

DIN EN 13445-3/A8

ICS 23.020.30

Änderung von
DIN EN 13445-3:2018-12**Unbefeuerte Druckbehälter –
Teil 3: Konstruktion;
Deutsche Fassung EN 13445-3:2014/A8:2019**

Unfired pressure vessels –
Part 3: Design;
German version EN 13445-3:2014/A8:2019

Réceptifs sous pression non soumis à la flamme –
Partie 3: Conception;
Version allemande EN 13445-3:2014/A8:2019

Gesamtumfang 54 Seiten

DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-3:2014/A8:2019) 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 Unterausschuss NA 012-00-05-03 UA „Unbefeuerte Druckbehälter“ des DIN-Normenausschuss Chemischer Apparatebau (FNCA) verantwortlich.

Dieses Dokument enthält Änderungen zu DIN EN 13445-3:2018-12.

Es ist vorgesehen, den Inhalt dieses Dokumentes bei einer Folgeausgabe von DIN EN 13445-3 einzuarbeiten.

Deutsche Fassung

Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion

Unfired pressure vessels —
Part 3: Design

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

Diese Änderung A8 modifiziert die Europäische Norm EN 13445-3:2014. Sie wurde vom CEN am 19. November 2018 angenommen.

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

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

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



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
1 Änderung an Abschnitt 2, Normative Verweisungen	4
2 Änderung an Unterabschnitt 5.3.1, Einwirkungen.....	4
3 Ergänzung eines neuen Unterabschnitts 5.3.2.4, Lastkombinationen.....	4
4 Ergänzung eines neuen Unterabschnitts 6.7 Berechnungsnennspannung von Verankerungsschrauben	9
5 Änderung an Unterabschnitt 8.4, Allgemeines	9
6 Änderung an Unterabschnitt 16.4, Lokale Lasten an Stützen in Kugelschalen.....	9
7 Änderung an Unterabschnitt 16.5, Lokale Lasten an Stützen in Zylinderschalen.....	19
8 Änderung an Unterabschnitt 16.6.6, Biegespannungsgrenze	28
9 Änderung an Unterabschnitt 16.7.2, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen.....	29
10 Änderung an Unterabschnitt 16.7.4, Aufgebrachte Kraft	29
11 Änderung an Unterabschnitt 16.7.5, Lastgrenzen für die Schale.....	30
12 Änderung an Unterabschnitt 16.8.6.2, Behälter unter Außendruck.....	30
13 Änderung an Unterabschnitt 16.8.7, Lastgrenze am Sattel (ohne Verstärkungsscheibe).....	30
14 Änderung an Unterabschnitt 16.12.4.1, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen	30
15 Änderung an Unterabschnitt 16.12.4.3, Nachweis der Standzargenbereiche mit Ausschnitten.....	30
16 Änderung an Unterabschnitt 16.12.5.1, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen	31
17 Änderung an Unterabschnitt 16.12.5.2, Auf die Verankerungsschrauben und den Beton wirkende Kräfte	31
18 Änderung an Unterabschnitt 16.14, Globale Lasten	31
19 Änderung an Unterabschnitt 16.14.2, Zusätzliche Symbole und Abkürzungen	32
20 Änderung an Unterabschnitt 16.14.8, Druckspannungsgrenzen.....	33
21 Änderung an Unterabschnitt 16.14.8.1, Berechnung	33
22 Änderung an Unterabschnitt 16.14.8.2, Toleranzen	36
23 Änderung an Unterabschnitt 16.14.9, Wind- und Erdbebenlasten	40
24 Änderung an Abschnitt 22, Statische Berechnung hoher stehender Behälter auf Standzargen	40
25 Änderung an Unterabschnitt 0.4.1, Allgemeines	51
26 Änderung an Unterabschnitt 0.4.2, Polynomische Koeffizienten.....	51
27 Änderung an Unterabschnitt 0.4.3, Bilder zu den physikalischen Eigenschaften von Stahl	51
28 Ergänzung eines neuen Anhangs V (informativ), Berücksichtigung eines Puffers für unbekannte Lasten am Stützen — Auslegung der Ausschnitte für unbekannte Lasten am Stützen	52

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13445-3:2014/A8:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 54 „Unbefeuerte Druckbehälter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2019 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das/den 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 von EN 13445-3:2014 ist.

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

1 Änderung an Abschnitt 2, Normative Verweisungen

Füge die Fußnotennummer „¹“ nach der Verweisung „EN 1991-1-4:2005“ und die dazugehörige Fußnote am Ende der Seite ein:

„¹ EN 1991-1-4:2005 wird durch die eigenständige Änderung EN 1991-1-4:2005/A1:2010 und durch die Berichtigung EN 1991-1-4:2005/AC:2010 geändert.“

In der EN 1991-1-6 ist „EN 1991-1-6“ durch „EN 1991-1-6:2005“ zu ersetzen.

Der folgende neue Eintrag ist an der geeigneten Stelle hinzuzufügen:

„EN 12195-1:2010, *Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen — Sicherheit — Teil 1: Berechnung von Sicherungskräften*“.

2 Änderung an Unterabschnitt 5.3.1, Einwirkungen

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 Gewichtseinwirkungen 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 Wind 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 globale Gleichgewicht des Behälters nehmen (siehe 22.4.6 für Säulen).

ANMERKUNG Kräfte und Momente an Stützen und Auflagern am Behälter aufgrund von angebrachten externen Rohrleitungen können als innere und/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 in seiner Ausdehnung behindern. 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)
$f_{B,op}$	Berechnungsnennspannung 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	Berechnungsinwendendruck 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 andere als Drucklasten 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
LC0	$P_i, G_{\max}$	P_i und $G_{\max}$	f_d	$\sigma_{c,all}$	$f_{B,op}$	Betrieb unter Innendruck
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, Wasser oder Schiene). 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 1991-1-6:2005 für Zeiträume von < 12 Monate überein.

Zu LC9: Der verringerte Faktor für die Windlast stimmt mit EN 1991-1-6:2005 für Zeiträume von < 3 d 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 Unterabschnitt 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, muss die zulässige Elastizitätsgrenze wie folgt berechnet werden:“.

Den ersten Satz von 8.4.3 durch den Folgenden ersetzen:

„

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

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 V.

16.4.2 Zusätzliche Symbole und Abkürzungen

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

d	mittlerer Stützendurchmesser
d_i	Stützeninnendurchmesser
d_e	Stützenaußendurchmesser
d_2	Außendurchmesser der Verstärkungsscheibe
e_c	Berechnungswanddicke von Schale und Verstärkungsscheibe
e_{eq}	äquivalente Schalenwanddicke
e_b	Stützenwanddicke
f_b	zulässige Spannung des Stützenwerkstoffs
F_S	Scherkraft am Stützen
F_Z	Axialkraft am Stützen (Zugkraft bzw. radial nach außen wirkende Kraft ist positiv)
$F_{Z,max}$	höchstzulässige Axialkraft am Stützen
L	Breite der Verstärkungsscheibe
M_B	Biegemoment am Stützen an der Verbindung zur Kugelschale
$M_{B,max}$	höchstzulässiges Biegemoment am Stützen an der Kugelschalenverbindung
M_Z	Torsionsmoment am Stützen
R	mittlerer Kugelschalenradius am Stützen
scf_p, scf_Z und scf_M	Spannungsfaktoren zufolge von Druck, axialer Stützenkraft und Stützenmoment
$\Delta\sigma_p$	Spannungsschwingbreite durch Druck
$\Delta\sigma_{FZ}$	Spannungsschwingbreite durch den Axiallastbereich am Stützen
$\Delta\sigma_{MB}$	Spannungsschwingbreite durch den Momentbereich
κ	Berechnungsbeiwert für Verstärkungen
λ_S	geometrischer Beiwert für Stützen in Kugelschalen
τ	Scherspannung in der Kugelschale
τ_F	durch Scherkräfte verursachte Scherspannung in der Kugelschale
τ_Z	durch das Torsionsmoment verursachte Scherspannung
Φ	Auslastungsgrad

16.4.3 Geltungsbereich

Für die Berechnung gelten die folgenden Einschränkungen:

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

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

- b) der Abstand zu einer anderen lokalen Last muss in allen Richtungen mindestens $\sqrt{R \cdot e_c}$ betragen;
- c) 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:

- a) 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:

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

- b) die maximal zulässigen Einzellasten berechnen (siehe 16.4.5);
- c) die Auslastungsgrade und die Wechselwirkung der Lasten prüfen (siehe 16.4.6);
- d) wird keine Verstärkungsscheibe oder eine Verstärkungsscheibe der Breite $L \geq \sqrt{R(e_a + e_2)}$ verwendet, zu Schritt 6 übergehen;
- e) 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;
- f) 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 Gleichung (16.4-16) bis Gleichung (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 darf 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;

- g) die Längsspannungen am Stutzen prüfen (siehe 16.4.8);
- h) wenn Spannungen oder Auslastungsgrade zu hoch sind, die Schalen- oder Stutzendicke vergrößern oder die Belastung verringern und zu Schritt 1 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, muss wie folgt ermittelt werden:

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 „Tragzapfen“ 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 die Gleichung hier 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 $M_{B,\max}$ 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 Um Wirkungen der Kombination aus Druck, Axiallast und Biegemoment bei gleichzeitigem Einwirken zu bestimmen, ist das folgende Verfahren anzuwenden.

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 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_c , 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 Bild 16.4-3 bis Bild 16.4-8 zu entnehmen.

ANMERKUNG Die scf -Beiwerte in Bild 16.4-3 bis Bild 16.4-8 sind BS 5500:1997, G2.5, entnommen (siehe 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 sind $M_{\max}$ und $F_{\max}$ das zulässige globale Moment und die Kraft im Stutzen. Angaben zur Berechnung sind in 16.14 enthalten.

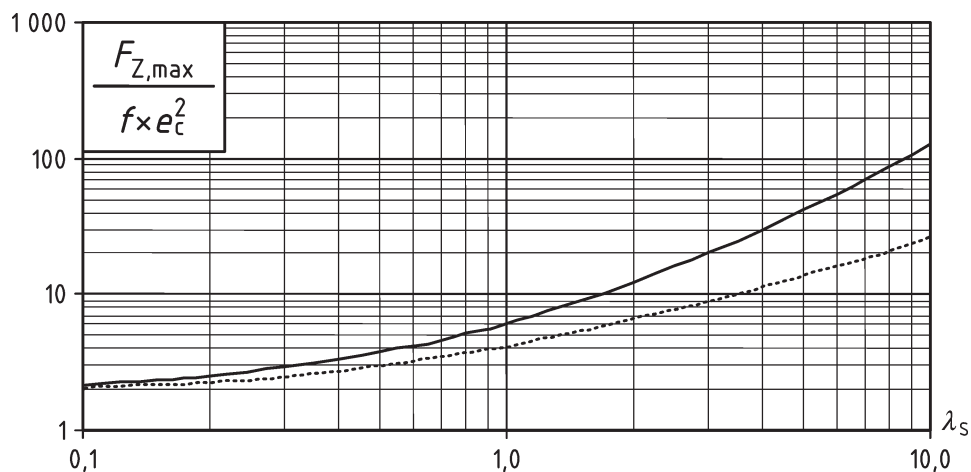


Bild 16.4-1 — Dimensionslose Kurvendarstellung von $F_{Z,\max}$ (obere Kurve = maximal verstärkt, untere Kurve = unverstärkt)