem Stutzen (siehe X) und ausgehalster Schale (siehe Y)

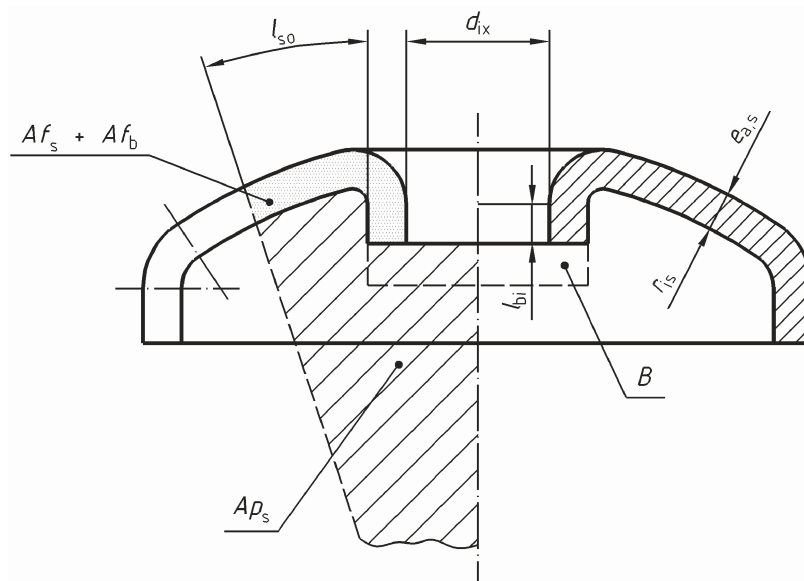
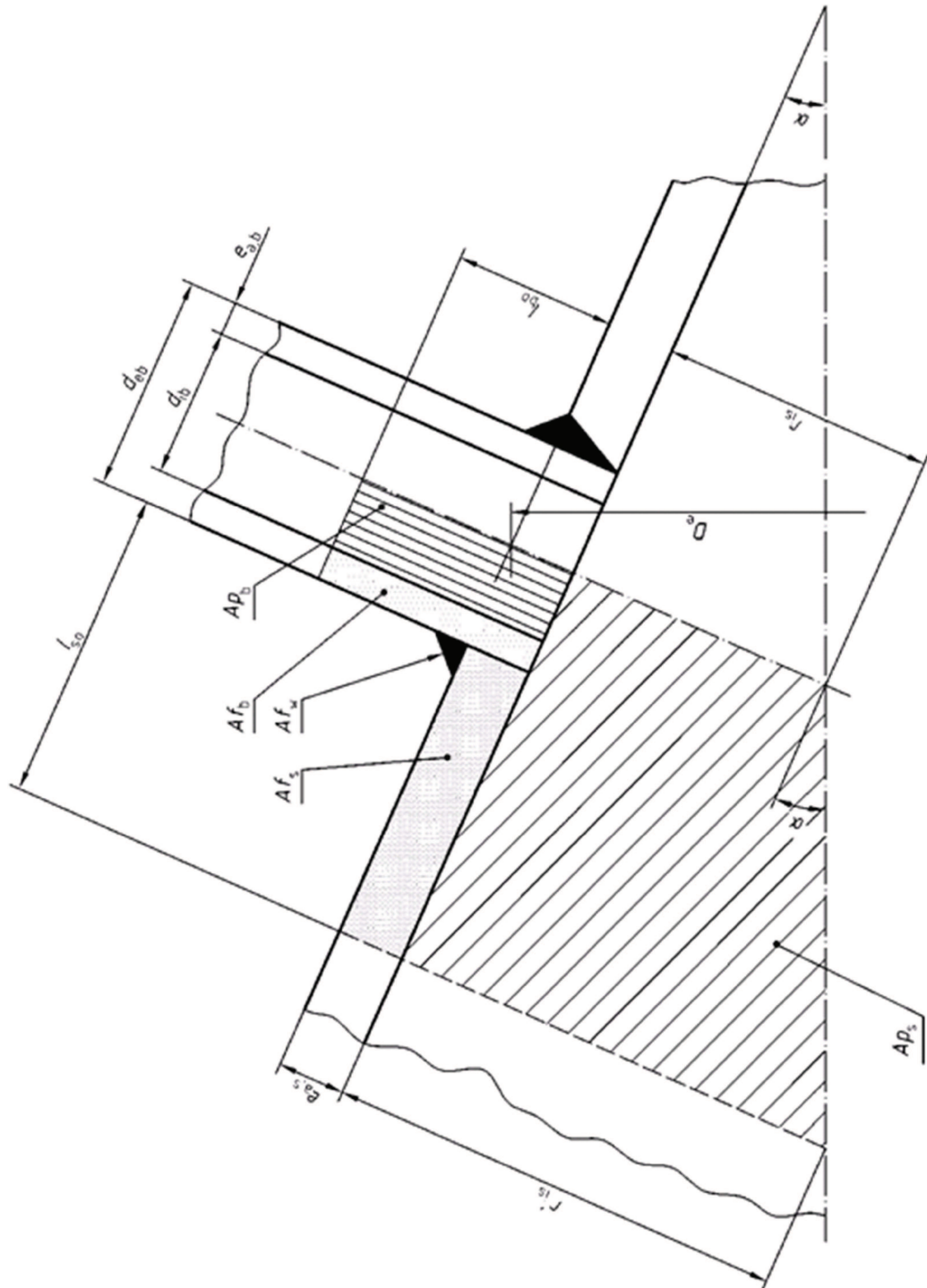


Bild 9.4-12 — Kugelschale oder gewölbter Boden mit in die Schale eingehalstem Einzelausschnitt, mit externem Blindflansch B



und Stutzen

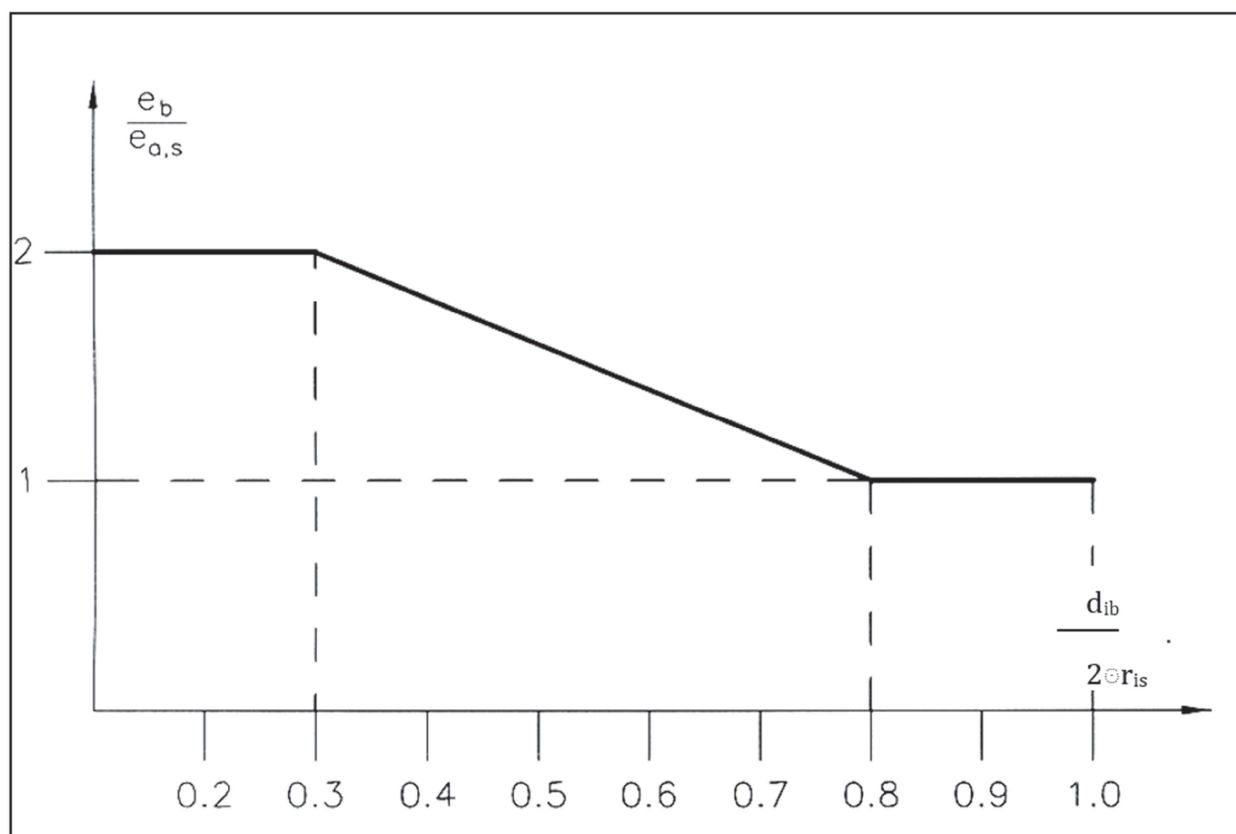


Bild 9.4-14 — Begrenzung des Wanddickenverhältnisses von Stutzen für die Verstärkungsrechnung

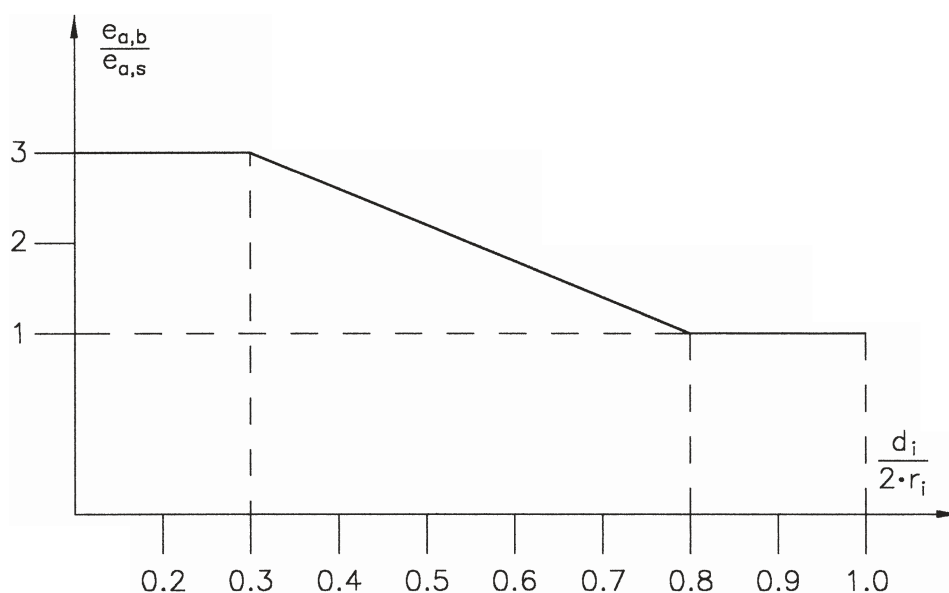


Bild 9.4-15 — Begrenzung des tatsächlichen Wanddickenverhältnisses von Stutzen für die Fertigung

9.5 Einzelausschnitte

9.5.1 Geltungsbereich

Ein Ausschnitt gilt als Einzelausschnitt, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$L_b \geq a_1 + a_2 + l_{so1} + l_{so2} \quad (9.5-1)$$

Dabei sind

a_1 und a_2 in den Bildern 9.6-1 bis 9.6-4 dargestellt und l_{so1} und l_{so2} werden wie folgt berechnet:

$$l_{so} = \sqrt{(2r_{is} + e_{c,s}) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-2)$$

Dabei ist

$e_{c,s}$ die angenommene Schalendicke, die – wie in 9.3.3 erklärt – verwendet werden muss; üblicherweise kann der Wert der Schalenberechnungsdicke $e_{a,s}$ verwendet werden, dies kann jedoch zu konservativen Ergebnissen führen, und mitunter kann die Verwendung eines kleineren Schätzwertes für $e_{c,s}$ von Vorteil sein, um kleinere Mindestabstände von den benachbarten Schalenunterbrechungen zu erhalten;

r_{is} ergibt sich wie folgt:

— bei Zylinder- oder Kugelschalen:

$$r_{is} = \frac{D_e}{2} - e_{a,s} \quad (9.5-3)$$

— bei halbkugelförmigen oder torisphärischen Böden:

$$r_{is} = R \quad (9.5-4)$$

— bei elliptischen Böden:

$$r_{is} = \frac{0,44D_i^2}{2h} + 0,02D_i \quad (9.5-5)$$

— bei Kegelschalen:

$$r_{is} = \frac{D_e}{2 \cos \alpha} - e_{a,s} \quad (9.5-6)$$

9.5.2 Verstärkungsregeln

9.5.2.1 Allgemeine Verstärkungsgleichung und Ableitungen

9.5.2.1.1 Die allgemeine Gleichung für die Verstärkung eines Einzelausschnitts lautet wie folgt:

$$(Af_s + Af_w)(f_s - 0,5P) + Af_p(f_{op} - 0,5P) + Af_b(f_{ob} - 0,5P) \geq P(Ap_s + Ap_b + 0,5Ap_\varphi) \quad (9.5-7)$$

Dabei ist

$$f_{ob} = \min(f_s; f_b) \quad (9.5-8)$$

$$f_{op} = \min(f_s; f_p) \quad (9.5-9)$$

Wenn ein Verstärkungsring eingebaut wird, müssen Af_r und Ap_r durch Af_b bzw. Ap_b ersetzt werden.

9.5.2.1.2 Für alle Ausschnitte, außer kleinen Ausschnitten und solchen mit Verstärkungsringen, kommt die Gleichung (9.5-7) zur Anwendung, insbesondere:

- a) Ist entweder f_b oder f_p kleiner oder gleich f_s , muss die Verstärkung nach Gleichung (9.5-7) ermittelt werden

und $P_{\max}$ ist wie folgt zu berechnen:

$$P_{\max} = \frac{(Af_s + Af_w) \cdot f_s + Af_b \cdot f_{ob} + Af_p \cdot f_{op}}{(Ap_s + Ap_b + 0,5Ap_\phi) + 0,5(Af_s + Af_w + Af_b + Af_p)} \quad (9.5-10)$$

- b) Sind f_b und f_p beide größer als f_s , ist die Verstärkung wie folgt zu berechnen:

$$(Af_s + Af_w + Af_p + Af_b) \cdot (f_s - 0,5P) \geq P(Ap_s + Ap_b + 0,5Ap_\phi) \quad (9.5-11)$$

$$P_{\max} = \frac{(Af_s + Af_w + Af_b + Af_p) \cdot f_s}{(Ap_s + Ap_b + 0,5Ap_\phi) + 0,5(Af_s + Af_w + Af_b + Af_p)} \quad (9.5-12)$$

9.5.2.1.3 Für Ausschnitte mit Verstärkungsring gilt:

- a) Ist f_r kleiner als f_s , gilt folgende Gleichung:

$$(Af_s + Af_w) \cdot (f_s - 0,5P) + Af_r \cdot (f_{or} - 0,5P) \geq P(Ap_s + Ap_r + 0,5Ap_\phi) \quad (9.5-13)$$

und $P_{\max}$ wird wie folgt berechnet:

$$P_{\max} = \frac{(Af_s + Af_w) \cdot f_s + Af_r \cdot f_{or}}{(Ap_s + Ap_r + 0,5Ap_\phi) + 0,5(Af_s + Af_w + Af_r)} \quad (9.5-14)$$

Dabei wird f_{or} wie folgt ermittelt:

$$f_{or} = \min(f_s; f_r) \quad (9.5-15)$$

- b) Ist f_r größer oder gleich f_s , gilt folgende Gleichung:

$$(Af_s + Af_w + Af_r) \cdot (f_s - 0,5P) \geq P(Ap_s + Ap_r + 0,5Ap_\phi) \quad (9.5-16)$$

und $P_{\max}$ wird wie folgt berechnet:

$$P_{\max} = \frac{(Af_s + Af_w + Af_r) \cdot f_s}{(Ap_s + Ap_r + 0,5Ap_\phi) + 0,5(Af_s + Af_w + Af_r)} \quad (9.5-17)$$

ANMERKUNG Zur Anwendung der Gleichungen (9.5-10), (9.5-12), (9.5-14) und (9.5-17) auf verschiedene Lastfälle, siehe 3.16, Anmerkung 1.

9.5.2.2 Kleine Ausschnitte

Als kleine Ausschnitte gelten Ausschnitte, die die folgende Bedingung erfüllen:

$$d \leq 0,15 \sqrt{(2r_{is} + e_{c,s}) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-18)$$

Ist der Abstand w_p eines kleinen Ausschnitts von einer Störstelle der Schale größer als der in 9.7.3 angegebene Wert und die Druckbelastung nach 5.4.2 überwiegend nicht-zyklischer Art, ist keine Verstärkung erforderlich. Wird mindestens eine dieser Bedingungen nicht erfüllt, ist eine Verstärkung nach Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erforderlich. Der Abstand w zwischen dem kleinen Ausschnitt und der Störstelle der Schale muss auf jeden Fall den in 9.7.1 geforderten Mindestwert $w_{\min}$ einhalten.

9.5.2.3 Allgemeine Anforderungen für Verstärkungen

9.5.2.3.1 Verstärkungsscheiben

Werden für die Verstärkung Verstärkungsscheiben verwendet (siehe Bilder 9.4-3, 9.4-4, 9.4-10), gilt:

- Verstärkungsscheiben müssen unmittelbar an der Schale anliegen.
- Die für die Verstärkung anrechenbare Breite der Verstärkungsscheibe l'_p wird wie folgt berechnet:

$$l'_p = \min(l_{so}; l_p) \quad (9.5-19)$$

- Die Nennwanddicke der Verstärkungsscheibe darf nicht größer als das 1,5-Fache der Nennwanddicke der Schale sein, auf der die Verstärkungsscheibe montiert ist.
- $e_{a,p}$ und l_p sind Maße von Verstärkungsscheiben, die in Gleichungen für Ausschnitte eingesetzt werden, die auch durch Verstärkungsscheiben verstärkt werden dürfen; ist keine Verstärkungsscheibe vorhanden, sind die Werte $e_{a,p}$ und l_p gleich Null zu setzen. Wenn der Verstärkungsring zu Verstärkung beiträgt, gilt in jedem Fall:

$$A f_p = l'_p \cdot e_{a,p} \quad (9.5-20)$$

9.5.2.3.2 Schweißnahtfaktor

9.5.2.3.2.1 Ausschnitt im Bereich einer bestimmenden Schweißnaht der Schale

Befindet sich im Bereich des Ausschnitts eine bestimmende Schweißnaht der Schale (siehe 5.6), muss der Wert f_s in Gleichung (9.5-7, 11, 13 und 16) für den Schalenwerkstoff durch $f_s \cdot z$ ersetzt werden, wobei z der Schweißnahtfaktor der die Bemessung bestimmenden Schweißnaht ist.

9.5.2.3.2.2 Stutzen mit Längsnaht

Bei einem Stutzen mit Längsnaht und einem Schweißnahtfaktor z muss der Wert f_b für den Stutzenwerkstoff durch $f_b \cdot z$ ersetzt werden, ausgenommen sind Ausschnitte in Zylinder- oder Kegelschalen, wenn der Winkel θ nach der Festlegung in 9.3.3 größer als 45° ist.

9.5.2.3.2.3 Verstärkungsscheibe mit Schweißnaht

Bei einer Verstärkungsscheibe mit einer Schweißnaht mit einem Schweißnahtfaktor z muss der Wert f_p für den Scheibenwerkstoff durch $f_p \cdot z$ ersetzt werden; ausgenommen sind Ausschnitte in Zylinder- oder Kegelschalen, wenn der Winkel zwischen der Schweißnaht der Scheibe und der Mantellinie der Schale größer als 45° ist.

9.5.2.3.3 Als Ausgleich dienende Kehlnahtflächen

In allen Fällen gilt:

- Af_w ist die Fläche aller Verbindungsnahte zwischen verschiedenen Bauteilen (Schale und Stutzen, Schale und Verstärkungsring oder Verstärkungsscheibe) innerhalb der Länge l'_s auf der Schale (siehe 9.5.2.4.2) und den Längen l'_b und l'_{bi} auf dem Stutzen (siehe 9.5.2.4.4.1). Bereits in anderen Flächen berücksichtigte Schweißnahtflächen, z. B. Af_s , Af_r , Af_p oder Af_b , dürfen nicht in Af_w aufgenommen werden (siehe Bilder 9.4-6 und 9.4-10).

9.5.2.4 Druckbeanspruchte Querschnittsflächen A_p und spannungsbeanspruchte Querschnittsflächen A_f

9.5.2.4.1 Allgemeines

Mit Bezug auf die allgemeinen Gleichungen und Ableitungen nach 9.5.2.1 sind die spannungs- und druckbeanspruchten Querschnittsflächen nach verschiedenen Gleichungen in Abhängigkeit der unterschiedlichen Fälle von Schalen und Stutzen zu berechnen.

Bei Vorhandensein von Verstärkungsscheiben ist die Querschnittsfläche Af_p nach 9.5.2.3.1 zu berechnen.

Bei den zur Verstärkung beitragenden Kehlnahtflächen muss die Querschnittsfläche Af_w nach 9.5.2.3.3 errechnet werden.

Für die zusätzliche druckbelastete Querschnittsfläche $A_{p\phi}$ aufgrund der Schrägstellung eines Stutzens, siehe 9.5.2.4.5.

9.5.2.4.2 Schalen mit Ausschnitten ohne Stutzen oder Verstärkungsring, mit oder ohne Verstärkungsscheiben

9.5.2.4.2.1 An einer Zylinderschale, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf die Bilder 9.4-1 und 9.4-3 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$a = \frac{d}{2} \quad (9.5-21)$$

$$r_{is} = \frac{D_e}{2} - e_{a,s} \quad (9.5-22)$$

$$l_{so} = \sqrt{\left((D_e + 2e_{a,s}) + e_{c,s}\right) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-23)$$

$$l'_s = \min(l_{so}; l_s) \quad (9.5-24)$$

$$A_{p_s} = r_{is}(l'_s + a) + a \cdot (e_{a,s} + e_{a,p}) \quad (9.5-25)$$

$$A_{f_s} = l'_s \cdot e_{c,s} \quad (9.5-26)$$

Wenn der Deckel des Ausschnittes innerhalb der Schale liegt (siehe Bild 9.4-2), dann gilt:

$$A_{p_s} = r_{is}(l'_s + a) \quad (9.5-27)$$

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.2.2 An einer Kegelschale, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf Bild 9.4-13 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$a = \frac{d}{2} \quad (9.5-28)$$

$$r_{is} = \frac{D_e}{2 \cos \alpha} - e_{a,s} \quad (9.5-29)$$

$$l_{so} = \sqrt{\left(\left(\frac{D_e}{\cos \alpha} - 2e_{a,s} \right) + e_{c,s} \right) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-30)$$

$$l'_s = \min(l_{so}; l_s) \quad (9.5-31)$$

$$Af_s = l'_s \cdot e_{c,s} \quad (9.5-32)$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot (l'_s + a) \cdot (2r_{is} + (l'_s + a) \tan \alpha) + a \cdot (e_{a,s} + e_{a,p}) \quad (9.5-33)$$

Wenn der Deckel des Ausschnittes innerhalb des Ringes angeordnet ist, dann gilt:

$$Ap_s = 0,5 \cdot (l'_s + a) \cdot (2r_{is} + (l'_s + a) \tan \alpha) \quad (9.5-34)$$

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.2.3 An Kugelschalen, gewölbten Böden, Zylinder- und Kegelschalen, Querschnittsfläche in Querrichtung

Mit Bezug auf die Bilder 9.4-2 und 9.4-4, müssen in den folgenden Gleichungen die Werte für r_{is} denen der Gleichungen (9.5-3) bis (9.5-6) in 9.5-1 entsprechen.

$$l_{so} = \sqrt{(2r_{is} + e_{c,s}) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-35)$$

$$l'_s = \min(l_{so}; l_s) \quad (9.5-36)$$

$$r_{ms} = (r_{is} + 0,5 \cdot e_{a,s}) \quad (9.5-37)$$

$$\delta = \frac{d}{2 \cdot r_{ms}} \quad (9.5-38)$$

$$a = r_{ms} \cdot \arcsin \delta \quad (9.5-39)$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0,5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} + a \cdot (e_{a,s} + e_{a,p}) \quad (9.5-40)$$

$$Af_s = l'_s \cdot e_{c,s} \quad (9.5-41)$$

Wenn der Deckel des Ausschnittes innerhalb der Schale angeordnet ist, dann gilt:

$$Ap_s = 0,5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0,5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} \quad (9.5-42)$$

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.3 Schalen mit Ausschnitten ohne Stutzen, verstärkt durch Verstärkungsringe

9.5.2.4.3.1 Allgemeines

Dies gilt nur, wenn eingeschweißte Verstärkungsringe nach den Bildern 9.4-5 und 9.4-6 verwendet werden. Die für die Verstärkung anrechenbare Breite e_r des Verstärkungsringes ist wie folgt zu berechnen:

$$e_r = \min(e_{a,r}; \max(3e_{c,s}; 3l_r)) \quad (9.5-43)$$

ANMERKUNG Bei der hier beschriebenen Auslegung wird die Dichtheit nicht berücksichtigt. Zusätzliche Berechnung kann erforderlich sein. Siehe Anhang G zur Flanschöffnung im Kugelboden (Bild G.3-7 b)).

Wenn Ring plus Schale als Schalenwand mit variabler Dicke betrachtet werden, die ab der Bohrung des Verstärkungsringes beginnt (siehe Bilder 9.4-5 und 9.4-6), ergibt sich die maximale Länge l_o von Ring plus Schale aus der Bohrung, welche als Austrittsverstärkung fungiert, aus:

$$l_o = \sqrt{(2r_{is} + e_{a,m}) \cdot e_{a,m}} \quad (9.5-44)$$

$$l_o = l_r + (l_o - l_r) \quad (9.5-45)$$

Dabei ist

$e_{a,m}$ die durchschnittliche Dicke (erreicht durch die Berücksichtigung von e_r und $e_{c,s}$ und durch iterative Berechnung) an der Länge l_o :

$$e_{a,m} = e_{c,s} + (e_r - e_{c,s}) \cdot \frac{l_r}{l_o} \quad (9.5-46)$$

mit

$$\frac{l_r}{l_o} \leq 1 \quad (9.5-47)$$

Ist die Breite des Verstärkungsringes l_r größer als l_o , muss für die Verstärkungsberechnung $l_r = l_o$ angesetzt werden.

Deshalb beträgt die effektive Länge l'_s der Schale für die Berechnung von Ap_s und Af_s :

$$l'_s = \min(l_s; (l_o - l_r)) \quad (9.5-48)$$

9.5.2.4.3.2 Verstärkungsring an Zylinderschale, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf Bild 9.4-5 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$a = \frac{d_{er}}{2} \quad (9.5-49)$$

$$r_{is} = \frac{D_e}{2} - e_{a,s} \quad (9.5-50)$$

$$l_o = \sqrt{((D_e - 2e_{a,s}) + e_{a,m}) \cdot e_{a,m}} \quad (9.5-51)$$

$$Af_s = l'_s \cdot e_{c,s} \quad (9.5-52)$$

$$Af_r = l_r \cdot e_r \quad (9.5-53)$$

$$Ap_s = \left(\frac{D_e}{2} - e_{a,s} \right) \cdot (l'_s + a) + e_{a,r} \cdot a \quad (9.5-54)$$

Wenn der Deckel des Ausschnittes innerhalb des Ringes angeordnet ist, dann gilt:

$$Ap_s = \left(\frac{D_e}{2} - e_{a,s} \right) \cdot (l'_s + a) \quad (9.5-55)$$

9.5.2.4.3.3 Verstärkungsring an Kegelschale, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf die Bilder 9.4-5 und 9.4-13 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$a = \frac{d_{er}}{2} \quad (9.5-56)$$

$$r_{is} = \frac{D_e}{2 \cos \alpha} - e_{a,s} \quad (9.5-57)$$

$$l_o = \sqrt{\left(\left(\frac{D_e}{\cos \alpha} - 2e_{a,s} \right) + e_{a,m} \right) \cdot e_{a,m}} \quad (9.5-58)$$

$$Af_s = l'_s \cdot e_{c,s} \quad (9.5-59)$$

$$Af_r = l_r \cdot e_r \quad (9.5-60)$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot (l'_s + l_r + a) \cdot (2r_{is} + (l'_s + l_r + a) \tan \alpha) + e_{a,r} \cdot a \quad (9.5-61)$$

Wenn der Deckel des Ausschnittes innerhalb des Ringes angeordnet ist, dann gilt:

$$Ap_s = 0,5 \cdot (l'_s + a) \cdot (2r_{is} + (l'_s + a) \tan \alpha) \quad (9.5-62)$$

9.5.2.4.3.4 Verstärkungsring an Kugelschale, gewölbtem Boden, Zylinder- und Kegelschale, Querschnittsfläche in Querrichtung

Mit Bezug auf Bild 9.4-6 müssen in den folgenden Gleichungen die Werte für r_{is} denen der Gleichungen (9.5-3) bis (9.5-6) in 9.5-1 entsprechen.

$$r_{ms} = (r_{is} + 0,5 \cdot e_{a,s}) \quad (9.5-63)$$

$$\delta = \frac{d_{er}}{2 \cdot r_{ms}} \quad (9.5-64)$$

$$d_{er} = d_{ir} + 2 l_r \quad (9.5-65)$$

$$a = r_{ms} \cdot \arcsin \delta \quad (9.5-66)$$

$$l_o = \sqrt{(2r_{is} + e_{a,m}) \cdot e_{a,m}} \quad (9.5-67)$$

$$\delta_r = \frac{d_{ir}}{2 \cdot r_{ms}} \quad (9.5-68)$$

$$a_r = r_{ms} \cdot \arcsin \delta_r \quad (9.5-69)$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0,5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} + e_{a,r} \cdot a_r \quad (9.5-70)$$

$$Af_s = l'_s \cdot e_{c,s} \quad (9.5-71)$$

$$Af_r = l_r \cdot e_r \quad (9.5-72)$$

Wenn der Deckel des Ausschnittes innerhalb des Ringes angeordnet ist, dann gilt:

$$Ap_s = 0,5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0,5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} \quad (9.5-73)$$

Für den Fall, dass der Ring einen Vorsprung innerhalb der Schale hat, sind Gleichungen (9.5-72) und (9.5-75) konservativ. Ist diesem Fall ist es zulässig, Ap_s wie in den Bildern 9.4-5 und 9.4-6 dargestellt, mit Hilfe eines Grafikverfahren zu bestimmen.

9.5.2.4.4 Stützen senkrecht zur Schale, mit oder ohne Verstärkungsscheiben

9.5.2.4.4.1 Allgemeines

Dieser Unterabschnitt bezieht sich auf die Bilder 9.4-7 bis 9.4-13.

Bei Aufschweißstützen (siehe Bild 9.4-7) oder Einschweißstützen (siehe Bild 9.4-8) darf die für die Verstärkung anrechenbare Länge des Stützens nicht größer sein als l_{bo} . Der Wert für l_{bo} wird wie folgt berechnet:

$$l_{bo} = \sqrt{(d_{eb} - e_b) \cdot e_b} \quad (9.5-74)$$

Für die Berechnung des Wertes l_{bo} muss der Durchmesser d_{eb} von Stützen mit elliptischen oder länglich rundem Querschnitt neben der kleinsten Größe der Bohrung genommen werden.

Für überstehende Stützen (siehe Bilder 9.4-8 bis 9.4-10) gilt:

$$l'_{bi} = \min(l_{bi}; 0,5l_{bo}) \quad (9.5-75)$$

Für Einschweißstützen gilt:

$$Af_b = e_b \cdot (l'_b + l'_{bi} + e'_s) \quad (9.5-76)$$

$$Af_s = l'_s \cdot e_{c,s} \quad (9.5-77)$$

Für Aufschweißstützen gilt:

$$Af_b = e_b \cdot l'_b \quad (9.5-78)$$

$$Af_s = (l'_s + e_b) \cdot e_{c,s} \quad (9.5-79)$$

Dabei ist

$$l'_b = \min(l_{b0}; l_b) \quad (9.5-80)$$

$$l'_s = \min(l_{s0}; l_s) \quad (9.5-81)$$

e'_s die Einstecktiefe (vollständig oder teilweise) des Einschweißstutzens in der Schalenwand, jedoch nicht größer als $e_{a,s}$.

Für Einschweiß- und Aufschweißstutzen gilt:

$$Ap_b = 0,5d_{ib} \cdot (l'_b + e_{a,s}) \quad (9.5-82)$$

Wird für die Verstärkung zusätzlich eine Verstärkungsscheibe verwendet, dann gilt:

$$Ap_p = 0 \quad (9.5-83)$$

$$Af_p = e_p \cdot l'_p \quad (9.5-84)$$

mit

$$l'_p = \min(l_{s0}; l_p) \quad (9.5-85)$$

Die Nennwanddicke der Verstärkungsscheibe darf nicht größer als das 1,5-fache der Nennwanddicke der Schale sein, auf der die Verstärkungsscheibe montiert ist.

9.5.2.4.4.2 Ausgehalste Stutzen

Für ausgehalste Stutzen gelten die Bilder 9.4-11, Form Y, und 9.4-12. Sowohl Af_s als auch Af_b müssen zum Ausgleich für Dickenabnahmen bei der Herstellung mit dem Faktor 0,9 multipliziert werden, wenn die Mindestdicke bzw. die tatsächliche Dicke des ausgehalsten Teils nicht bekannt ist.

Für stumpfgeschweißte Stutzen nach Bild 9.4-11, Form X, und ausgehalste Stutzen nach Bild 9.4-11, Form Y, und Bild 9.4-12 müssen die druckbeanspruchten Flächen Ap und die spannungsbeanspruchten Querschnittsflächen Af der Stutzen nach einem geeigneten Verfahren berechnet werden.

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.4.3 Stutzen in Zylinderschale, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf die Bilder 9.4-7 und 9.4-9 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$a = \frac{d_{eb}}{2} \quad (9.5-86)$$

$$r_{is} = \frac{D_e}{2} - e_{a,s} \quad (9.5-87)$$

$$l_{s0} = \sqrt{\left((D_e - 2e_{a,s}) + e_{c,s}\right) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-88)$$

$$l'_s = \min(l_{s0}; l_s) \quad (9.5-89)$$

$$Ap_s = r_{is} \cdot (l'_s + a) \quad (9.5-90)$$

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.4.4 Stützen in Kegelschale, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf Bild 9.4-13 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$a = \frac{d_{eb}}{2} \quad (9.5-91)$$

$$r_{is} = \frac{D_e}{2 \cos \alpha} - e_{a,s} \quad (9.5-92)$$

$$l_{so} = \sqrt{\left(\left(\frac{D_e}{\cos \alpha} - 2e_{a,s} \right) + e_{c,s} \right) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-93)$$

$$l'_s = \min(l_{so}; l_s) \quad (9.5-94)$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot (l'_s + a) \cdot (2r_{is} + (l'_s + a) \tan \alpha) \quad (9.5-95)$$

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.4.5 Stützen in Kugelschalen, gewölbten Böden, Zylinder- und Kegelschalen, Querschnittsfläche in Querrichtung

Mit Bezug auf die Bilder 9.4-8 und 9.4-10, müssen in den folgenden Gleichungen die Werte für r_{is} denen der Gleichungen (9.5-3) bis (9.5-6) in 9.5.1 entsprechen.

$$l_{so} = \sqrt{(2r_{is} + e_{c,s}) \cdot e_{c,s}} \quad (9.5-96)$$

$$l'_s = \min(l_{so}; l_s) \quad (9.5-97)$$

$$r_{ms} = (r_{is} + 0,5 \cdot e_{a,s}) \quad (9.5-98)$$

$$\delta = \frac{d_{eb}}{2 \cdot r_{ms}} \quad (9.5-99)$$

$$a = r_{ms} \cdot \arcsin \delta \quad (9.5-100)$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0,5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} \quad (9.5-101)$$

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.5 Stützen schräg zur Schale, mit oder ohne Verstärkungsscheiben

9.5.2.4.5.1 Allgemeines

Dieser Unterabschnitt bezieht sich auf die Bilder 9.5-1, 9.5-2 und 9.5-3.

Für den schrägen Stützen gilt in allen Fällen:

- Ap_ϕ ist die zusätzliche Fläche aufgrund der Schrägstellung des Stützens und ist gleich Null, wenn der Stützen senkrecht ($\phi = 0$) zur Schale angeordnet ist (siehe Bilder 9.5-1 und 9.5-3).

9.5.2.4.5.2 Allgemeines für Zylinder- und Kegelschalen

Wenn ein Stutzen schräg zur Querschnittsfläche in Querrichtung verläuft (siehe Bild 9.5-2) und ϕ den folgenden Wert nicht überschreitet:

$$\phi \leq \arcsin(1 - \delta) \quad (9.5-102)$$

Dabei ist

$$\delta = \frac{d_{eb}}{2(r_{is} + 0,5e_{a,s})} \quad (9.5-103)$$

Die Verstärkung für die Querschnittsflächen in Längs- und Querrichtung ist zu prüfen. Für die Prüfung der Querschnittsfläche in Längsrichtung ist ϕ gleich Null zu setzen.

Wenn die Stutzenachse schräg zur Querschnittsfläche in Längsrichtung verläuft (siehe Bild 9.5-1) und ϕ einen Winkel von 60° nicht überschreitet, dann ist eine Prüfung der Verstärkung lediglich für die Querschnittsfläche in Längsrichtung erforderlich.

Die Verstärkung muss immer an der Seite des Stutzens berechnet werden, auf der der Winkel zwischen Stutzen- und Schalenachse kleiner als 90° ist.

Der Abstand a ist wie folgt zu berechnen:

- a) bei Zylinder- und Kegelschalen für die Querschnittsflächen in Längsrichtung:

$$a = 0,5 \cdot \frac{d_{eb}}{\cos \phi} \quad (9.5-104)$$

- b) bei Zylinder- und Kegelschalen für die Querschnittsfläche in Querrichtung:

$$a = 0,5r_{ms} \cdot [\arcsin(\delta + \sin \phi) + \arcsin(\delta - \sin \phi)] \quad (9.5-105)$$

mit

$$r_{ms} = (r_{is} + 0,5 \cdot e_{a,s}) \quad (9.5-106)$$

$$\delta = \frac{d_{eb}}{2 \cdot r_{ms}} \quad (9.5-107)$$

Die zusätzliche Fläche aufgrund der Schrägstellung des Stutzens ist wie folgt zu bestimmen:

$$Ap_\phi = \frac{d_{ib}^2}{2} \cdot \tan \phi \quad (9.5-108)$$

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.5.3 Schräger Stutzen in Zylinderschalen, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf Bild 9.5-1 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$Ap_s = r_{is} \cdot (l'_s + a) \quad (9.5-109)$$

Dabei wird

a nach 9.5.2.4.5.2 berechnet.

Die Werte für r_{is} , l_{so} , l'_s sind nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.3 zu berechnen.

Die Werte für l_{bo} , l'_{bi} , e'_s , Af_b , Af_s , Ap_b , Ap_p , Af_p und e_p sind nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.1 zu berechnen.

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.5.4 Schräger Stutzen in Kegelschalen, Querschnittsfläche in Längsrichtung

Mit Bezug auf die Bilder 9.5-1 und 9.4-13 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$Ap_s = 0,5 \cdot (l'_s + a) \cdot (2r_{is} + (l'_s + a) \tan \alpha) \quad (9.5-110)$$

Dabei wird

a nach 9.5.2.4.5.2 berechnet.

Dies gilt auch, wenn die tatsächliche Richtung der Stutzenachse zu einem reduzierten Wert für Ap_s auf der Stutzenseite führt, für die die Verstärkung zu berechnen ist. Das bedeutet, dass die Gleichung für Ap_s bei einer Neigung der Stutzenachse entlang der Mantellinie der Kegelschale sowohl in der einen als auch in der anderen Richtung angewendet werden sollte.

Die Werte für r_{is} , l_{so} , l'_s sind nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.4 zu berechnen.

Die Werte für l_{bo} , l'_{bi} , e'_s , Af_b , Af_s , Ap_b , Ap_p , Af_p und e_p sind nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.1 zu berechnen.

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.5.5 Schräger Stutzen in Zylinder- und Kegelschalen, Querschnittsfläche in Querrichtung

Mit Bezug auf Bild 9.5-2 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$Ap_s = 0,5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0,5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} \quad (9.5-111)$$

Dabei wird

a nach 9.5.2.4.5.2 berechnet.

Die Werte für r_{is} , l_{so} , l'_s werden nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.5 zu berechnen.

Die Werte für l_{bo} , l'_{bi} , e'_s , Af_b , Af_s , Ap_b , Ap_p , Af_p und e_p sind nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.1 zu berechnen.

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.

9.5.2.4.5.6 Allgemeines für schräge Stützen an Kugelschalen und gewölbten Böden

Dieser Unterabschnitt gilt für Stützen an Kugelschalen und kugelförmigen Abschnitten gewölbter Böden sowie elliptischer Böden (siehe Bild 9.5-3), deren Achse schräg zum Schalenradius verläuft und einen Winkel mit diesem bildet, der nicht größer sein darf als der durch die folgende Gleichung gegebene Wert:

$$\varphi < \arcsin(1 - \delta) \quad (9.5-112)$$

Dabei ist

$$\delta = \frac{d_{eb}}{2 \cdot r_{ms}} \quad (9.5-113)$$

$$r_{ms} = (r_{is} + 0,5 \cdot e_{a,s}) \quad (9.5-114)$$

Mit Bezug auf Bild 9.5-3 müssen in den folgenden Gleichungen die Werte für r_{is} denen der Gleichungen (9.5-3) bis (9.5-6) in 9.5-1 entsprechen.

Die Verstärkung muss in der Ebene berechnet werden, die durch die Stützenachse und den Kugelradius durch den Stützenmittelpunkt gebildet wird. Bei der Berechnung sind nur die Flächen auf der Seite des Stützens zu berücksichtigen, auf der der Winkel zwischen Stützenwand und Kugeloberfläche kleiner 90° ist. Allerdings muss l'_s auf beiden Seiten des Stützens berechnet werden, wobei dann der kleinere der beiden Werte zu wählen ist.

Für Kugelschalen und gewölbte Böden wird der Wert für a wie folgt berechnet:

$$a = 0,5r_{ms} \cdot [\arcsin(\delta + \sin \phi) + \arcsin(\delta - \sin \phi)] \quad (9.5-115)$$

Dabei ist

$$r_{ms} = (r_{is} + 0,5 \cdot e_{a,s}) \quad (9.5-116)$$

$$\delta = \frac{d_{eb}}{2 \cdot r_{ms}} \quad (9.5-117)$$

Die zusätzliche Fläche aufgrund der Schrägstellung des Stützens ist wie folgt zu bestimmen:

$$Ap_\phi = \frac{d_{ib}^2}{2} \cdot \tan \phi \quad (9.5-118)$$

Mit Bezug auf Bild 9.5-3 sind die für Ausgleichszwecke bei Ausschnitten dienenden Werte wie folgt zu berechnen:

$$Ap_s = 0,5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0,5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} \quad (9.5-119)$$

Dabei wird

a nach 9.5.2.4.5.6 berechnet.

Die Werte für r_{is} , l_{so} , l'_s sind nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.5 zu berechnen.

Die Werte für l_{bo} , l'_{bi} , e'_s , Af_s , Af_b , Ap_b , Ap_p , Af_p und e_p sind nach den Gleichungen und Bedingungen in 9.5.2.4.4.1 zu berechnen.

Für eine ausreichende Verstärkung muss entweder Gleichung (9.5-7) oder (9.5-11) erfüllt sein.