

DIN EN 1993-1-6/A1



ICS 91.010.30; 91.080.10

Entwurf

Einsprüche bis 2016-10-12
Ersatz für
E DIN EN 1993-1-6/A1:2014-10;
vorgesehen als Änderung von
DIN EN 1993-1-6:2010-12

**Eurocode 3 –
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen;
Deutsche und Englische Fassung EN 1993-1-6:2007/prA1:2016**

Eurocode 3 –
Design of steel structures –
Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures;
German and English version EN 1993-1-6:2007/prA1:2016

Eurocode 3 –
Calcul des structures en acier –
Partie 1-6: Résistance et stabilité des structures en coque;
Version allemande et anglaise EN 1993-1-6:2007/prA1:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-08-12 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 des 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 nabau@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 Bauwesen (NABau), 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 57 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-6:2007/prA1:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (SpA CEN/TC 250/SC 3)“ begleitet.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der EN 1993-1-6:2007/prA1:2016 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm- Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen

Eurocode 3: Calcul des structures en acier — Partie 1-6 : Résistance et stabilité des structures en coque

Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures

ICS:

Deskriptoren

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

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
1 Änderungen im Vorwort	5
2 Änderung in der gesamten Norm.....	5
3 Änderung in 1.2, Normative Verweisungen.....	5
4 Änderungen in 1.3, Begriffe	6
5 Änderungen in 1.4, Formelzeichen	7
6 Änderung in 2.2.5, Lineare elastische Verzweigungsberechnung (LBA)	7
7 Änderung in 2.2.6, Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung (GNA)	7
8 Änderung in 2.2.7, Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)	7
9 Änderung in 2.2.8, Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA).....	8
10 Änderung in 2.2.9, Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung mit Imperfektionen (GNIA)	8
11 Änderung in 2.2.10, Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA).....	8
12 Änderung in 3.3, Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen	8
13 Änderungen in 4.1.1, LS1: Plastische Grenze oder Zugbruch.....	8
14 Änderung in 4.2.2.2, Primärspannungen.....	9
15 Änderung in 4.2.4, Numerisch gestützter Tragsicherheitsnachweis.....	9
16 Änderung in 5.3, Berechnungskonzepte	9
17 Änderungen in Abschnitt 6, Grenzzustand Plastische Grenze oder Zugbruch (LS1).....	9
18 Änderungen in 6.2.1, Bemessungswerte der Spannungen.....	10
19 Änderungen in 6.3, Numerisch gestützter Tragsicherheitsnachweis mittels globaler MNA- oder GMNA-Berechnung.....	10
20 Änderung in 8.2, Spezielle Definitionen und Formelzeichen	11
21 Änderungen in 8.5.2, Bemessungswert des Widerstandes (Beultragfähigkeit)	11
22 Ergänzung eines neuen Abschnitts 8.6, Bemessung mittels Referenzwiderständen	12
8.6 Bemessung mittels Referenzwiderständen.....	12
23 Änderungen in 8.6.2 (neue Abschnittsnummer 8.7.2), Bemessungswert des Widerstandes.....	14
24 Änderungen in 8.7.2 (neue Abschnittsnummer 8.8.2), Bemessungswert des Widerstandes.....	15
25 Änderung in Anhang B (normativ), Zusätzliche Gleichungen für plastische Kollaps-Widerstände	16
26 Änderung in C.3.3, Zylinder, gelenkig gelagert: Konstanter Innendruck und Axiallast.....	16
27 Änderungen in D.1.2.2, Parameter für Meridianbeulen.....	16

28	Änderung in D.1.3.2, Parameter für Umfangsbeulen	17
29	Änderung in D.1.4.2, Parameter für Schubbeulen.....	17
30	Änderungen in D.1.5.2, Parameter für Meridianbeulen bei gleichzeitig wirkendem Innendruck	17
31	Änderungen in D.1.6, Kombinationen der Beanspruchung durch Druck in Meridianrichtung (Axialrichtung), Druck in Umfangsrichtung und Schub.....	18
32	Änderungen in D.4.2.2, Druckbeanspruchung in Meridianrichtung	18
33	Ergänzung eines neuen Anhangs E (normativ), FormelAusdrücke für die Bemessung des Referenzwiderstands.....	18
	Anhang E (normativ) FormelAusdrücke für die Bemessung des Referenzwiderstands	19
E.1	Zylindrische Schalen unter konstanter globaler Biegung.....	19
E.1.1	Allgemeines	19
E.1.2	Beulwiderstände	20
E.1.3	Beulsicherheitsnachweis.....	22
E.2	Vollständig oder teilweise kugelförmige Schalen	22
E.2.1	Allgemeines	22
E.2.2	Toleranzen für kugelförmige Schalen	24
E.2.3	Beulsicherheitsnachweis.....	25
E.2.4	Beulsicherheitsnachweis.....	27

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-6:2007/prA1:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben.

1 Änderungen im Vorwort

Im Vorwort im Absatz „Nationaler Anhang für EN 1993-1-6“ sind in der Liste bei den geeigneten Stellen die folgenden Einträge hinzuzufügen:

„

— 6.2.1 (6);

und

— 8.6.3 (5).“

Im Vorwort im Absatz „Nationaler Anhang für EN 1993-1-6“ sind in der Liste im 2. Absatz die folgenden Einträge zu den „nationalen Festlegungen“:

„

— 8.7.2 (7)

— 8.7.2 (16)

— 8.7.2 (18) (zweimal)“

durch

"

— 8.8.2 (9)

— 8.8.2 (18)

— 8.8.2 (20) (zweimal)“

zu ersetzen.

2 Änderung in der gesamten Norm

Das Formelzeichen

„ r_R “

ist in der gesamten Norm durch

„ R “

zu ersetzen.

3 Änderung in 1.2, Normative Verweisungen

In der Liste der Teile der EN 1993 ist

„EN 1993-1-1“

durch

„EN 1993-1-1:2005“

zu ersetzen.

4 Änderungen in 1.3, Begriffe

1.3.2.1 ist wie folgt zu ersetzen:

„1.3.2.1

Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1)

Grenzzustand der Tragfähigkeit, bei dem das Tragwerk Fließzonen in einer derartigen Anordnung entwickelt, dass seine Fähigkeit, höheren Lasten zu widerstehen, als erschöpft betrachtet wird“.

Ein neuer Abschnitt 1.3.5.3 ist zu ergänzen:

„1.3.5.3

semi-membrantheoretische Berechnung

Berechnung, die das Verhalten einer asymmetrisch belasteten oder gelagerten dünnwandigen zylinderförmigen Schale unter der Annahme beschreibt, dass das Gleichgewicht mit den äußeren Lasten ausschließlich durch Membrankräfte und Umfangsbiegemomente erreicht wird“.

Der frühere Abschnitt 1.3.5.3 (ist als 1.3.5.4) und die folgenden Unterabschnitte in 1.3.5 sind entsprechend neu zu benummern.

Der ehemalige Abschnitt 1.3.5.6 (neu benummert als 1.3.5.7) ist durch den folgenden Unterabschnitt zu ersetzen:

„1.3.5.7

materiell nichtlineare Berechnung

MNA

Berechnung auf der Grundlage der für die perfekte Struktur geltenden Schalenbiegetheorie unter der Annahme von kleinen Verformungen, wie in 1.3.5.4, jedoch unter Anwendung eines idealen elasto-plastischen Werkstoffgesetzes (idealisierende perfekte plastische Beanspruchung (Verhalten) nach dem Fließen)“.

Der ehemalige Abschnitt 1.3.5.7 (neu benummert als 1.3.5.8) ist durch den folgenden Abschnitt zu ersetzen:

„1.3.5.8

geometrische und materiell nichtlineare Berechnung

GMNA

Berechnung auf der Grundlage der für die perfekte Struktur geltenden Schalenbiegetheorie unter der Annahme einer nichtlinearen Theorie großer Verformungen für die Verschiebungen und eines vollständig nichtlinearen elasto-plastisch-aushärtenden Werkstoffgesetzes, sofern geeignet, wobei diese Berechnung eine Verzweigungseigenwert-Überprüfung auf jedem Belastungsniveau einschließt“.

Der ehemalige Abschnitt 1.3.5.9 (neu benummert als 1.3.5.10) ist durch den folgenden Abschnitt zu ersetzen:

„1.3.5.10

geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen

GMNIA

Berechnung, bei der Imperfektionen ausdrücklich eingeschlossen sind und die auf der Grundlage der für die imperfekte Struktur (d.h. die Geometrie der Schalenmittelfläche umfasst die unbeabsichtigten Abweichungen von der idealen Form) geltenden Schalenbiegetheorie erfolgt, unter Zuhilfenahme eines

vollständig nichtlinearen elasto-plastisch-aushärtenden Werkstoffgesetzes sowie einer nichtlinearen Theorie großer Verformungen für Verschiebungen, die allen Änderungen der Geometrie, die durch die Einwirkungen auf die Schale hervorgerufen werden, in vollem Umfang Rechnung trägt

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den Imperfektionen können auch Imperfektionen in den Randbedingungen und Eigenspannungen gehören. Diese Berechnung schließt eine Verzweigungseigenwert-Überprüfung auf jedem Belastungsniveau ein.“

5 Änderungen in 1.4, Formelzeichen

In Absatz (12) ist die folgende Zeile:

„ α Faktor für elastische Imperfektionsabminderung beim Beulsicherheitsnachweis;“

zu ersetzen durch:

„ α elastischer Beul-Abminderungsfaktor beim Beulsicherheitsnachweis;

α_G geometrischer Abminderungsfaktor;

α_I Faktor für Imperfektionsabminderung;“

In Absatz (12) ist die folgende Zeile:

„ χ Beul-Abminderungsfaktor für elastisch-plastische Effekte beim Beulsicherheitsnachweis;“

zu ersetzen durch:

„ χ elastisch-plastischer Beul-Abminderungsfaktor für elastisch-plastische Effekte beim Beulsicherheitsnachweis;“

In Absatz (12) ist die folgende Zeile:

„ χ_{ov} Beul-Abminderungsfaktor für die gesamte Schale;

zu ersetzen durch:

„ χ_{ov} elastisch-plastischer Beul-Abminderungsfaktor für die gesamte Schale;“.

Die ANMERKUNG in Absatz (12) ist zu streichen.

6 Änderung in 2.2.5, Lineare elastische Verzweigungsberechnung (LBA)

In Absatz (1) ist „8.6 und 8.7“ durch „8.7 und 8.8“ zu ersetzen.

7 Änderung in 2.2.6, Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung (GNA)

In Absatz (2) ist „8.6 und 8.7“ durch „8.7 und 8.8“ zu ersetzen.

8 Änderung in 2.2.7, Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)

In Absatz (1) ist „8.7“ durch „8.8“ zu ersetzen.

9 Änderung in 2.2.8, Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA)

Die Absätze (1) und (2) sind durch die folgenden zu ersetzen:

„(1) Die Ergebnisse einer GMNA-Berechnung sind, entsprechend 2.2.7, die geometrisch nichtlineare plastische Versagenslast der perfekten Struktur und das plastische Dehnungsinkrement, die für den Nachweis gegen die Grenzzustände LS1 und LS2 verwendet werden können.

(2) Wenn Druck- oder Schubspannungen in einigen Teilen der Schale überwiegen, liefert eine GMNA-Berechnung die elasto-plastische Beullast der perfekten Struktur. Diese perfekte Schalenbeullast sollte immer bestimmt werden, wenn der Grenzzustand LS3 mithilfe der GMNIA-Berechnung verifiziert wird, siehe 8.8.“.

10 Änderung in 2.2.9, Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung mit Imperfektionen (GNIA)

In Absatz (1) ist „8.7“ durch „8.8“ zu ersetzen.

11 Änderung in 2.2.10, Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA)

In Absatz (1) ist „8.7“ durch „8.8“ zu ersetzen.

12 Änderung in 3.3, Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen

In Absatz (3) ist „8.7“ durch „8.8“ (zweimal) zu ersetzen.

13 Änderungen in 4.1.1, LS1: Plastische Grenze oder Zugbruch

Die Überschrift von 4.1.1 ist durch folgende zu ersetzen:

„4.1.1 LS1: Grenzzustand des plastischen Versagens“

Der Absatz (1) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(1) Als Grenzzustand des plastischen Versagens sollte derjenige Zustand angenommen werden, in dem die Fähigkeit der Struktur, den Einwirkungen auf sie zu widerstehen, infolge der Plastizität im Werkstoff erschöpft ist.

Der plastische Versagenswiderstand sollte vom plastischen Referenzwiderstand unterschieden werden, der unter Zuhilfenahme eines idealen elasto-plastischen Werkstoffgesetzes aus einem plastischen Kollapsmechanismus hergeleitet wird, der auf einer Theorie kleiner Verformungen beruht.“.

Der Absatz (3) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(3) Bei Abwesenheit von Löchern für Verbindungsmittel kann die Verifizierung beim Grenzzustand Zugbruch als durch den Nachweis des Grenzzustands des plastischen Versagens abgedeckt angenommen werden. Sind jedoch Löcher für Verbindungsmittel vorhanden, so sollte ein zusätzlicher Nachweis nach EN 1993-1-1:2005, 6.2 geführt werden.“

Der Absatz (4) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(4) Bei der Verifizierung des Grenzzustands des plastischen Versagens darf plastisches oder teilplastisches Verhalten der Struktur angenommen werden (d. h. Überlegungen zur elastischen Kompatibilität dürfen vernachlässigt werden).

ANMERKUNG Da der Grenzzustand des plastischen Versagens eine Veränderung der Geometrie umfasst, ist jedoch darauf hinzuweisen, dass dieser Grenzzustand auch ein Durchschlagbeulen umfassen darf, das im elastischen Zustand auftreten kann. Der plastische Referenzwiderstand beinhaltet nicht die Änderung der Geometrie, sodass diese offensichtliche Anomalie nicht auftreten wird.“

14 Änderung in 4.2.2.2, Primärspannungen

Die Absätze (1) und (2) sind durch folgende zu ersetzen:

„(1) Die Primärspannungen sollten als ein Spannungssystem gelten, das für das Gleichgewicht mit den aufgetragenen Belastungen erforderlich ist. Sie dürfen aus jedem realistischen, statisch bestimmten System berechnet werden. Der Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1) sollte als erreicht betrachtet werden, wenn die Primärspannung an einer ausreichenden Anzahl von Punkten durch die Wanddicke hindurch die Streckgrenze erreicht hat, sodass nur die Verfestigungsreserve des Werkstoffes oder eine Veränderung der Schalengeometrie eine weitere Vergrößerung des Schalenwiderstandes liefern würde.“

„(2) Der Berechnung der Primärspannungen sollte auf einem System von Schnittgrößen beruhen, sofern es nur konsistent mit den Gleichgewichtsbedingungen des Tragwerks ist. Dabei dürfen auch die Vorteile der Plastizitätstheorie genutzt werden. Da die lineare elastische Berechnung die Gleichgewichtsbedingungen erfüllt, dürfen deren Ergebnisse alternativ auch als sichere Darstellung des Grenzzustands des plastischen Versagens (LS1) angewendet werden. Jedes der in 5.3 genannten Berechnungskonzepte darf angewendet werden.“

15 Änderung in 4.2.4, Numerisch gestützter Tragsicherheitsnachweis

In Absatz (6) ist „8.7“ durch „8.8“ zu ersetzen.

16 Änderung in 5.3, Berechnungskonzepte

In Tabelle 5.2 ist die Zeile:

„

Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)	linear	nichtlinear	perfekt
---	--------	-------------	---------

„

durch die folgende zu ersetzen:

„

Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)	linear	ideal elasto-plastisch	perfekt
---	--------	------------------------	---------

„

17 Änderungen in Abschnitt 6, Grenzzustand Plastische Grenze oder Zugbruch (LS1)

Die Überschrift ist durch die folgende zu ersetzen:

„6 Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1)“

18 Änderungen in 6.2.1, Bemessungswerte der Spannungen

Der Absatz (1) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(1) Obwohl die Spannungsberechnung auf einer elastischen Berechnung beruht und daher den Grenzzustand des plastischen Versagens nicht präzise vorhersagen kann, darf sie im Sinne des ersten plastizitätstheoretischen Traglasttheorems (Statistischer Satz — untere Schranke) verwendet werden, um eine konservative Näherung des plastischen Kollaps-Widerstandes zu erhalten, der den Grenzzustand des plastischen Versagens beschreibt, siehe 4.1.1.“

Die Absätze (5) und (6) sind durch folgende zu ersetzen:

„(5) Bei einer membrantheoretischer Berechnung, oder falls eine Analyse der linearen Biegetheorie (LA) unter den in (6) festgelegten Bedingungen verwendet wird, darf das resultierende zweidimensionale Feld der Schnittgrößen $n_{x,Ed}$, $n_{\theta,Ed}$ und $n_{x\theta,Ed}$ wie folgt in eine Bemessungs-Vergleichsspannung $\sigma_{eq,Ed}$ umgerechnet werden:

$$\sigma_{eq,Ed} = \frac{1}{t} \sqrt{n_{x,Ed}^2 + n_{\theta,Ed}^2 - n_{x,Ed} \cdot n_{\theta,Ed} + 3n_{x\theta,Ed}^2} \quad (6.1)$$

(6) Wenn eine LA- oder GNA-Berechnung angewendet wird und die mit den Ausdrücken (6.2) bis (6.4) ermittelte Größe der größten von Mises-Oberflächenspannung die mit dem Ausdruck (6.1) ermittelte von Mises-Membranspannung an der gleichen Stelle um das n -Fache überschreitet, sollte die Vergleichsspannung als der Wert verwendet werden, der mit den Ausdrücken (6.2) bis (6.4) bestimmt wird.

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{\theta,Ed} + 3\tau_{x\theta,Ed}^2} \quad (6.2)$$

Dabei ist:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x,Ed}}{(t^2/4)} \quad \sigma_{\theta,Ed} = \frac{n_{\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{\theta,Ed}}{(t^2/4)} \quad (6.3)$$

$$\tau_{x\theta,Ed} = \frac{n_{x\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x\theta,Ed}}{(t^2/4)} \quad (6.4)$$

ANMERKUNG 1 Die Ausdrücke (6.2) bis (6.4) liefern eine vereinfachte konservative Vergleichsspannung für Bemessungszwecke.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang darf den Wert von n festlegen. Der empfohlene Wert ist 3.“

19 Änderungen in 6.3, Numerisch gestützter Tragsicherheitsnachweis mittels globaler MNA- oder GMNA-Berechnung

Der Absatz (1)P ist durch folgenden zu ersetzen:

„(1)P Der Bemessungswert des plastischen Versagenswiderstandes muss als Lastfaktor R_{pl} , bezogen auf die Bemessungswerte F_{Ed} der für den betrachteten Lastfall maßgebenden Einwirkungskombination, ermittelt werden.“

Der Absatz (3) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(3) In einer MNA- oder GMNA-Berechnung, basierend auf dem Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} , sollten die Bemessungswerte der in (2) detailliert angegebenen Lastfälle auf die Schale aufgebracht und dann stufenweise um den Lastfaktor R erhöht werden, bis der plastische Versagenszustand beim Lastfaktor R_{pl} erreicht ist.“

In Absatz (4) ist „8.7“ durch „8.8“ zu ersetzen.

Der Absatz (5) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(5) Wenn eine GMNA-Berechnung durchgeführt wird und diese eine Höchstlast mit anschließend abfallendem Lastverformungspfad vorausberechnet, sollte der Maximalwert zur Bestimmung des Lastverhältnisses R_{GMNA} verwendet werden. Berechnet die GMNA-Berechnung keine Höchstlast voraus, sondern stattdessen, obwohl ohne Werkstoffverfestigung berechnet, eine stetig steigende Einwirkung-Verschiebung-Beziehung, sollte das Lastverhältnis R_{GMNA} nur so groß angesetzt werden, dass der Maximalwert der in der Schale vorhandenen plastischen von Mises-Vergleichsdehnung nicht größer als $\varepsilon_{mps} = n_{mps} \cdot (f_{yd}/E)$ ist.

ANMERKUNG Der Nationalen Anhang darf den Wert von n_{mps} festlegen. Es wird ein Wert von $n_{mps} = (66 - f_{yd}/15)$, dabei ist f_{yd} in MPa angegeben, empfohlen.“

Ein neuer Absatz (6) ist zu ergänzen:

„(6) Eine GMNA-Berechnung darf nicht zur Bestimmung des plastischen Referenzwiderstandes R_{pl} eingesetzt werden, der in Abschnitt 8 als Teil des LBA-/MNA-Bemessungsverfahrens verwendet wird.“

Der frühere Absatz (6) (ist als Absatz (7)) und die folgenden Absätze sind entsprechend neu zu benummern.

Der frühere Absatz (6) (neuer Absatz (7)) ist wie folgt zu ersetzen:

„(7) Der charakteristische plastische Versagenswiderstand $R_{pl,k}$ sollte entsprechend der anzuwendenden Berechnung entweder als R_{MNA} oder als R_{GMNA} angesetzt werden.“

Der frühere Absatz (7)P (neuer Absatz (8)P) ist wie folgt zu ersetzen:

„(8)P Der Bemessungswert des plastischen Versagenswiderstandes F_{Rd} ist wie folgt zu ermitteln:

$$F_{Rd} = \frac{F_{Rk}}{\gamma_{M0}} = \frac{R_k \cdot F_{Ed}}{\gamma_{M0}} = R_d \cdot F_{Ed} \quad (6.7)“.$$

20 Änderung in 8.2, Spezielle Definitionen und Formelzeichen

Der Absatz (1) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(1) Es sollte auf die speziellen Definitionen des Begriffs Beulen in 1.3.7 verwiesen.“.

21 Änderungen in 8.5.2, Bemessungswert des Widerstandes (Beultragfähigkeit)

Der erste Satz von Absatz (1) ist durch folgenden zu ersetzen:

„Der Beulwiderstand sollte in Form von Beulspannungen, wie in 1.3.7 definiert, dargestellt werden.“.

Der Absatz (3) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(3) Die charakteristischen Beulspannungen sollten durch Multiplikation der charakteristischen Streckgrenze mit den elasto-plastischen Beul-Abminderungsfaktoren χ wie folgt ermittelt werden:

$$\sigma_{x,Rk} = \chi_x f_{yk}, \quad \sigma_{\theta,Rk} = \chi_{\theta} f_{yk}, \quad \tau_{x\theta,Rk} = \chi_{\tau} f_{yk}/\sqrt{3} \quad (8.12)“.$$

Der Absatz (4) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(4) Die elasto-plastischen Beul-Abminderungsfaktoren χ_x , χ_θ und χ_t sollten als Funktion der relativen Schalenschlankheitsgrade $\bar{\lambda}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\chi = \chi_h - \left(\frac{\bar{\lambda}}{\bar{\lambda}_0} \right) (\chi_h - 1) \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (8.13)$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} < \bar{\lambda}_p \quad (8.14)$$

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2} \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda} \quad (8.15)$$

Dabei ist:

- α der elastische Beul-Abminderungsfaktor;
- β der den plastischen Bereich definierende Faktor;
- η der die Beulkurvenform beschreibende Exponent (Beulkurvenexponent);
- $\bar{\lambda}_0$ der vollplastische Grenzsclankheitsgrad;
- χ_h die Härtungsgrenze.“

In Absatz (8) ist „8.6.2“ durch „8.7.2“ zu ersetzen.

22 Ergänzung eines neuen Abschnitts 8.6, Bemessung mittels Referenzwiderständen

Der folgende Unterabschnitt 8.6 ist neu hinzuzufügen. Die ehemaligen Unterabschnitte 8.6 und 8.7 sind als 8.7 und 8.8 neu zu nummerieren, und die Gleichungen in diesen Unterabschnitten sind entsprechend neu zu nummerieren.

„

8.6 Bemessung mittels Referenzwiderständen

8.6.1 Grundsätze

(1) Weil das Beulen nicht durch eine einzelne Membranspannung an einer einzelnen Stelle bestimmt wird, jedoch von der Entwicklung einer Zone mit hoher Spannung abhängt, die signifikante Plastizität einschließen kann, ist innerhalb dieses Abschnitts der Grenzzustand Beulen durch den Bemessungswert der Einwirkungen repräsentiert, erweitert um den Punkt des Beulens und für die spezifischen festgelegten Bedingungen geltend.

(2) Der Einfluss von Membran- und Biegeeffekten, die Plastizität und geometrischen Imperfektionen sind bei der Anwendung der beiden Referenzwiderstände und der Beulparameter enthalten.

8.6.2 Bemessungswerte der Einwirkungen

(1) Die Bemessungswerte der Einwirkungen sollten 8.1 (1)P entsprechen.

8.6.3 Bemessungswert des Widerstandes

(1) Der Bemessungswert des Beulwiderstandes sollte für die Geometrie und den Lastfall aus dem elastischen kritischen Referenzwiderstand R_{cr} und dem plastischen Referenzwiderstand R_{pl} bestimmt werden, zusammen mit den in Anhang E festgelegten Kapazitätsparametern α , β , η , $\bar{\lambda}_0$ und χ_h .

(2) Der Wert des plastischen Referenzwiderstands R_{pl} kann aus Anhang B entnommen werden. Der Wert von R_{pl} für einen gegebenen Lastfall, falls geeignet die Last $P_{n,Ed}$, $P_{x,Ed}$, $p_{n,Ed}$, F_{Ed} usw. umfassend, sollte wie folgt ermittelt werden. Falls mehr als eine Lastkomponente vorhanden ist, sollten die Verhältnisse zwischen den unterschiedlichen Lastkomponenten mit festen Proportionen beibehalten werden, dabei wird eine als die führende Last F_{Ed} nominiert. Die plastische Kollapslast sollte anschließend für die Größe der führenden Last als F_R bestimmt werden. Der plastische Referenzwiderstand sollte dann als folgendes Verhältnis ermittelt werden:

$$R_{pl} = \frac{F_R}{F_{Ed}} \quad (8.24)$$

(3) Der elastische kritische Referenzwiderstand R_{cr} ist in Anhang E für spezifische Geometrien, Lastfälle sowie Randbedingungen festgelegt und darf nur für diese bestimmten Fälle verwendet werden.

(4) Der relative (bezogene) Schalenschlankheitsgrad sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{R_{pl}}{R_{cr}}} \quad (8.25)$$

(5) Der elasto-plastische Beul-Abminderungsfaktor χ sollte als eine Funktion des relativen Schalenschlankheitsgrads $\bar{\lambda}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\chi = \chi_h - (\bar{\lambda}/\bar{\lambda}_0)(\chi_h - 1) \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (8.26)$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} < \bar{\lambda}_p \quad (8.27)$$

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2} \quad \text{wenn} \quad \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda} \quad (8.28)$$

Dabei ist

α Beul-Abminderungsfaktor für den elastischen Bereich;

β der den plastischen Bereich definierende Faktor;

η der die Beulkurvenform beschreibende Exponent (Beulkurvenexponent);

$\bar{\lambda}_0$ der vollplastische Grenزشlankheitsgrad;

χ_h die Härtungsgrenze.

ANMERKUNG Die Werte für diese Parameter sollten aus Anhang E entnommen werden. Falls Anhang E die Werte für diese Parameter nicht festlegt, könnten sie im Nationalen Anhang angegeben sein.

Der Ausdruck (8.28) beschreibt den elastischen Beulzustand, der die geometrische Nichtlinearität und die geometrischen Imperfektionen berücksichtigt. In diesem Fall, sofern das Verhalten vollständig elastisch ist, darf der charakteristische Beulwiderstand alternativ direkt aus $R_k = \alpha R_{cr}$ bestimmt werden.

(6) Der Wert des vollplastischen Grenزشlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ sollte wie folgt bestimmt werden:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \beta}} \quad (8.29)$$

(7) Der charakteristische Widerstand der Schale sollte wie folgt bestimmt werden:

$$R_k = \chi R_{pl} \quad (8.30)$$

(8) Der Bemessungswiderstand der Schale sollte anschließend wie folgt bestimmt werden:

$$R_d = R_k / \gamma_{M1} \quad (8.31)$$

8.6.4 Beulsicherheitsnachweis

(1) Der folgende Nachweis des Widerstandes der Schalenkonstruktion gegen die festgelegte Last sollte wie folgt durchgeführt werden:

$$R_d \geq 1 \quad (8.32)''$$

23 Änderungen in 8.6.2 (neue Abschnittsnummer 8.7.2), Bemessungswert des Widerstandes

Der Absatz (3) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(3) Der plastische Referenzwiderstand R_{pl} (siehe Bild 8.5) sollte aus einer materiell nichtlinearen Berechnung (MNA) unter der betreffenden Einwirkungskombination als Lasterhöhungsfaktor bei Erreichen der plastischen Grenzlast ermittelt werden. Dieses Lastverhältnis R_{pl} darf als der größte, in der Berechnung unter Zuhilfenahme eines idealen elasto-plastischen Werkstoffgesetzes erreichte Wert, verwendet werden.“

In Absatz (4) ist der Ausdruck (8.24) (neu benummert als (8.33)):

$$r_{Rpl} = \frac{t \cdot f_{yk}}{\sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed} \cdot n_{\theta,Ed} + n_{\theta,Ed}^2 + n_{x\theta,Ed}^2}} \quad (8.24)''$$

„

durch folgenden Ausdruck zu ersetzen:

$$R_{pl} = \frac{t \cdot f_{y,k}}{\sqrt{n_{x,Ed}^2 - n_{x,Ed} \cdot n_{\theta,Ed} + n_{\theta,Ed}^2 + 3n_{x\theta,Ed}^2}} \quad (8.33)''$$

„

In Absatz (4) ist in der ANMERKUNG „Gleichung (8.24)“ durch „Gleichung (8.33)“ zu ersetzen.

Der Absatz (8) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(8) Der elasto-plastische Beul-Abminderungsfaktor der Gesamtschale χ_{ov} sollte nach 8.5.2 (4) als $\chi_{ov} = f(\bar{\lambda}_{ov}, \bar{\lambda}_{ov,0}, \alpha_{ov}, \beta_{ov}, \eta_{ov}, \chi_{ov,h})$ bestimmt werden, dabei ist α_{ov} der elastische Imperfektions-Abminderungsfaktor der Gesamtschale, β_{ov} der plastische Bereichsfaktor, η_{ov} der Interaktionsexponent, $\bar{\lambda}_{ov,0}$ der vollplastische Grenزشlankheitsgrad und $\chi_{ov,h}$ die Härtungsgrenze ist.“

Der Absatz (9) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(9) Bei der Bewertung der Faktoren $\bar{\lambda}_{ov,0}$, α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} sollten die Imperfektionsempfindlichkeit, die geometrische Nichtlinearität und weitere Aspekte des betreffenden Schalenbeulfalles berücksichtigt werden. Es sollten konservative Werte für diese Parameter durch Vergleich mit bekannten Schalenbeulfällen (siehe Anhang D) bestimmt werden, die in ihrer Beulform, ihrer Imperfektions- und Fließempfindlichkeit sowie in ihrer geometrischen Nichtlinearität und ihrem Nachbeulverhalten ähnlich sind. Der Wert für α_{ov} sollte außerdem die geeignete Herstelltoleranz-Qualitätsklasse berücksichtigen.

Wenn dieses Konzept auf Schallengeometrien und Lastfälle angewendet wird, bei denen Durchschlagbeulen auftreten können, sollte bei der Wahl eines geeigneten Wertes für α_{ov} mit besonderer Sorgfalt vorgegangen werden. Zu diesen Fällen gehören konische und sphärische Kappen und Kuppeln, die durch Außendruck belastet werden oder auf radial verschiebbaren Auflagern stehen. Der geeignete Wert für α_{ov} sollte auch dann mit Sorgfalt gewählt werden, wenn die Schallengeometrie und der Lastfall zu Zuständen führen, die in hohem Maße empfindlich gegenüber Änderungen der Geometrie sind, wie z. B. an unversteiften Knotenlinien zwischen zylindrischen und konischen Schallensegmenten unter Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (z. B. in Schornsteinen).

Die häufig in der Literatur mitgeteilten elastischen Schallengebeulasten für diese Sonderfälle beruhen in der Regel auf geometrisch nichtlinearer Berechnung von perfekten oder imperfekten Geometrien, die Vorhersagen zur Durchschlagbeulast ableiten. Im Gegensatz dazu verwendet die hier beschriebene Verfahrensweise die lineare Verzweigungslast als den kritischen elastischen Referenz-Beulwiderstand, der häufig wesentlich höher als die Durchschlaglast ist. In der Bemessungsberechnung müssen diese beiden Quellen des abgeminderten Widerstandes durch eine geeignete Auswahl des elastischen Beul-Abminderungsfaktors der Gesamtschale α_{ov} berücksichtigt werden. Diese Auswahl muss sowohl den Effekt der geometrischen Nichtlinearität (der zum Durchschlagen führen kann) als auch die zusätzliche Tragfähigkeitsabminderung durch geometrische Imperfektionen abdecken.“.

Der Absatz (11) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(11) Wenn keine speziellen Werte von α_{ov} , β_{ov} , η_{ov} , $\bar{\lambda}_{ov,0}$ und $\chi_{ov,h}$ entsprechend (9) oder (10) zur Verfügung stehen, dürfen die Werte für axialdruckbeanspruchte unversteifte Zylinder verwendet werden, siehe D.1.2.2. Falls bekannt ist, dass Durchschlagen möglich ist, sollte erwogen werden, α_{ov} noch weiter abzumindern.“.

24 Änderungen in 8.7.2 (neue Abschnittsnummer 8.8.2), Bemessungswert des Widerstandes

Der Absatz (4) ist wie folgt zu ersetzen:

„(4) Es sollte zunächst eine LBA-Berechnung der perfekten Struktur durchgeführt werden, um den kritischen relativen elastischen Beulwiderstand R_{cr} der perfekten Schale zu bestimmen.

(5) Anschließend sollte eine MNA-Berechnung, die eine perfekte elasto-plastische Werkstoffpräsentation annimmt, an der perfekten Struktur durchgeführt werden, um den relativen plastischen Referenzwiderstand R_{pl} der perfekten Schale zu bestimmen.

(6) Die LBA- und MNA-Widerstandsverhältnisse sollten dann zur Ermittlung des relativen Schlankheitsgrades der Gesamtschale $\bar{\lambda}_{ov}$ nach Ausdruck (8.25) verwendet werden.“.

Die folgenden Absätze (5) bis (27) müssen neu benummert werden.

In Absatz (15) (neu benummert als (17)) ist „(13) und (14)“ durch „(15) und (16)“ zu ersetzen.

In Absatz (20) (neu benummert als (22)) ist „(18)“ durch „(20)“ zu ersetzen.

Die ANMERKUNG unter dem Absatz (22) (neu benummert als (24)) ist durch den folgenden Text zu ersetzen:

„Wird der Widerstand durch plastische Effekte dominiert, so wird das Verhältnis (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) wesentlich größer als der elastische Beul-Abminderungsfaktor α sein, sodass von einer stark eingeschränkten Vergleichbarkeit auszugehen ist. Wird der Widerstand jedoch durch im Wesentlichen elastische Beulphänomene bestimmt, so sollte das Verhältnis (R_{GMNIA}/R_{GMNA}) nur geringfügig größer als der durch „Handberechnung“ bestimmte Wert sein, und die Faktoren, die zu deutlich größeren Werten führten, sollten sorgfältig untersucht werden.“.

25 Änderung in Anhang B (normativ), Zusätzliche Gleichungen für plastische Kollaps-Widerstände

Die Überschrift:

„Zusätzliche Gleichungen für plastische Kollaps-Widerstände“

ist mit der folgenden zu ersetzen:

„Zusätzliche Ausdrücke für plastische Referenzwiderstände“

26 Änderung in C.3.3, Zylinder, gelenkig gelagert: Konstanter Innendruck und Axiallast

Der Ausdruck für die maximale Vergleichsspannung:

$$\text{Maximum } \sigma_{eq,m} = \sigma_{MTx} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right) + \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)^2}$$

ist durch den folgenden zu ersetzen:

$$\text{Maximum } \sigma_{eq,m} = \sigma_{MT\theta} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right) + \left(\frac{\sigma_{MTx}}{\sigma_{MT\theta}}\right)^2}$$

27 Änderungen in D.1.2.2, Parameter für Meridianbeulen

Der Absatz (1) ist durch folgenden zu ersetzen:

„(1) Der elastische Beul-Abminderungsfaktor für Meridianbeulen $\alpha_x = \alpha_{xG} \alpha_{xI}$ sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\alpha_{xG} = 0,83 \quad (D.14a)$$

$$\alpha_{xI} = \frac{1}{1 + 2,2 (\Delta w_k/t)^{0,88}} \quad (D.14b)$$

Der plastische Bereichsfaktor β_x sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\beta_x = 1 - \frac{0,95}{1 + 1,2 (\Delta w_k/t)} \quad (D.14c)$$