

DIN EN 13445-3/A8

ICS 23.020.30

EntwurfEinsprüche bis 2018-01-10
Vorgesehen als Änderung von
DIN EN 13445-3:2016-12**Unbefeuerte Druckbehälter –
Teil 3: Konstruktion;
Deutsche und Englische Fassung EN 13445-3:2014/prA8:2017**

Unfired pressure vessels –
Part 3: Design;
German and English version EN 13445-3:2014/prA8:2017

Réceptifs sous pression non soumis à la flamme –
Partie 3: Conception;
Version allemande et anglaise EN 13445-3:2014/prA8:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-11-10 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, Burggrafenstr. 6, 10787 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 101 Seiten

DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-3:2014/prA8:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ (Sekretariat: BSI, Vereinigtes Königreich) des Europäischen Komitees für Normung (CEN) erarbeitet.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 012-00-05 AA „Unbefeuerte Druckbehälter“ des DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA) verantwortlich.

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 2.8l

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
1 Änderung an Abschnitt 2, Normative Verweisungen	4
2 Änderung an Unterabschnitt 5.3.1, Einwirkung.....	4
3 Ergänzung eines neuen Unterabschnitts 5.3.2.4, Lastkombinationen.....	4
4 Ergänzung eines neuen Unterabschnitts 6.7 Berechnungsnennspannung von Verankerungsschrauben	8
5 Änderung an Abschnitt 8.4, Allgemeines.....	8
6 Änderung an Unterabschnitt 16.4, Lokale Lasten an Stützen in Kugelschalen.....	8
7 Änderung an Unterabschnitt 16.5, Lokale Lasten an Stützen in Zylinderschalen.....	17
8 Änderung an Unterabschnitt 16.6.6, Biegespannungsgrenze	26
9 Änderung an Unterabschnitt 16.7.2, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen.....	28
10 Änderung an Unterabschnitt 16.7.4, Aufgebrachte Kraft	28
11 Änderung an Unterabschnitt 16.7.5, Lastgrenzen für die Schale.....	28
12 Änderung an Unterabschnitt 16.8.6.2, Behälter unter Außendruck.....	28
13 Änderung an Unterabschnitt 16.8.7, Lastgrenze am Sattel (ohne Verstärkungsscheibe).....	28
14 Änderung an Unterabschnitt 16.12.4.1, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen	29
15 Änderung an Unterabschnitt 16.12.4.3, Nachweis der Standzargenbereiche mit Ausschnitten.....	29
16 Änderung an Unterabschnitt 16.12.5.1, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen	29
17 Änderung an Unterabschnitt 16.12.5.2, Auf die Verankerungsschrauben und den Beton wirkende Kräfte	29
18 Änderung an Unterabschnitt 16.14, Globale Lasten	30
19 Änderung an Unterabschnitt 16.14.2, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen.....	30
20 Änderung an Unterabschnitt 16.14.8, Druckspannungsgrenzen.....	31
21 Änderung an Unterabschnitt 16.14.8.1, Berechnung	31
22 Änderung an Unterabschnitt 16.14.8.2, Toleranzen	34
23 Änderung an Unterabschnitt 16.14.9, Wind- und Erdbebenlasten	37
24 Änderung an Abschnitt 22, Statische Berechnung hoher stehender Behälter auf Standzargen	38
25 Änderung an Unterabschnitt 0.4.1, Allgemeines.....	47
26 Änderung an Unterabschnitt 0.4.2, Polynomische Koeffizienten.....	48
27 Änderung an Unterabschnitt 0.4.3, Bilder zu den physikalischen Eigenschaften von Stahl	48
28 Ergänzung eines neuen Anhangs W (informativ), Berücksichtigung eines Puffers für unbekannte Lasten am Stützen	48
Anhang W (informativ) Berücksichtigung eines Puffers für unbekannte Lasten am Stützen — Auslegung der Ausschnitte für unbekannte Lasten am Stützen.....	49

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-3:2014/prA8:2017) 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 Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

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

1 Änderung an Abschnitt 2, Normative Verweisungen

Der folgende neue Eintrag ist an der geeigneten Stelle hinzuzufügen:

„EN 12195-1, *Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen — Sicherheit — Teil 1: Berechnung von Sicherungskräften*“.

2 Änderung an Unterabschnitt 5.3.1, Einwirkung

Am Ende des Unterabschnitts die folgende Anmerkung hinzufügen:

„

ANMERKUNG Die Kombination aus Einwirkungen wird unter 5.3.2.4 behandelt.“

3 Ergänzung eines neuen Unterabschnitts 5.3.2.4, Lastkombinationen

Den folgenden neuen Unterabschnitt einfügen:

„

5.3.2.4 Lastkombinationen

5.3.2.4.1 Allgemeines

Die Lastkombinationen druckloser Lasten in Tabelle 5.3.2.4-1 werden in Verbindung mit Berechnungen nach Abschnitt 16 und Anhang C (Linear-elastisches Verhalten) verwendet. Die grundlegende Berechnung der Betriebsdrücke durch Auslegungsdrücke und -temperaturen muss vor den Berechnungen nach Abschnitt 16 (oder Anhang C) erfolgen. Wenigstens die Lastkombinationen in Tabelle 5.3.2.4-1 sind zu berücksichtigen, sofern sie zutreffend sind. Auch andere Einwirkungen (Lasten) sind möglich.

5.3.2.4.2 Besondere Definitionen

5.3.2.4.2.1 Eigenlasten

Die maximale Eigenlast ($G_{\max}$) entspricht dem Gewicht des gesamten nicht korrodierten Behälters einschließlich Einbauten (Böden, Packungen usw.), Anbauten, Dämmung, Brandschutz, Rohrleitungen, Laufstegen und Leitern.

Die korrodierte Eigenlast (G_{corr}) entspricht $G_{\max}$, jedoch mit Gewicht des korrodierten Behälters.

Die minimale Eigenlast ($G_{\min}$) entspricht dem Gewicht des nicht korrodierten Behälters in der Aufstellungsphase; das Gewicht von Einheiten, die vor der Aufstellung noch nicht am Behälter angebracht wurden, wird nicht berücksichtigt (z. B. abnehmbare Einbauten, Laufstege, Leitern, angebrachte Rohrleitungen, Dämmung und Brandschutz).

ANMERKUNG Ein Gerüst ist in der Regel selbsttragend. In diesem Fall ist das Gewicht des Gerüsts nicht im Gewicht des Behälters eingeschlossen.

Die Transport-Eigenlast (G_{trans}) trifft zu, wenn der Behälter bereits werkseitig mit abnehmbaren Einbauten und Dämmung versehen wurde.

5.3.2.4.2.2 Nutzlasten

Die in diesem Abschnitt behandelten Nutzlasten (L) bezeichnen Gewichteinwirkungen des Inhalts (Fluide oder Feststoffe am Boden des Behälters, auf Böden oder in Packungen) und Verkehrslasten auf Laufstegen und Leitern durch Menschen und Maschinen.

5.3.2.4.2.3 Windlasten

Als Windlasten (W) werden horizontale globale Drucklasten bezeichnet, die durch Luftbewegungen verursacht werden und auf die Projektionsfläche des Behälters mitsamt Anbauten einwirken, unter Beeinflussung durch die Kraftkoeffizienten (siehe 22.4.4).

5.3.2.4.2.4 Erdbebenlasten

Erdbebenlasten (E) sind quasistatische horizontale Einwirkungen auf die Behälterabschnitte durch seismische Beschleunigungen am Fuß des Behälters, die anhand des „Verfahrens der Lateralkraftanalyse“ (siehe 22.4.5) berechnet werden.

5.3.2.4.2.5 Kräfte aufgrund angebrachter externer Rohrleitungen

Reaktionskräfte aufgrund angebrachter externer Rohrleitungen sind Kräfte, die von Gewicht (G), Wind (W), Erdbeben (E) und anderen zusätzlichen Kräften (F) herrühren, sofern sie Einfluss auf das allgemeine Gleichgewicht des Behälters nehmen (siehe 22.4.6 für Säulen).

Kräfte und Momente an Stützen und Auflagern am Behälter aufgrund von angebrachten externen Rohrleitungen können als innere oder äußere Lasten einwirken. Innere Lasten verursachen ausschließlich lokale Lasten und nehmen keinen Einfluss auf das globale Gleichgewicht, da sie selbstkompensierend sind. Darüber hinaus können angebrachte Rohrleitungen je nach Ausführung den Behälter entweder belasten oder auflagern. Eine Berücksichtigung dieser Aspekte findet sich in den Empfehlungen in 22.4.6.

5.3.2.4.3 Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

Die folgenden zusätzlichen Symbole und Abkürzungen werden in Tabelle 5.3.2.4-1 ergänzend zu denen aus Abschnitt 4 verwendet:

E	Erdbebenlast (siehe 5.3.2.4.2.4)
F	zusätzliche Lasten aufgrund von Rohrleitungen (Wärmeausdehnungslasten) (siehe 5.3.2.4.2.5)
$f_{B,op}$	Berechnungs-nennspannung für Betriebszustände von Verankerungsschrauben, siehe Gleichung (6).7-1)
G_{min}	Mindest-Eigenlasten (siehe 5.3.2.4.2.1)
G_{max}	Höchst-Eigenlasten (siehe 5.3.2.4.2.1)
G_{corr}	korrodierte Eigenlasten (siehe 5.3.2.4.2.1)
G_{trans}	Transport-Eigenlasten (siehe 5.3.2.4.2.1)
L	Nutzlasten jedes Lastfalls (Inhalt usw.) (siehe 5.3.2.4.2.2)
P_i	Berechnungsinnendruck nach 5.3.10 für $P > 0$ (einschließlich hydrostatischen Drucks)
P_e	Berechnungsaußendruck nach 5.3.10 für $P < 0$ (z. B. Vakuum)
W	Windlast (Abschnitt 22 und EN 1991-1-4)
$\sigma_{c,all}$	maximal zulässige Druckspannung für Betriebszustände in Übereinstimmung mit 16.14.8 mit σ_e nach 8.4 und einem Sicherheitsbeiwert von 1,5 in Gleichung (16.14-29)
$\sigma_{c,all,test}$	maximal zulässige Druckspannung für Prüfbedingungen in Übereinstimmung mit 16.14.8 mit σ_e nach 8.4 und einem Sicherheitsbeiwert von 1,05 in Gleichung (16.14-29)
&	Operator mit folgender Bedeutung: Überlagerung der verschiedenen Lasttypen für axiale und laterale Kräfte, Biegemomente und sich ergebende Scher- und Längsspannungen unter Verwendung der Balkentheorie für drucklose Lasten und der Membrantheorie für Drucklasten

Tabelle 5.3.2.4-1 — Lastkombinationen

Lastfall	Eingeschlossene Lastarten	Lastkombination einschließlich Gewichtungsfaktoren	Zulässige Zugspannung für Schalen	Zulässige Druckspannung für Schalen	Zulässige Zugspannung für Verankerungsschrauben	Erläuterungen
LC1	$P_i, G_{\max}, L, F, W$	$0,9 \cdot P_i$ und $G_{\max}$ und L und F und $1,1 \cdot W^b$	f_d	$\sigma_{c,all}$	$f_{B,op}$	Betrieb unter Innendruck und Wind
LC2	$P_e, G_{\max}, L, F, W$	P_e und $G_{\max}$ und L und F und $1,1 \cdot W$	f_d	$\sigma_{c,all}$	$f_{B,op}$	Betrieb unter Außendruck und Wind
LC3	$G_{\max}, L, F, W$	$G_{\max}$ und L und F und $1,1 \cdot W$	f_d	$\sigma_{c,all}$	$f_{B,op}$	Betrieb ohne Druck, aber mit Wind
LC4	G_{corr}, W	G_{corr} und $1,1 \cdot W$	f_d	$\sigma_{c,all}$	$f_{B,op}$	Außerbetriebnahme (kein Druck, Inhalt und keine Wärmereaktionen)
LC5	G_{min}, W	G_{min} und $0,7 \cdot W$	f_d	$\sigma_{c,all}$	$f_{B,op}$	Aufstellung
LC6	$P_i, G_{\max}, L, E$	$0,9 \cdot P_i$ und $G_{\max}$ und L und E	f_{exp}^c	$\sigma_{c,all,test}$	$1,2 \cdot f_{B,op}$	Betrieb unter Innendruck und bei Erdbeben
LC7	$P_e, G_{\max}, L, E$	P_e und $G_{\max}$ und L und E	f_{exp}^c	$\sigma_{c,all,test}$	$1,2 \cdot f_{B,op}$	Betrieb unter Außendruck und bei Erdbeben
LC8	$G_{\max}, L, E$	$G_{\max}$ und L und E	f_{exp}^c	$\sigma_{c,all,test}$	$1,2 \cdot f_{B,op}$	Betrieb ohne Druck, aber bei Erdbeben
LC9	$P_{test}, G_{\max}, L_{test}, W$	P_{test} und $G_{\max}$ und L_{test} und $0,6 \cdot W$	f_{test}	$\sigma_{c,all,test}$	$f_{B,op}$	Prüfung mit Prüfdruck, Prüffüllung und Wind
LC10	$G_{\max}$	$\geq 1,5 \cdot G_{\max}$	f_{test}	$\sigma_{c,all,test}$	N/A	Heben (Kran)
LC11	G_{trans}	a	f_{test}	$\sigma_{c,all,test}$	N/A	Transport

^a Der Lastfall „Transport“ muss auf Grundlage der Risikoanalyse des Herstellers für den Behälter berücksichtigt werden, wenn er sich, je nach Transportweg, als kritisch für den Behälter erweist (Straße, Schiene oder Wasser). Wurden keine besonderen Bestimmungen festgelegt, so sind die folgenden Transportlasten zu berücksichtigen: $1,4 G_{trans}$ nach unten, $0,5 \cdot G_{trans}$ seitlich und nach oben, $0,8 \cdot G_{trans}$ in Fahrtrichtung. Die Transportlasten sind mit dem Transportunternehmen abzustimmen, damit der Behälter beim Transport keinen Schaden nimmt (siehe EN 12195-1).

^b Anstelle von $0,9 \cdot P_i$ kann der tatsächliche Betriebsdruck angesetzt werden, wenn dieser natürlich (z. B. Dampftemperatur) oder durch ein sicherheitsbezogenes leittechnisches System begrenzt wird.

^c Nach einem außerordentlichen Lastfall muss der Behälter erneut inspiziert werden.

Bemerkungen

Zu LC1 und LC2: Ist mehr als eine Kombination des Auslegungsdrucks und zugehöriger Auslegungstemperatur möglich, müssen alle Kombinationen untersucht werden.

Alternativ ist eine einzelne Kombination des höchsten Drucks und der maximalen Temperatur aller Fälle auch zulässig. Es ist nicht sicher, dass die vorherrschende Bedingung für den Druck und zugehörige Temperatur auch die Lastkombinationen beherrscht.

Zu LC1 und LC6: Auf den Berechnungssinnendruck P_i wird der Faktor 0,9 angewandt, da der innere Betriebsdruck aufgrund des Druckbegrenzers in der Regel um 10 % unter PS liegt.

Zu LC3 und LC8: Diese Lastfälle sind nicht erforderlich, wenn die Lastfälle LC1 und LC2, oder LC6 und LC7 zutreffend sind, d. h. bei Innen- und Außendruck.

Zu LC5: Die Windlast hängt bei diesem Fall von der Konfiguration zu diesem Zeitpunkt ab (mit oder ohne Gerüst, Laufstege, Dämmung). Der verringerte Faktor für die Windlast stimmt mit EN 1991-1-6 für Zeiträume von < 12 Monate überein.

Zu LC9: Der verringerte Faktor für die Windlast stimmt mit EN 1991-1-6 für Zeiträume von < 3 T überein.

Bei der Berechnung der zulässigen Biegespannung $\sigma_{b,all}$ für Transport- und Hebefälle nach 16.6.6 kann die Berechnungsnennspannung f_{test} anstelle von f verwendet werden, und K_2 muss auf gleich 1,05 eingestellt sein.

Die globale Auswirkung von Lasten aufgrund zusätzlicher Rohre auf die Schalenspannung oder Verankerung muss vom Konstrukteur berücksichtigt werden, sofern als zutreffend erachtet.“

4 Ergänzung eines neuen Unterabschnitts 6.7 Berechnungsnennspannung von Verankerungsschrauben

Den folgenden neuen Unterabschnitt einfügen:

„

6.7 Berechnungsnennspannung von Verankerungsschrauben

Die Berechnungsnennspannung der Verankerungsschrauben unter Betriebsbedingungen muss folgendermaßen berechnet werden:

$$f_{B,op} = \min\left\{\frac{R_{p0,2/TB}}{1,65}; \frac{R_{m/20}}{2,0625}\right\} \quad (6.7-1)$$

Dabei ist

TB die Auslegungstemperatur für Verankerungsschrauben

ANMERKUNG In den meisten Fällen beträgt die Auslegungstemperatur der Verankerungsschrauben 20°C und liegt im Allgemeinen wesentlich unter der Auslegungstemperatur des Behälters.“

5 Änderung an Abschnitt 8.4, Allgemeines

Den ersten Satz von 8.4.2 durch den Folgenden ersetzen:

„

8.4.2 Für Schalen aus nicht austenitischen Stählen, ausgenommen ferritische, martensitische und ausgelagerte nichtrostende Stähle der Werkstoffgruppe 7 und austenitisch ferritische nichtrostende Stähle der Werkstoffgruppe 10, wird die zulässige Elastizitätsgrenze wie folgt berechnet:“.

Den ersten Satz von 8.4.3 durch den Folgenden ersetzen:

„

8.4.3 Für Schalen aus nicht austenitischen Stählen, ferritischen, martensitischen und ausgelagerten nichtrostenden Stählen und austenitisch ferritischen nichtrostenden Stählen wird die zulässige Elastizitätsgrenze wie folgt berechnet:“.

6 Änderung an Unterabschnitt 16.4, Lokale Lasten an Stützen in Kugelschalen

Unterabschnitt 16.4 durch Folgendes ersetzen:

„

16.4 Lokale Lasten an Stützen in Kugelschalen

16.4.1 Zweck

Dieser Abschnitt enthält Regeln für die Berechnung von Kugelschalen mit einem Stützen unter lokalen Lasten und Innendruck.

In Fällen, in denen die Lasten unbekannt sind, siehe Anhang W.

16.4.2 Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

Die folgenden Symbole und Abkürzungen gelten zusätzlich zu denen in Abschnitt 4 und 16.3:

R	Mittlerer Kugelschalenradius am Stutzen;
d	Mittlerer Stutzendurchmesser;
d_i	Stutzeninnendurchmesser;
d_e	Stutzenaußendurchmesser;
d_2	Außendurchmesser der Verstärkungsscheibe;
e_c	Berechnungswanddicke von Schale und Verstärkungsscheibe;
e_{eq}	Äquivalente Schalenwanddicke;
e_b	Stutzenwanddicke;
f_b	Zulässige Spannung des Stutzenwerkstoffs;
F_S	Scherkraft am Stutzen;
F_Z	Axialkraft am Stutzen (Zugkraft bzw. radial nach außen wirkende Kraft ist positiv);
$F_{Z,max}$	Höchstzulässige Axialkraft am Stutzen;
L	Breite der Verstärkungsscheibe;
M_B	Biegemoment am Stutzen an der Verbindung zur Kugelschale;
$M_{B,max}$	Höchstzulässiges Biegemoment am Stutzen an der Kugelschalenverbindung;
M_Z	Torsionsmoment am Stutzen
scf_p, scf_Z und scf_M	Spannungsfaktoren zufolge von Druck, axialer Stutzenkraft und Stutzenmoment;
λ_S	geometrischer Beiwert für Stutzen in Kugelschalen;
Φ	Auslastungsgrad;
$\Delta\sigma_p$	Spannungsschwingbreite durch Druck;
$\Delta\sigma_{FZ}$	Spannungsschwingbreite durch den Axiallastbereich am Stutzen;
$\Delta\sigma_{MB}$	Spannungsschwingbreite durch den Momentbereich;
κ	Berechnungsbeiwert für Verstärkungen;
τ	Scherspannung in der Kugelschale;
τ_F	durch Scherkräfte verursachte Scherspannung in der Kugelschale;
τ_Z	durch das Torsionsmoment verursachte Scherspannung;

16.4.3 Geltungsbereich

Für die Berechnung gelten die folgenden Einschränkungen:

7) $0,001 \leq e_a / R \leq 0,1$;

ANMERKUNG Werte von $e_a / R < 0,001$ sind zulässig, sofern die Schalenwanddurchbiegung die halbe Wanddicke nicht überschreitet.

8) Der Abstand zu einer anderen lokalen Last muss in allen Richtungen mindestens $\sqrt{R \cdot e_c}$ betragen;

9) Die Stutzenwanddicke muss über eine Länge von $l \geq \sqrt{d \cdot e_b}$ konstant sein.

16.4.4 Berechnungsverfahren

Die Berechnung wird wie folgt durchgeführt:

- 1) Die Abmessungen e_c und L wie folgt berechnen:

- 1) am Stutzenaußendurchmesser, wenn eine Verstärkungsscheibe verwendet wird:

$$e_c = e_a + e_2 \cdot \min\left(\frac{f_2}{f}; 1\right) \quad (16.4-1)$$

- 2) am Außenrand ($d = d_2$) einer Verstärkungsscheibe, oder wenn keine Verstärkungsscheibe verwendet wird:

$$e_c = e_a \quad (16.4-2)$$

Die Breite L der Verstärkungsscheibe ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$L = 0,5 (d_2 - d_e) \quad (16.4-3)$$

- 2) Die maximal zulässigen Einzellasten berechnen (siehe 16.4.5);
- 3) Die Auslastungsgrade und die Wechselwirkung der Lasten prüfen (siehe 16.4.6);
- 4) Wird keine Verstärkungsscheibe oder eine Verstärkungsscheibe der Breite $L \geq \sqrt{R(e_a + e_2)}$ verwendet, zu Schritt f) übergehen;
- 5) Die maximal zulässigen Einzellasten am Rand der Verstärkungsscheibe berechnen ($d = d_2$ und $e_c = e_a$), und die Auslastungsgrade und die Wechselwirkung der Lasten anhand von 16.4.5 und 16.4.6 prüfen;
- 6) Die äquivalente Schalenwanddicke e_{eq} ermitteln (siehe 16.4.7.2) und die zulässige Spannungsschwingbreite prüfen (siehe 16.4.7), für die Fälle, in denen einer der Bereiche für Druck ΔP , Kraft ΔF_Z oder Moment ΔM_B (Berechnung nach Gleichungen (16.4-16) bis (16.4-18) in 16.4.7.1) größer ist als die extremen Absolutwerte des Drucks P , der Kraft F_Z oder des Moments M_B ;

alternativ kann die zulässige Spannungsschwingbreite (siehe 16.4.7) angewandt werden, wenn die äußeren Lasten Anteile der Wärmeausdehnung von angebrachten Rohrleitungen enthalten; in diesem Fall dürfen die Prüfungen von 16.4.5 und 16.4.6 ausschließlich auf den Druck und die mechanischen Anteile der äußeren Lasten angewendet werden, jedoch ist die Prüfung von 16.4.7 für die Bereiche des Drucks und der zulässigen mechanischen und thermischen Lasten durchzuführen;

- 7) Die Längsspannungen am Stutzen prüfen (siehe 16.4.8);
- 8) Wenn Spannungen oder Auslastungsgrade zu hoch sind, die Schalen- oder Stutzendicke vergrößern oder die Belastung verringern und zu Schritt a) zurückkehren.

Schritt f) darf nur am Stutzenrand durchgeführt werden.

16.4.5 Höchstzulässige Einzellasten

16.4.5.1 Die maximal zulässigen Werte von Druck, Axiallast und Biegemoment, die unabhängig am Stutzen wirken können, wie folgt ermitteln:

16.4.5.2 Den Berechnungsbeiwert für die Verstärkung aus der folgenden Gleichung ermitteln:

$$\kappa = \min\left(\frac{2f_b \cdot e_b}{f \cdot e_c} \sqrt{\frac{e_b}{d}}; 1,0\right) \quad (16.4-4)$$

Für die Berechnung der zulässigen Lasten am Rand der Verstärkungsscheibe oder für einen Stutzen in einer Schale ohne Ausschnitt gilt: $\kappa = 1$.

ANMERKUNG Eine Schale ohne Ausschnitt wird für eine „Zapfenlast“ verwendet.

16.4.5.3 Den Beiwert λ_S folgendermaßen ermitteln:

$$\lambda_S = \frac{d}{\sqrt{R \cdot e_c}} \quad (16.4-5)$$

16.4.5.4 Den maximal zulässigen Berechnungsdruck $P_{\max}$ aus der allgemeinen Gleichung für die Verstärkung einzelner Ausschnitte in Abschnitt 9 berechnen. Der Einfachheit halber wird sie hier noch einmal wiederholt (siehe 9.5.2; Erläuterungen zur Notation sind 9.3 zu entnehmen).

$$P_{\max} = \frac{(Af_s + Af_w) \cdot f_s + Af_b \cdot f_{ob} + Af_p \cdot f_{op}}{(Ap_s + Ap_b + 0,5 Ap_\phi) + 0,5 (Af_s + Af_w + Af_b + Af_p)} \quad (16.4-6)$$

ANMERKUNG Zur Anwendung dieser Gleichung auf verschiedene Lastfälle siehe 3.16, ANMERKUNG 1.

16.4.5.5 Die zulässige Axiallast am Stutzen $F_{Z,\max}$ entweder aus Bild 16.4-1 entnehmen oder aus folgender Gleichung berechnen:

$$F_{Z,\max} = f \cdot e_c^2 (1,82 + 2,4 \cdot \sqrt{1 + \kappa} \cdot \lambda_S + 0,91 \cdot \kappa \cdot \lambda_S^2) \quad (16.4-7)$$

Die dimensionslosen oberen und unteren Grenzwerte sind aus Bild 16.4-1 zu entnehmen.

16.4.5.6 Das zulässige Biegemoment entweder aus Bild 16.4-2 entnehmen oder aus der folgenden Gleichung berechnen:

$$M_{B,\max} = f \cdot e_c^2 \cdot \frac{d}{4} (4,9 + 2,0 \cdot \sqrt{1 + \kappa} \cdot \lambda_S + 0,91 \cdot \kappa \cdot \lambda_S^2) \quad (16.4-8)$$

Die dimensionslosen oberen und unteren Grenzwerte sind aus Bild 16.4-2 zu entnehmen.

16.4.5.7 Scherspannungen

$$\tau_F = \frac{2F_S}{\pi \cdot d \cdot e_c} \quad (16.4-8a)$$

$$\tau_Z = \frac{2M_Z}{\pi \cdot d^2 \cdot e_c} \quad (16.4-8b)$$

$$\tau = |\tau_F| + |\tau_Z| \quad (16.4-8c)$$

16.4.6 Kombination von äußeren Lasten und Innendruck

16.4.6.1 Die Wirkungen der Kombination aus Druck, Axiallast und Biegemoment bei gleichzeitigem Einwirken aus den folgenden Gleichungen berechnen.

Wenn Axialkraft und Biegemoment Anteile der Wärmeausdehnung angebrachter Rohrleitungen beinhalten, brauchen die angewandten Lasten nicht die Wirkungen der Wärmeausdehnung zu beinhalten. In diesem Fall muss die Prüfung der Spannungsschwingbreiten aus Unterabschnitt 16.4.7 angewendet werden, unter Berücksichtigung der Gesamtlasten einschließlich der thermischen Anteile (siehe 16.4.4 Schritt f), zweiter Absatz).

16.4.6.2 Die einzelnen Auslastungsgrade wie folgt berechnen:

$$\Phi_P = \frac{P}{P_{\max}} \quad (16.4-9)$$

$$\Phi_Z = \frac{F_Z}{F_{Z,\max}} \quad (16.4-10)$$

$$\Phi_B = \frac{M_B}{M_{B,\max}} \quad (16.4-11)$$

$$\Phi_T = \frac{2\tau}{f} \quad (16.4-11a)$$

16.4.6.3 Jeder einzelne Auslastungsgrad ist wie folgt begrenzt:

$$|\Phi_P| \leq 1,0 \quad (16.4-12)$$

$$|\Phi_Z| \leq 1,0 \quad (16.4-13)$$

$$|\Phi_B| \leq 1,0 \quad (16.4-14)$$

$$|\Phi_T| \leq 1,0 \quad (16.4-14a)$$

16.4.6.4 Die Wechselwirkung aller Lasten muss die folgende Gleichung erfüllen:

$$\sqrt{[\max(|\Phi_P + \Phi_Z|; |\Phi_Z|; |\Phi_P - 0,2 \cdot \Phi_Z|) + \Phi_B]^2 + |\Phi_T|^2} \leq 1,0 \quad (16.4-15)$$

Die vorstehende Gleichung beruht auf einer linearen Wechselwirkung von Druck und Axiallast mit dem Biegemoment und führt zu einem konservativen Ergebnis. In bestimmten Fällen kann die Auslegung nach Analyse in Abschnitt 5 aufzeigen, dass die Annahme einer Wechselwirkung in Umfangsrichtung zu weniger konservativen Ergebnissen führt.

16.4.7 Spannungsschwingbreiten und ihre Kombination

16.4.7.1 Aus den Mindest- und Höchstwerten für den Druck und lokale Lasten die Lastbereiche wie folgt ermitteln:

$$\Delta P = \max(P; 0) - \min(P; 0) \quad (16.4-16)$$

$$\Delta F_Z = \max(F_Z; 0) - \min(F_Z; 0) \quad (16.4-17)$$

$$\Delta M_B = \max(M_B; 0) - \min(M_B; 0) \quad (16.4-18)$$

$$\Delta F_S = \max(F_S; 0) - \min(F_S; 0) \quad (16.4-18a)$$

$$\Delta M_Z = \max(M_Z; 0) - \min(M_Z; 0) \quad (16.4-18b)$$

16.4.7.2 Die äquivalente Wanddicke e_{eq} nur für den Stutzenrand berechnen. Sie ist gleich e_{eq} , sofern keine Verstärkungsscheibe der Breite $L < \sqrt{R(e_a + e_2)}$ verwendet wird. In diesem Fall wird e_{eq} wie folgt berechnet:

$$e_{eq} = e_a + \min \left(\frac{e_2 \cdot L}{\sqrt{R(e_a + e_2)}}; e_2 \right) \cdot \min \left(\frac{f_2}{f}; 1 \right) \quad (16.4-19)$$

16.4.7.3 Die folgenden Spannungen berechnen:

Spannung durch den Druckbereich:

$$\Delta\sigma_P = scf_P \left(\frac{\Delta P \cdot R}{2 e_{eq}} \right) \quad (16.4-20)$$

Spannung durch den Axiallastbereich:

$$\Delta\sigma_{FZ} = scf_Z \left(\frac{\Delta F_Z}{\pi \cdot d \cdot e_{eq}} \right) \sqrt{\frac{R}{e_{eq}}} \quad (16.4-21)$$

Spannung durch den Momentbereich:

$$\Delta\sigma_{MB} = scf_M \left(\frac{4\Delta M_B}{\pi \cdot d^2 \cdot e_{eq}} \right) \sqrt{\frac{R}{e_{eq}}} \quad (16.4-22)$$

Dabei sind die Werte für

scf_P , scf_Z und scf_M aus den Bildern 16.4-3 bis 16.4-8 zu entnehmen.

ANMERKUNG Die scf -Beiwerte in den Bildern 16.4-3 bis 16.4-8 sind BS 5500:1997, G2.5 entnommen (siehe Abschnitt L.2 [6]).

Bereich der Scherspannungen

$$\Delta\tau_F = \frac{2 \Delta F_S}{\pi \cdot d \cdot e_c} \quad (16.4-22a)$$

$$\Delta\tau_Z = \frac{2 \Delta M_Z}{\pi \cdot d^2 \cdot e_c} \quad (16.4-22b)$$

$$\Delta\tau = \Delta\tau_F + \Delta\tau_Z \quad (16.4-22c)$$

16.4.7.4 Der Vergleichsspannungsbereich ist wie folgt begrenzt:

$$\sqrt{\Delta\sigma_P^2 + (\Delta\sigma_{FZ} + \Delta\sigma_{MB})^2 + 4 \cdot \Delta\tau^2} \leq 3f \quad (16.4-23)$$

16.4.8 Längsspannung am Stutzen

Dieser Unterabschnitt kann bei Stutzen vernachlässigt werden, die für den Anschluss an eine Rohrleitung mit derselben Beständigkeit (Dicke multipliziert mit zulässiger Spannung) vorgesehen sind.

16.4.8.1 Die maximale Zugspannung in Längsrichtung am Stutzen ist wie folgt begrenzt:

$$\frac{P d}{4 e_b} + \frac{4 M_B}{\pi d^2 e_b} + \frac{F_Z}{\pi d e_b} \leq f_b \quad (16.4-24)$$

F_Z ist gleich null zu setzen, wenn durch die Kraft eine axiale Druckspannung verursacht wird.

16.4.8.2 Die Stabilität es Stutzens in Längsrichtung (mit $P = 0$) ist wie folgt zu prüfen:

$$\frac{M_B}{M_{\max}} + \frac{|F_Z|}{F_{\max}} \leq 1,0 \quad (16.4-25)$$

F_Z ist gleich null zu setzen, wenn durch die Kraft eine axiale Zugspannung verursacht wird. Dabei ist $M_{\max}$ das zulässige globale Moment und $F_{\max}$ das zulässige globale Moment und die Kraft im Stutzen. Angaben zur Berechnung sind in 16.14 enthalten.

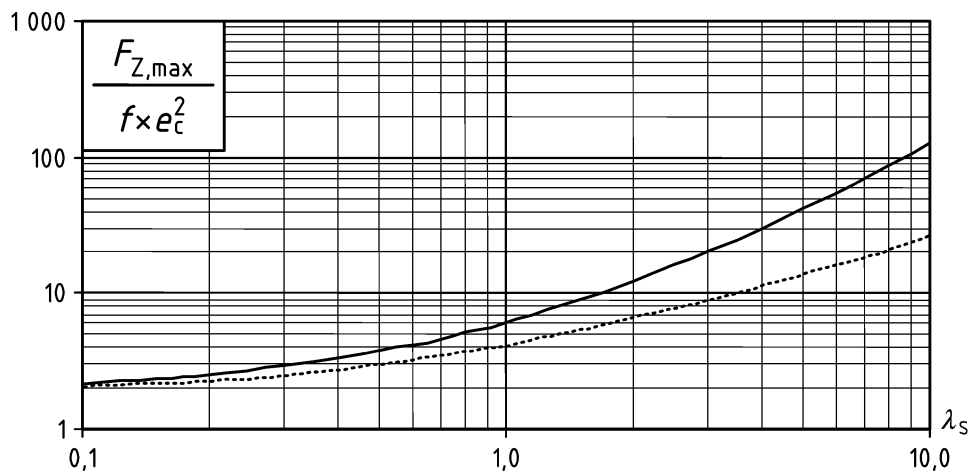


Bild 16.4-1 — Dimensionslose Kurvendarstellung von $F_{Z,\max}$
(obere Kurve = maximal verstärkt, untere Kurve = unverstärkt)

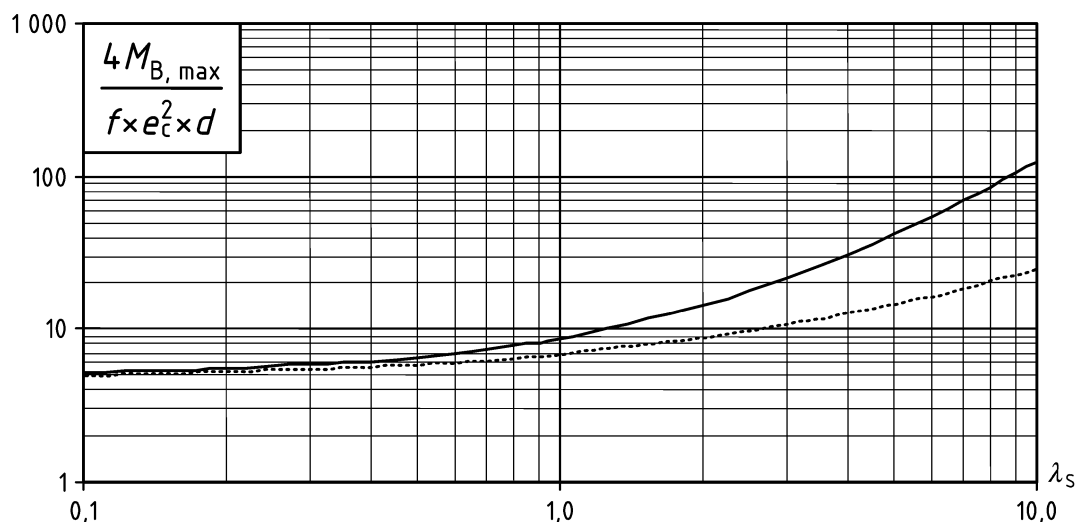


Bild 16.4-2 — Dimensionslose Kurvendarstellung von $M_{B,\max}$
(obere Kurve = maximal verstärkt, untere Kurve = unverstärkt)

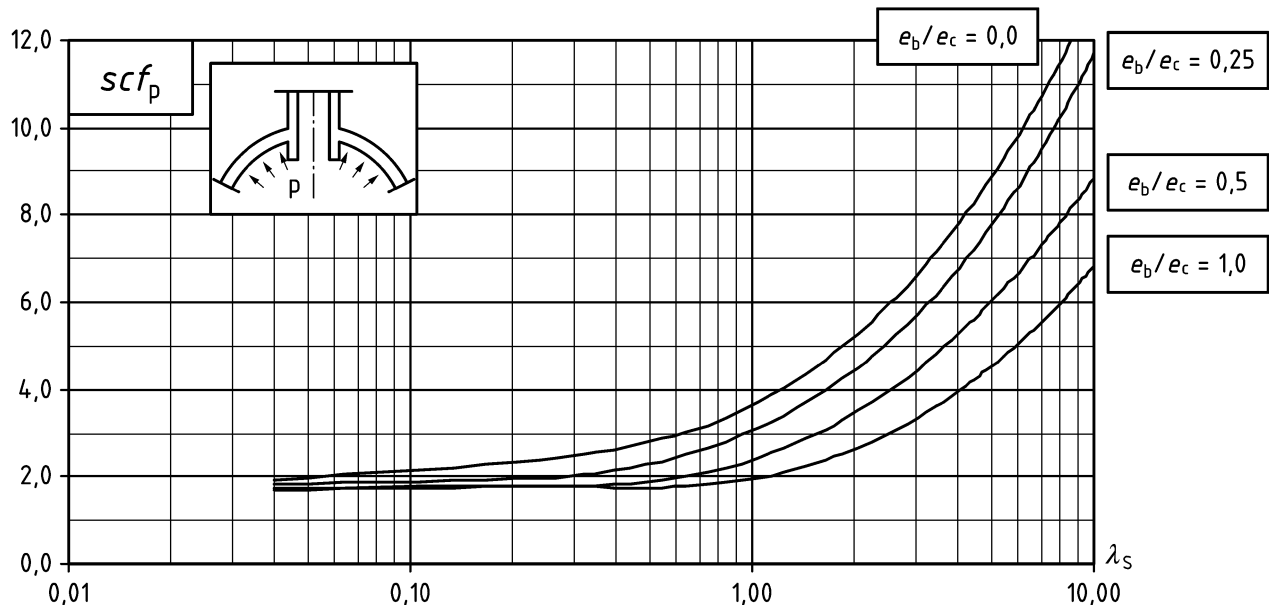


Bild 16.4-3 — Spannungsfaktor einer Kugelschale unter Innendruck (bündiger Stützen)

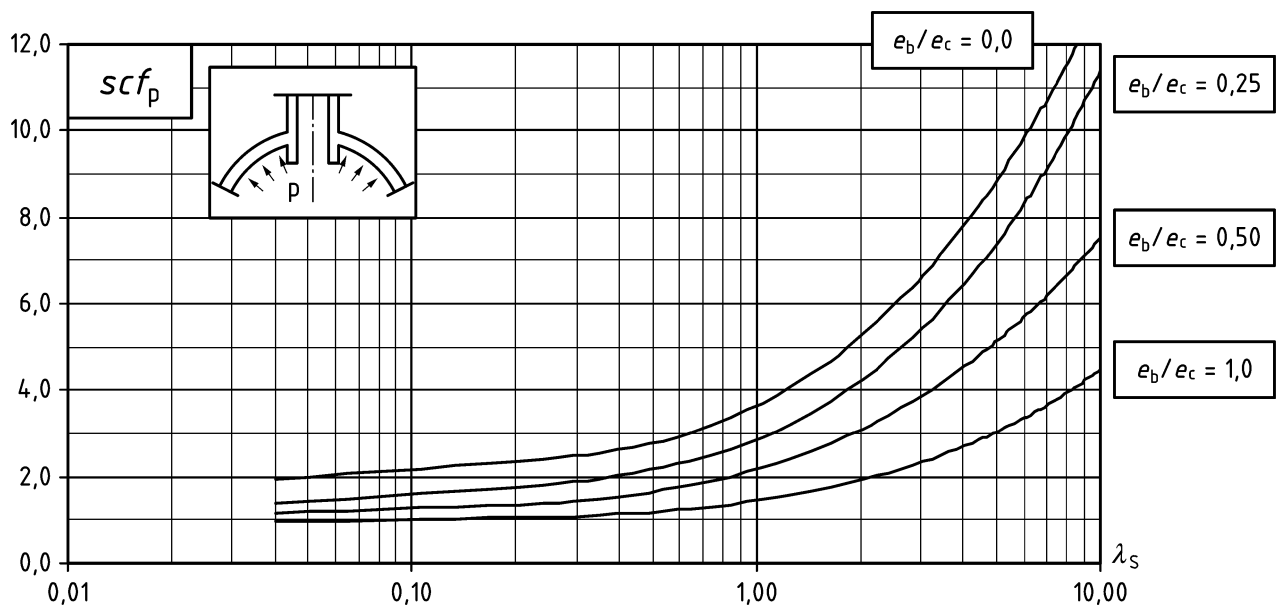


Bild 16.4-4 — Spannungsfaktor einer Kugelschale unter Innendruck (durchgesteckter Stützen)

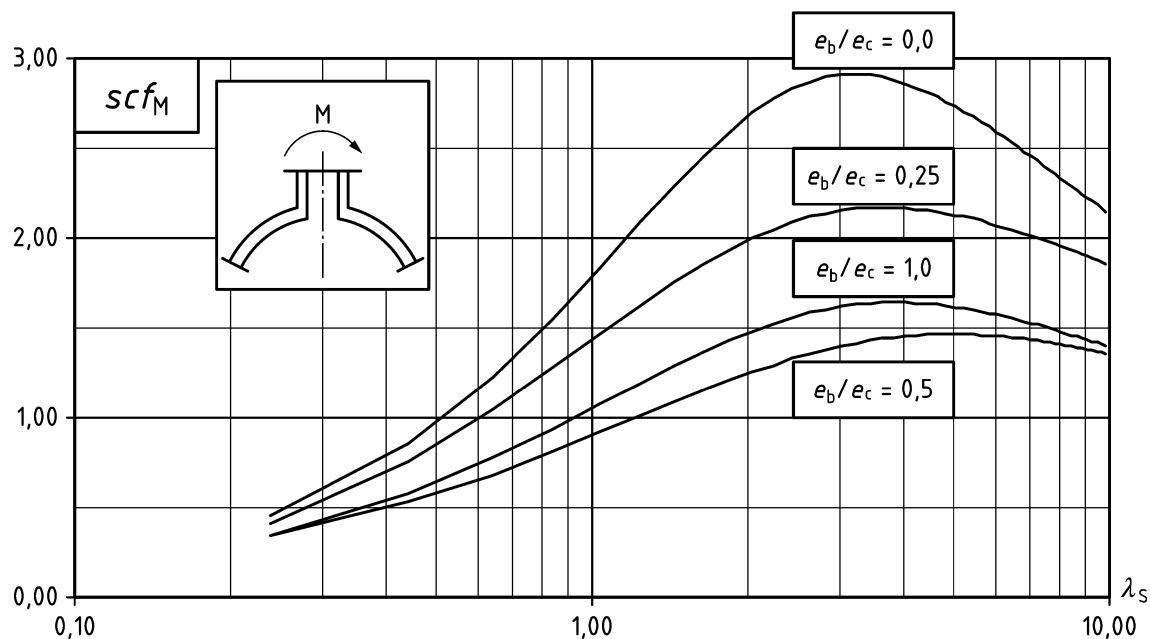


Bild 16.4-5 — Spannungsfaktor einer Kugelschale unter Momentbelastung (bündiger Stutzen)

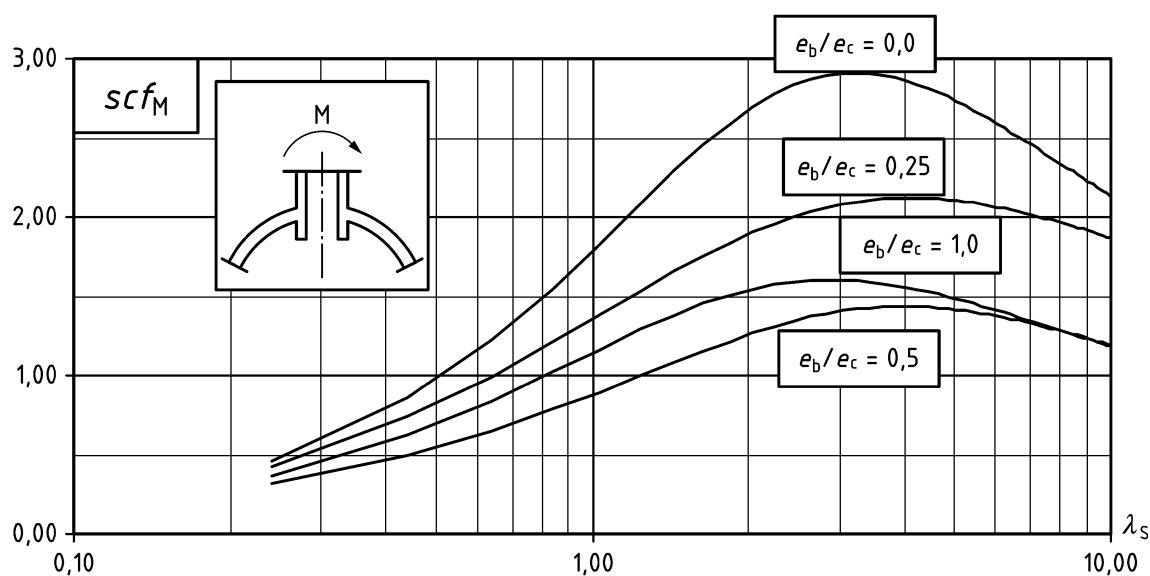


Bild 16.4-6 — Spannungsfaktor einer Kugelschale unter Momentbelastung (durchgesteckter Stutzen)

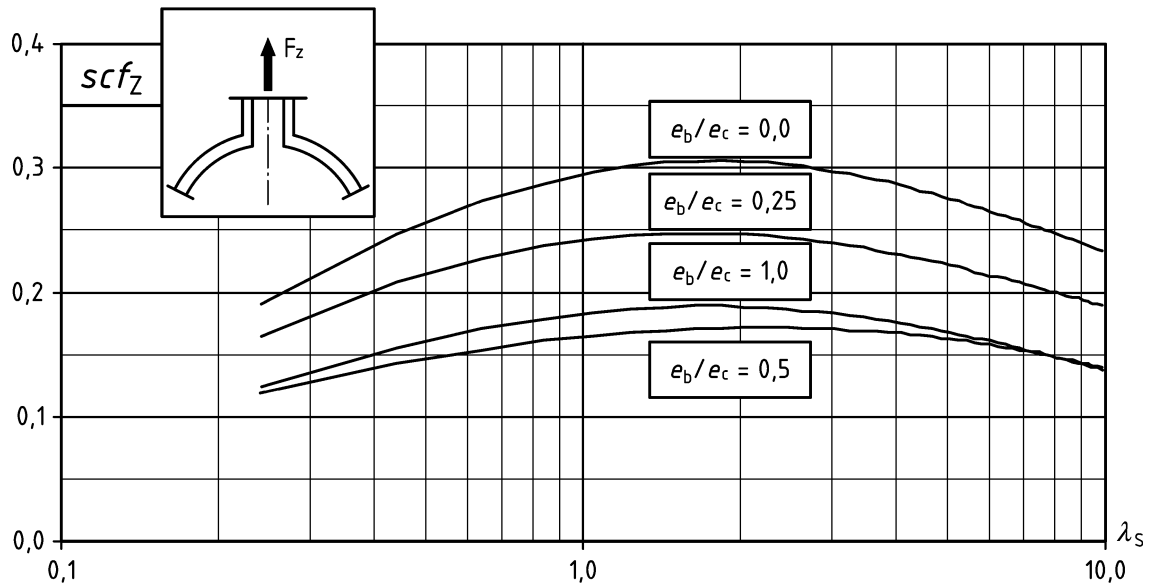


Bild 16.4-7 — Spannungsfaktor einer Kugelschale unter Axialkraft (bündiger Stutzen)

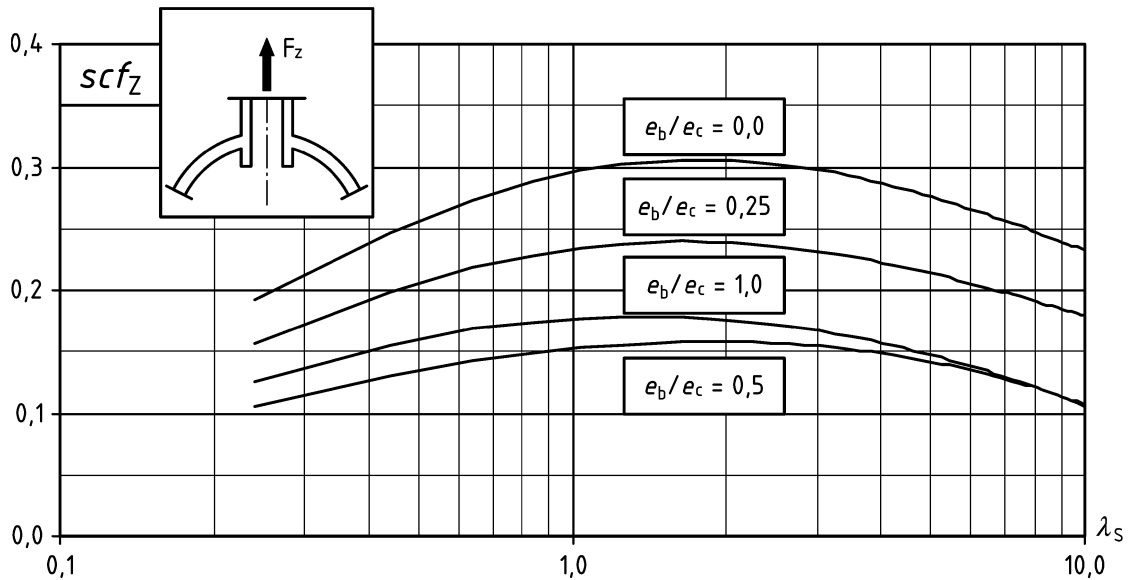


Bild 16.4-8 — Spannungsfaktor einer Kugelschale unter Axialkraft (durchgesteckter Stutzen)

7 Änderung an Unterabschnitt 16.5, Lokale Lasten an Stutzen in Zylinderschalen

Unterabschnitt 16.5 durch Folgendes ersetzen:

„

16.5 Lokale Lasten an Stutzen in Zylinderschalen

16.5.1 Zweck

Dieser Abschnitt enthält Regeln für die Berechnung von Zylinderschalen mit einem Stutzen unter lokalen Lasten und Innendruck.

In Fällen, in denen die Lasten unbekannt sind, siehe Anhang W.

16.5.2 Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

Die folgenden Symbole und Abkürzungen gelten zusätzlich zu denen in Abschnitt 4 und 16.3:

R	Mittlerer Kugelschalenradius am Stutzen;
D	Mittlerer Schalendurchmesser am Ausschnitt;
d_i	Stutzeninnendurchmesser;
d_e	Stutzenaußendurchmesser;
d	Mittlerer Stutzendurchmesser;
d_2	Außendurchmesser der Verstärkungsscheibe;
e_c	Berechnungswanddicke von Schale und Verstärkungsscheibe;
e_{eq}	Äquivalente Schalenwanddicke;
e_b	Berechnungswanddicke des Stutzens;
f_b	Zulässige Spannung des Stutzenwerkstoffs;
F_X	Scherkraft am Stutzen in Längsrichtung der Schale (Bild 16.5-1);
F_Y	Scherkraft am Stutzen in Umfangsrichtung der Schale (Bild 16.5-1);
F_Z	Axialkraft am Stutzen (Bild 16.5-1);
$F_{Z,max}$	Höchstzulässige Axialkraft am Stutzen;
L	Breite der Verstärkungsscheibe;
M_X	Umfangsmoment am Stutzen (Bild 16.6-1);
M_Y	Längsmoment am Stutzen (Bild 16.6-1);
$M_{X,max}$	Höchstzulässiges Umfangsmoment am Stutzen;
$M_{Y,max}$	Höchstzulässiges Längsmoment am Stutzen;
M_Z	Torsionsmoment am Stutzen;
$a_0 \dots a_4$	Beiwerte der Polynome;
$C_1 \dots C_4$	Beiwerte;
λ_C	Beiwert für Stutzen in Zylinderschalen;
Φ	Auslastungsgrad;
$\Delta\sigma_P$	Spannungsschwingbreite durch Druck;
$\Delta\sigma_{FZ}$	Spannungsschwingbreite durch die Axiallast am Stutzen;
$\Delta\sigma_{Mx}$	Spannungsschwingbreite durch den Momentbereich des Umfangsmoments;
$\Delta\sigma_{My}$	Spannungsschwingbreite durch den Momentbereich des Längsmoments;
τ	Scherspannung in der Kugelschale;
τ_X	durch Scherkräfte in Längsrichtung verursachte Scherspannung in der Schale;
τ_Y	durch Scherkräfte in Umfangsrichtung verursachte Scherspannung in der Schale;
τ_Z	durch das Torsionsmoment verursachte Scherspannung in der Schale.

16.5.3 Geltungsbereich

Für die Berechnung gelten die folgenden Einschränkungen:

- 1) $0,001 \leq e_a / D \leq 0,1$;
- 2) $\lambda_c = \frac{d}{\sqrt{D} e_c} \leq 10$;
- 3) Der Abstand zu einer anderen lokalen Last muss in allen Richtungen mindestens $\sqrt{D \cdot e_c}$ betragen;
- 4) Die Stutzenwanddicke muss über eine Länge von $l \geq \sqrt{d \cdot e_b}$ konstant sein.

16.5.4 Berechnungsverfahren

Die Berechnung wird wie folgt durchgeführt:

- 1) Die Abmessungen e_c und L wie folgt berechnen:

- 1) am Stutzenaußendurchmesser, wenn eine Verstärkungsscheibe verwendet wird:

$$e_c = e_a + e_2 \cdot \min\left(\frac{f_2}{f}; 1\right)$$

- 2) am Außenrand ($d = d_2$) einer Verstärkungsscheibe, oder wenn keine Verstärkungsscheibe verwendet wird:

$$e_c = e_a$$

Die Breite L der Verstärkungsscheibe ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$L = 0,5 (d_2 - d_e)$$

- 2) Die maximal zulässigen Einzellasten berechnen (siehe 16.5.5);
- 3) Die Auslastungsgrade und die Wechselwirkung der Lasten prüfen (siehe 16.5.6);
- 4) Wird keine Verstärkungsscheibe oder eine Verstärkungsscheibe der Breite $L \geq \sqrt{D (e_a + e_2)}$ verwendet, zu Schritt f) übergehen;
- 5) Die maximal zulässigen Einzellasten am Rand der Verstärkungsscheibe berechnen ($d = d_2$; $e_c = e_a$ und $e_b / e_c \geq 0,5$), und die Auslastungsgrade und die Wechselwirkung der Lasten anhand von 16.5.5 und 16.5.6 prüfen;
- 6) Die äquivalente Schalenwanddicke e_{eq} ermitteln (siehe 16.5.7.2) und die zulässige Spannungsschwingbreite prüfen (siehe 16.5.7), für die Fälle, in denen einer der Bereiche für Druck ΔP , Kraft ΔF_Z oder die Momente ΔM_X und ΔM_Y (Berechnung nach Gleichungen (16.5-16) bis (16.5-19) in 16.5.7.1) größer ist als die extremen Absolutwerte des Drucks P , der Kraft F_Z oder der Momente M_X und M_Y ;

alternativ kann die zulässige Spannungsschwingbreite (siehe 16.5.7) angewandt werden, wenn die äußeren Lasten Anteile der Wärmeausdehnung von angebrachten Rohrleitungen enthalten; in diesem Fall dürfen die Prüfungen von 16.5.5 und 16.5.6 ausschließlich auf den Druck und die mechanischen Anteile der äußeren Lasten angewendet werden, jedoch ist die Prüfung von 16.5.7 für die Bereiche des Drucks und der zulässigen mechanischen und thermischen Lasten durchzuführen;

- 7) Stutzenfestigkeit prüfen (siehe 16.5.8);
- 8) Wenn Spannungen oder Auslastungsgrade zu groß sind, die Schalen- oder Stutzendicke vergrößern oder die Belastung verringern und zu Schritt a) zurückkehren.

Schritt f) darf nur am Stutzenrand durchgeführt werden.

16.5.5 Höchstzulässige Einzellasten

16.5.5.1 Die maximal zulässigen Werte von Druck, Axiallast und Biegemoment, die unabhängig am Stutzen wirken können, wie folgt ermitteln:

16.5.5.2 Den Beiwert λ_c ermitteln:

$$\lambda_c = \frac{d}{\sqrt{D e_c}} \quad (16.5-1)$$

16.5.5.3 Den maximal zulässigen Berechnungsdruck $P_{\max}$ aus der allgemeinen Gleichung für die Verstärkung einzelner Ausschnitte in Abschnitt 9 berechnen. Der Einfachheit halber wird sie hier noch einmal wiederholt (siehe 9.5.2; Erläuterungen zur Notation sind 9.3 zu entnehmen).

$$P_{\max} = \frac{(Af_s + Af_w) \cdot f_s + Af_b \cdot f_{ob} + Af_p \cdot f_{op}}{(Ap_s + Ap_b + 0,5 Ap_\phi) + 0,5 (Af_s + Af_w + Af_b + Af_p)} \quad (16.5-2)$$

ANMERKUNG Zur Anwendung dieser Gleichung auf verschiedene Lastfälle siehe 3.16, ANMERKUNG 1.

16.5.5.4 Die zulässige Axiallast am Stutzen $F_{Z,\max}$ aus folgender Gleichung berechnen:

$$F_{Z,\max} = f \cdot e_c^2 \cdot C_1 \quad (16.5-3)$$

Dabei C_1 entweder aus Bild 16.5-2 entnehmen oder aus folgender Gleichung berechnen:

$$C_1 = \max \cdot [(a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4); 1,81] \quad (16.5-4)$$

Die Beiwerte $a_0 \dots a_4$ aus Tabelle 16.5-1 entnehmen.

16.5.5.5 Das zulässige Umfangsmoment $M_{X,\max}$ aus folgender Gleichung berechnen:

$$M_{X,\max} = f \cdot e_c^2 \cdot \frac{d}{4} \cdot C_2 \quad (16.5-5)$$

Dabei C_2 entweder aus Bild 16.5-3 entnehmen oder aus folgender Gleichung berechnen:

$$C_2 = \max [(a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4); 4,90] \quad (16.5-6)$$

Die Beiwerte $a_0 \dots a_4$ aus Tabelle 16.5-2 entnehmen.

16.5.5.6 Das zulässige Längsmoment $M_{Y,\max}$ aus folgender Gleichung berechnen:

$$M_{Y,\max} = f \cdot e_c^2 \cdot \frac{d}{4} \cdot C_3 \quad (16.5-7)$$

Dabei C_3 entweder aus Bild 16.5-4 entnehmen oder aus folgender Gleichung berechnen:

$$C_3 = \max \left[(a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4); 4,90 \right] \quad (16.5-8)$$

Die Beiwerte $a_0 \dots a_4$ aus Tabelle 16.5-3 entnehmen.

Wenn sich die Zwischenwerte der Wanddicke e_b/e_c zwischen 0,2 und 0,5 bewegen, errechnet sich der Beiwert C_3 durch lineare Interpolation (Bild 16.5-4).

ANMERKUNG Die Kurven der Bilder 16.5-2 bis 16.5-4 sind abgeleitet von WRCB Nr. 297 - siehe Schrifttum [5] in Anhang L. Die zulässigen Lasten basieren hingegen auf einem maximalen Formfaktor von 2,25.

16.5.5.7 Scherspannungen (Richtungen sind Bild 16.6-1 zu entnehmen)

$$\tau_X = \frac{2F_X}{\pi \cdot d \cdot e_c} \quad (16.5-8a)$$

$$\tau_Y = \frac{2F_Y}{\pi \cdot d \cdot e_c} \quad (16.5-8b)$$

$$\tau_Z = \frac{2M_Z}{\pi \cdot d^2 \cdot e_c} \quad (16.5-8c)$$

Gesamte Scherspannung der Schale am Stutzen

$$\tau = \sqrt{\tau_X^2 + \tau_Y^2} + |\tau_Z| \quad (16.5-8d)$$

16.5.6 Kombination von äußeren Lasten und Innendruck

16.5.6.1 Die Wirkungen der Kombination aus Druck, Axiallast und Biegemomenten bei gleichzeitigem Einwirken werden wie folgt berechnet:

Wenn Axialkraft und Biegemoment Anteile der Wärmeausdehnung angebrachter Rohrleitungen beinhalten, brauchen die angewandten Lasten nicht die Wirkungen der Wärmeausdehnung zu beinhalten. In diesem Fall muss die Prüfung der Spannungsschwingbreiten 16.5.7 angewendet werden, unter Berücksichtigung der Gesamtlasten einschließlich der thermischen Anteile (siehe 16.5.4 Schritt f), zweiter Absatz).

16.5.6.2 Die einzelnen Auslastungsgrade wie folgt berechnen:

$$\Phi_P = \frac{P}{P_{\max}} \quad (16.5-9)$$

$$\Phi_Z = \frac{F_Z}{F_{Z,\max}} \quad (16.5-10)$$

$$\Phi_B = \sqrt{\left(\frac{M_X}{M_{X,\max}} \right)^2 + \left(\frac{M_Y}{M_{Y,\max}} \right)^2} \quad (16.5-11)$$

$$\Phi_T = \frac{2\tau}{f} \quad (16.5-11a)$$

16.5.6.3 Jeder einzelne Auslastungsgrad ist wie folgt begrenzt:

$$|\Phi_P| \leq 1,0 \quad (16.5-12)$$

$$|\Phi_Z| \leq 1,0 \quad (16.5-13)$$

$$|\Phi_B| \leq 1,0 \quad (16.5-14)$$

$$\Phi_T \leq 1,0 \quad (16.5-14a)$$

16.5.6.4 Die Wechselwirkung aller Lasten muss die folgende Gleichung erfüllen:

$$\sqrt{\left[\max \left(\left| \frac{\Phi_P}{C_4} + \Phi_Z \right| ; \left| \Phi_Z \right| ; \left| \frac{\Phi_P}{C_4} - 0,2 \cdot \Phi_Z \right| \right) \right]^2 + \Phi_B^2 + \Phi_T^2} \leq 1,0 \quad (16.5-15)$$

Der Wert von C_4 muss bei Anschluss der Stützenverbindungen an ein Rohrleitungssystem, das mit Toleranzen für Ausdehnung, Schub usw. ausgelegt ist, gleich 1,1 sein. Er muss 1,0 für Ringverstärkungen oder starre Befestigungen sein, höchstens jedoch 1,10.

ANMERKUNG In Gleichung (16.5-15) ist eine Wechselwirkung (in Umfangsrichtung) des Umfangsmoments mit der Biegemomentenlast auf Grundlage einer konservativen Schätzung der Formzahl in WRCB Nr. 297 (siehe Schrifttum [5] in Anhang L) zulässig.

16.5.7 Spannungsschwingbreiten und ihre Kombination

16.5.7.1 Aus den Mindest- und Höchstwerten für den Druck und die lokalen Lasten unter Betriebsbedingungen sind die Lastbereiche wie folgt zu ermitteln:

$$\Delta P = \max (P; 0) - \min (P; 0) \quad (16.5-16)$$

$$\Delta F_X = \max (F_X; 0) - \min (F_X; 0) \quad (16.5-16a)$$

$$\Delta F_Y = \max (F_Y; 0) - \min (F_Y; 0) \quad (16.5-16b)$$

$$\Delta F_Z = \max (F_Z; 0) - \min (F_Z; 0) \quad (16.5-17)$$

$$\Delta M_X = \max (M_X; 0) - \min (M_X; 0) \quad (16.5-18)$$

$$\Delta M_Y = \max (M_Y; 0) - \min (M_Y; 0) \quad (16.5-19)$$

$$\Delta M_Z = \max (M_Z; 0) - \min (M_Z; 0) \quad (16.5-19a)$$

16.5.7.2 Die äquivalente Wanddicke e_{eq} nur für den Stützenrand berechnen. Sie ist gleich e_c . Wird jedoch ein Verstärkungsring mit der Breite $L < \sqrt{D(e_a + e_2)}$ verwendet, wird e_{eq} wie folgt berechnet:

$$e_{eq} = e_a + \min \left(\frac{e_2 \cdot L}{\sqrt{D(e_a + e_2)}} ; e_2 \right) \cdot \min \left(\frac{f_2}{f} ; 1 \right) \quad (16.5-20)$$

16.5.7.3 Die folgenden Spannungen berechnen:

Spannung durch den Druckbereich:

$$\Delta\sigma_p = \left(\frac{\Delta P \cdot D}{2e_{eq}} \right) \frac{2 + 2 \frac{d}{D} \sqrt{\frac{d \cdot e_b}{D \cdot e_{eq}}} + 1,25 \frac{d}{D} \sqrt{\frac{D}{e_{eq}}}}{1 + \frac{e_b}{e_{eq}} \sqrt{\frac{d \cdot e_b}{D \cdot e_{eq}}}} \quad (16.5-21)$$

Spannung durch den Axiallastbereich:

$$\Delta\sigma_{FZ} = \frac{2,25}{C_1} \left(\frac{\Delta F_Z}{e_{eq}^2} \right) \quad (16.5-22)$$

Spannung durch den Bereich des Umfangsmoments:

$$\Delta\sigma_{MX} = \frac{2,25}{C_2} \left(\frac{4\Delta M_X}{e_{eq}^2 \cdot d} \right) \quad (16.5-23)$$

Spannung durch den Bereich des Moments in Längsrichtung:

$$\Delta\sigma_{MY} = \frac{2,25}{C_3} \left(\frac{4\Delta M_Y}{e_{eq}^2 \cdot d} \right) \quad (16.5-24)$$

Bereich der Scherspannungen

$$\Delta\tau_X = \frac{2 \Delta F_X}{\pi \cdot d \cdot e_c} \quad (16.5-24a)$$

$$\Delta\tau_Y = \frac{2 \Delta F_Y}{\pi \cdot d \cdot e_c} \quad (16.5-24b)$$

$$\Delta\tau_Z = \frac{2 \Delta M_Z}{\pi \cdot d^2 \cdot e_c} \quad (16.5-24c)$$

Gesamter Scherspannungsbereich am Stutzen

$$\Delta\tau = \sqrt{\Delta\tau_X^2 + \Delta\tau_Y^2 + \Delta\tau_Z^2} \quad (16.5-24d)$$

16.5.7.4 Der Vergleichsspannungsbereich ist wie folgt begrenzt:

$$\sqrt{(\Delta\sigma_p + \Delta\sigma_{FZ})^2 + (\Delta\sigma_{MX}^2 + \Delta\sigma_{MY}^2) + 4 \cdot \Delta\tau^2} \leq 3f \quad (16.5-25)$$

Dabei entspricht der Wert f den Festlegungen in C.7.3.

16.5.8 Längsspannung am Stutzen

Dieser Unterabschnitt kann bei Stutzen vernachlässigt werden, die für den Anschluss an eine Rohrleitung mit derselben Beständigkeit (Dicke multipliziert mit zulässiger Spannung) vorgesehen sind.

16.5.8.1 Die maximale Zugspannung in Längsrichtung am Stutzen ist wie folgt begrenzt:

$$\frac{P_d}{4e_b} + \frac{4 \cdot \sqrt{(M_x^2 + M_y^2)}}{\pi d^2 e_b} + \frac{F_Z}{\pi d e_b} \leq f_b \quad (16.5-26)$$

F_Z ist gleich null zu setzen, wenn durch die Kraft eine axiale Druckspannung verursacht wird.

16.5.8.2 Die Stabilität es Stutzens in Längsrichtung (mit $P = 0$) ist wie folgt zu prüfen:

$$\frac{\sqrt{(M_x^2 + M_y^2)}}{M_{\max}} + \frac{|F_Z|}{F_{\max}} \leq 1,0 \quad (16.5-27)$$

F_Z ist gleich null zu setzen, wenn durch die Kraft eine axiale Zugspannung verursacht wird. Dabei ist $M_{\max}$ das zulässige globale Moment und $F_{\max}$ das zulässige globale Moment und die Kraft im Stutzen. Angaben zur Berechnung sind in 16.14 enthalten.

Tabelle 16.5-1 — Faktoren zur Ermittlung des Beiwerts C_1

e_b / e_c	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Alle	0,600 721 81	0,951 962 57	0,005 195 788 1	−0,001 406 381	0

Tabelle 16.5-2 — Faktoren zur Ermittlung des Beiwerts C_2

e_b / e_c	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Alle	4,526 315	0,064 021 889	0,158 876 38	−0,021 419 298	0,001 035 040 7

Tabelle 16.5-3 — Faktoren zur Ermittlung des Beiwerts C_3

e_b / e_c	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
$\leq 0,2$	4,851 751 1	0,025 101 2	0,742 862 4	−0,015 315 3	0
$\geq 0,5$	4,858 863 9	2,187 088 7	1,456 705 3	−0,331 643 0	0,025 385 0

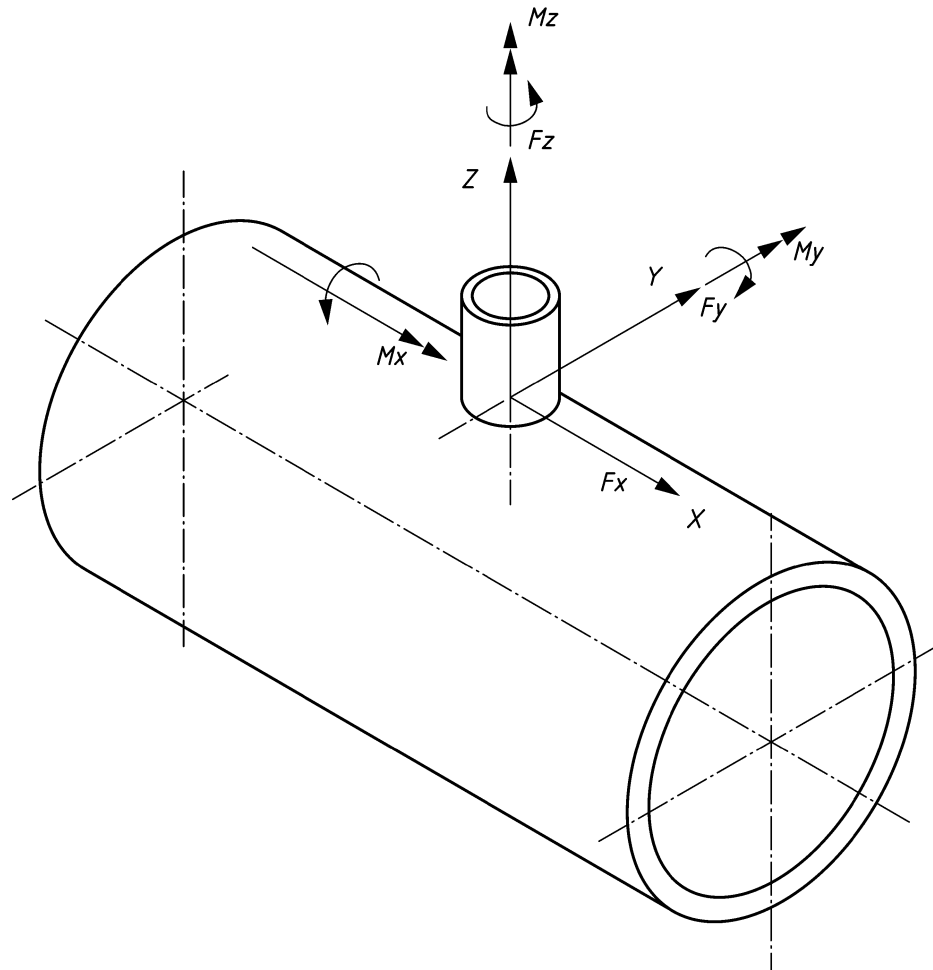


Bild 16.5-1 — Moment- und Kraftvektoren

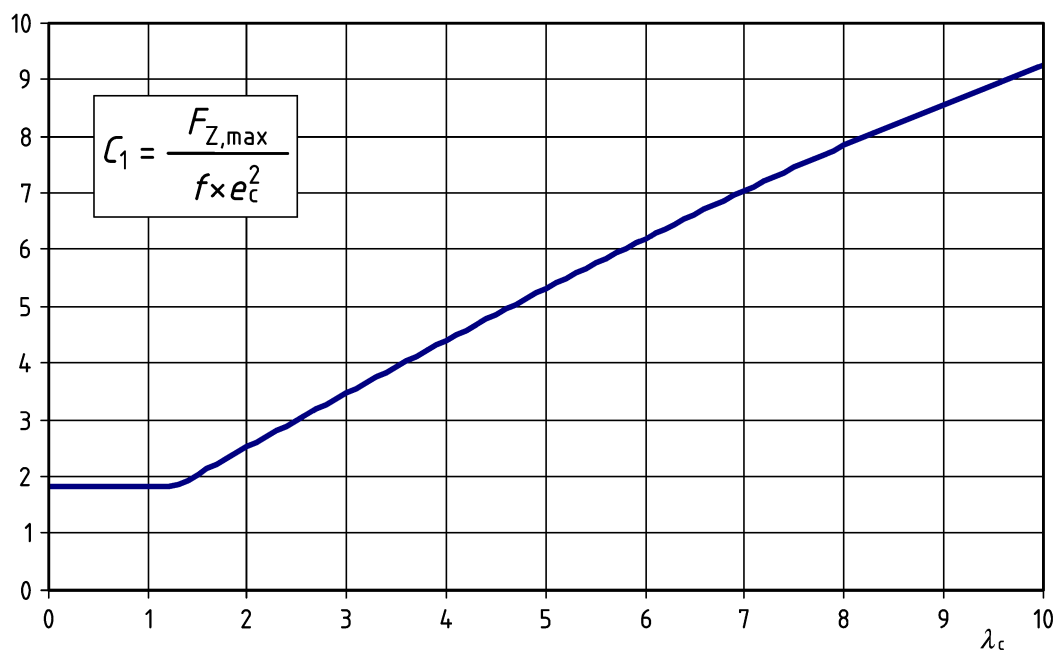


Bild 16.5-2 — Graphische Darstellung des Beiwerts C_1

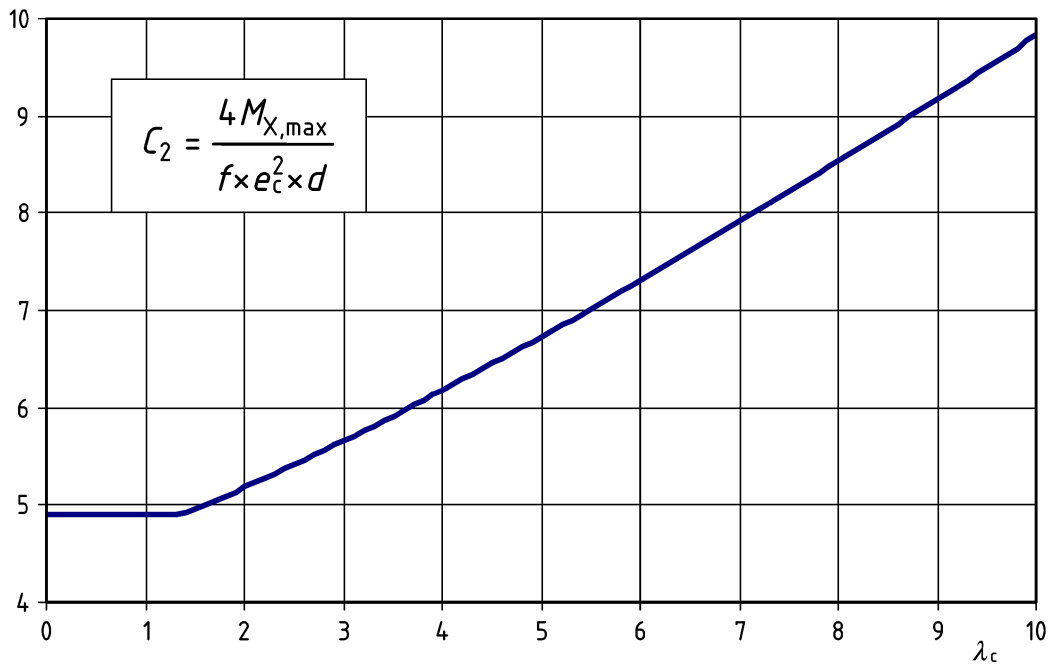


Bild 16.5-3 — Graphische Darstellung des Beiwerts C_2

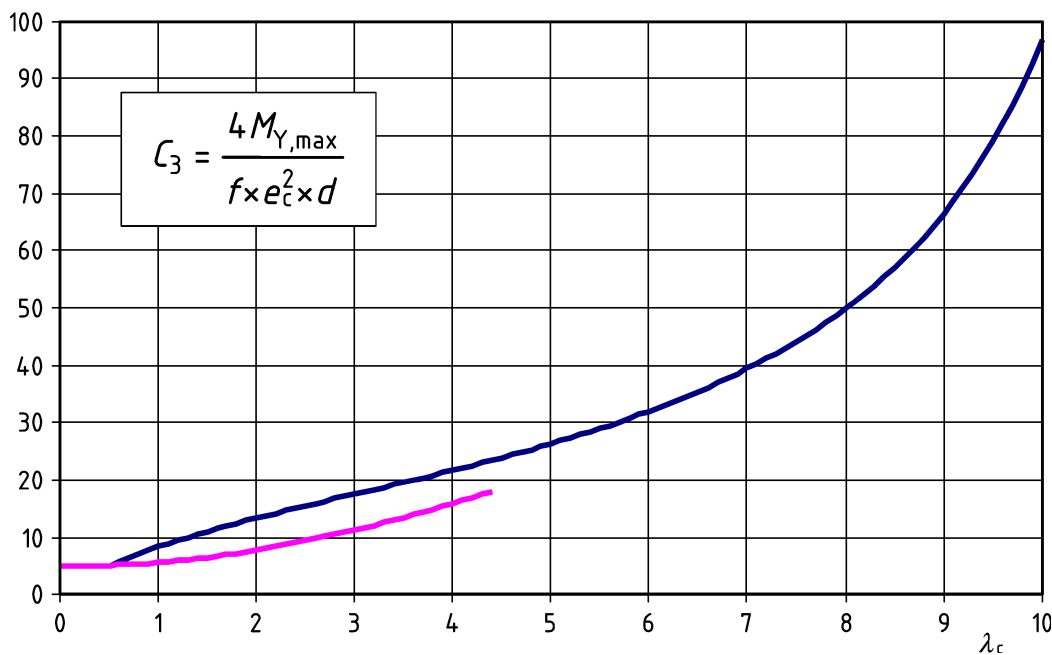


Bild 16.5-4 — Graphische Darstellung des Beiwerts C_3

“.

8 Änderung an Unterabschnitt 16.6.6, Biegespannungsgrenze

Den Inhalt von Unterabschnitt 16.6.6 durch das Folgende ersetzen:

„Die Biegespannungsgrenze wird aus Gleichung (16.6-6) berechnet, die eine Funktion der Membranspannung aufgrund lokaler und globaler Lasten darstellt.

$$\sigma_{b,all} = K_1 K_2 f \quad (16.6-6)$$

- für Auslegungsbedingungen: $K_2 = 1,25$;
- für Prüf-, Transport- und Hebebedingungen: $K_2 = 1,05$ und $f = f_{test}$.

Der Wert von K_1 ist eine Funktion von v_1 und v_2 und muss aus Bild 16.6-1 entnommen oder aus Gleichung (16.6-7) berechnet werden:

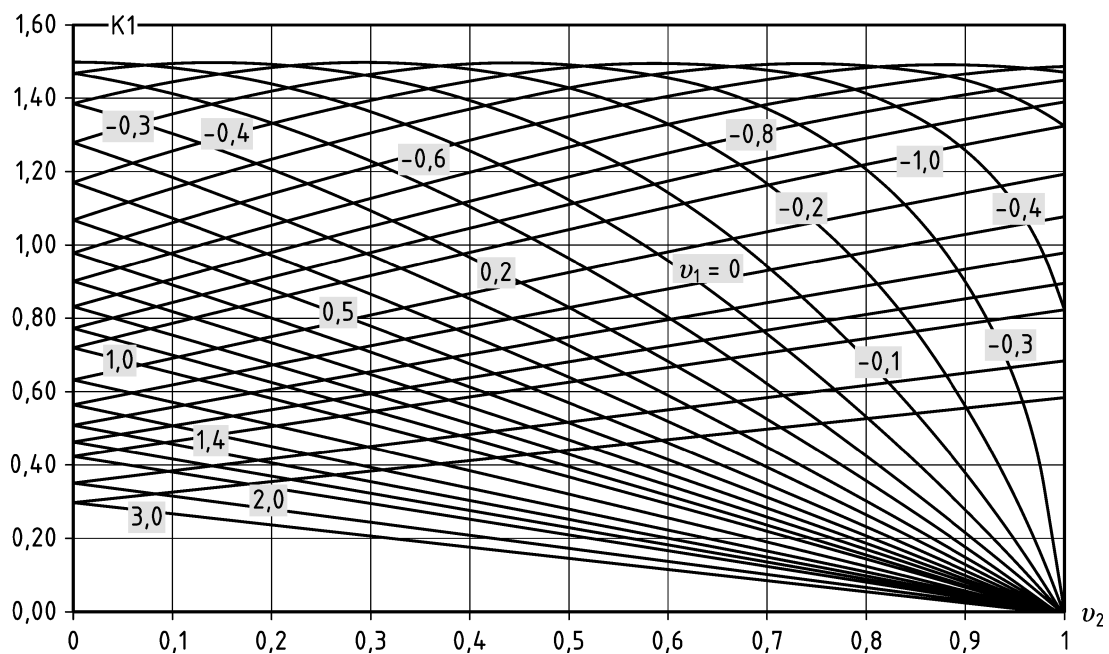
$$K_1 = \frac{1 - v_2^2}{\left(\frac{1}{3} + v_1 v_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + v_1 v_2\right)^2 + (1 - v_2^2) v_1^2}} \quad (16.6-7)$$

mit

$$v_2 = \frac{\sigma_m}{K_2 f} \quad (16.6-8)$$

Dabei ist

v_1 und σ_m siehe Gleichung (16.6-14) und die dazugehörige Erläuterung zu v_2 , bzw. Gleichung (16.6-18).



Wenn in diesem Bild $v_2 < 0$, müssen die Vorzeichen von v_1 und v_2 getauscht werden, um K_1 zu bestimmen.

Bild 16.6-1 — Faktor K_1

“

9 Änderung an Unterabschnitt 16.7.2, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

Den Satz:

„W Gesamtmasse des Behälters;“

ersetzen durch:

„G_{max} Gesamtmasse des Behälters;“.

10 Änderung an Unterabschnitt 16.7.4, Aufgebrachte Kraft

Den Inhalt des Unterabschnitts durch das Folgende ersetzen:

„Die an der Aufhängeöse wirkende aufgebrachte Kraft F_R ist zu berechnen, und zwar im Fall eines symmetrischen Behälters mit zwei Aufhängeösen nach Bild 16.7-3(a) wie folgt:

$$F_R = \frac{1,5G_{\max}}{2\cos\beta} \quad (16.7-1)$$

“.

11 Änderung an Unterabschnitt 16.7.5, Lastgrenzen für die Schale

Schritt 4) durch Folgendes ersetzen:

„

- 4) mit geeigneten Werten von λ , v_1 und v_2 die Biegespannungsgrenze aus Gleichung (16.6-6) in 16.6.5 berechnen;“.

12 Änderung an Unterabschnitt 16.8.6.2, Behälter unter Außendruck

Die ANMERKUNG durch den folgenden Text ersetzen:

„

ANMERKUNG Zur Bestimmung von $P_{\max}$ und $M_{\max}$ bei verschiedenen Lastfällen, siehe 3.16, ANMERKUNG 1, Tabelle 5.3.2.4–1 und 8.4.4“.

13 Änderung an Unterabschnitt 16.8.7, Lastgrenze am Sattel (ohne Verstärkungsscheibe)

Die ANMERKUNG nach Gleichung (16.8-29) durch den folgenden Text ersetzen:

„

ANMERKUNG Zur Bestimmung von $P_{\max}$ und $M_{\max}$ bei verschiedenen Lastfällen, siehe 3.16, ANMERKUNG 1, Tabelle 5.3.2.4–1 und 8.4.4“.

14 Änderung an Unterabschnitt 16.12.4.1, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

Die bestehende Erläuterung der Variablen $F_{c,max}$ bzw. M_{max} durch die folgenden Erläuterungen ersetzen:

„

- $F_{c,max}$ Maximale Druckkraft nach Gleichung (16.14-2)
wobei $\sigma_{c,all}$ Gleichung (16.14-29) entspricht, wie in Tabelle 5.3.2.4-1 festgelegt
- M_{max} Maximale Druckkraft nach Gleichung (16.14-3)
wobei $\sigma_{c,all}$ Gleichung (16.14-29) entspricht, wie in Tabelle 5.3.2.4-1 festgelegt“.

15 Änderung an Unterabschnitt 16.12.4.3, Nachweis der Standzargenbereiche mit Ausschnitten

Den ersten Satz durch den Folgenden ersetzen:

„

Zu bestimmen sind die in Querschnitt 4-4 wirkenden Werte für F_4 und M_4 sowie $F_{c,max}$ mit $\sigma_{c,all}$ für alle Lastfälle nach Tabelle 5.3.2.4-1.“.

16 Änderung an Unterabschnitt 16.12.5.1, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

Die bestehende Erläuterung der Variablen f_3, f_4, f_5, f_7 bzw. f_8 durch die folgenden Erläuterungen ersetzen:

„

- f_3 Berechnungsnennspannung für die Standzargenwand nach Tabelle 5.3.2.4-1 in Abhängigkeit von der Lastbedingung
- f_4 Berechnungsnennspannung für die Auflageplatte nach Tabelle 5.3.2.4-1 in Abhängigkeit von der Lastbedingung
- f_5 Berechnungsnennspannung für die Deckplatte oder obere Ringplatte nach Tabelle 5.3.2.4-1 in Abhängigkeit von der Lastbedingung
- f_7 Berechnungsnennspannung für die Rippen oder Tragplatte nach Tabelle 5.3.2.4-1 in Abhängigkeit von der Lastbedingung
- f_8 Berechnungsnennspannung für die Verankerungsschrauben nach Tabelle 5.3.2.4-1 in Abhängigkeit von der Lastbedingung“.

17 Änderung an Unterabschnitt 16.12.5.2, Auf die Verankerungsschrauben und den Beton wirkende Kräfte

Die ANMERKUNG nach Gleichung (16.12-78) durch das Folgende ersetzen:

„

ANMERKUNG Für hohe stehende Behälter sind F_S und M_S in Tabelle 22-1 als Vertikalkraft F_V bzw. als Biegemoment M_B für die unterschiedlichen Lastbedingungen festgelegt.“.

Die Definition von „ $f_{B,op}$ “ nach Gleichung (16.12-80) löschen.