

**DIN EN 1993-1-6/NA****DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Mit DIN EN 1993-1-6:2010-12  
Ersatz für  
DIN 18800-4:2008-11

**Nationaler Anhang –  
National festgelegte Parameter –  
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –  
Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen**

National Annex –  
Nationally determined parameters –  
Eurocode 3: Design of steel structures –  
Part 1-6: Strength and stability of shell structures

Annexe Nationale –  
Paramètres déterminés au plan national –  
Eurocode 3: Calcul des structures en acier –  
Partie 1-6: Résistance et stabilité des structures en coque

Gesamtumfang 11 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

## DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12

### Vorwort

Dieses Dokument wurde vom NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung“ erstellt.

Dieses Dokument bildet den Nationalen Anhang zu DIN EN 1993-1-6:2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6 NA: Festigkeit und Stabilität von Schalen*.

Die Europäische Norm EN 1992-1-6 räumt die Möglichkeit ein, eine Reihe von sicherheitsrelevanten Parametern national festzulegen. Diese national festzulegenden Parameter (en: Nationally determined parameters, NDP) umfassen alternative Nachweisverfahren und Angaben einzelner Werte, sowie die Wahl von Klassen aus gegebenen Klassifizierungssystemen. Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet. Eine Liste dieser Textstellen befindet sich im Unterabschnitt NA 2.1. Darüber hinaus enthält dieser Nationale Anhang ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Anwendung von DIN EN 1993-1-6:2010-12 (en: non-contradictory complementary information, NCI).

Dieser Nationale Anhang ist Bestandteil von DIN EN 1993-1-6:2010-12.

DIN EN 1993-1-6:2010-12 und dieser Nationale Anhang DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12 ersetzen DIN 18800-4:2008-11.

### Änderungen

Gegenüber DIN 18800-4:2008-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) nationale Festlegungen zu DIN EN 1993-1-6:2010-12 aufgenommen.

### Frühere Ausgaben

DIN 18800-4: 1990-11, 2008-11

## NA 1 Anwendungsbereich

Dieser Nationale Anhang enthält nationale Festlegungen zu den Grundregeln für die Bemessung von Stahlkonstruktionen, die die Form von Rotationsschalen haben, die bei der Anwendung von DIN EN 1993-1-6:2010-12 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

Dieser Nationale Anhang gilt nur in Verbindung mit DIN EN 1993-1-6:2010-12.

## NA 2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1993-1-6:2010-12

### NA 2.1 Allgemeines

DIN EN 1993-1-6:2010-12 weist an den folgenden Textstellen die Möglichkeit nationaler Festlegungen aus (NDP, en: Nationally determined parameters).

— 3.1(4)	— 8.4.3(4)
— 4.1.4(3)	— 8.4.4(4)
— 5.2.4(1)	— 8.4.5(1)
— 6.3(5)	— 8.5.2(2)
— 7.3.1(1)	— 8.5.2(4)
— 7.3.2(1)	— 8.7.2(7)
— 8.4.2(3)	— 8.7.2(16)
— 8.4.3(2)	— 8.7.2(18)
	— 9.2.1(2)P

Darüber hinaus enthält NA 2.2 ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Anwendung von DIN EN 1993-1-6:2010-12. Diese sind durch ein vorangestelltes "NCI" (en: non-contradictory complementary information) gekennzeichnet.

- Lange Zylinder unter globaler Rohrbiegung oder globaler Rohrbiegung mit Normalkraft
- Lange Zylinder unter Außendruck
- Anhang NA.A (normativ) Kugelschalen unter konstantem Außendruck
- Literaturhinweise

## **DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12**

### **NA 2.2 Nationale Festlegungen**

Die nachfolgende Nummerierung entspricht der Nummerierung von DIN EN 1993-1-6:2010-12.

#### **NDP zu 3.1(4) Anmerkung**

Die Werkstoffeigenschaften bei Temperaturen über 150 °C sind über einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis zu belegen.

#### **NDP zu 4.1.4(3) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 5.2.4(1) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 6.3(5) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 7.3.1(1) Anmerkung 2**

Verfeinerte Berechnungen sind hier nicht vorgesehen.

#### **NDP zu 7.3.2(1) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 8.4.2(3) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 8.4.3(2) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 8.4.3(4) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 8.4.4(4) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 8.4.5(1) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 8.5.2(2) Anmerkung**

Es gelten die Empfehlungen.

#### **NDP zu 8.5.2(4) Anmerkung 1**

Es gibt hier keine zusätzlichen Festlegungen zu den Parametern.

**NDP zu 8.7.2(7) Anmerkung**

Alleine die Anforderungen an Funktion und Aussehen der Schale bestimmen die größte tolerierbare Verformung.

**NDP zu 8.7.2(16) Anmerkung**

Bei der Festlegung geeigneter Imperpektionsformen rechtwinklig zur Schalenmittelfläche im Sinne von (11) sind gegebenenfalls neben ‚eigenformaffinen‘ Formen nach (13) auch ‚kollapsaffine‘ oder ‚nachbeulaffine‘ Formen in Erwägung zu ziehen. Darüber hinaus sind auch solche geometrischen Ersatzimperpektionen zu bedenken, die nicht Abweichungen rechtwinklig zur Schalenmittelfläche, sondern parallel zur Schalenmittelfläche beschreiben (z. B. Aufstandsimperpektionen bei stehenden Schalenbauten).

**NDP zu 8.7.2(18) Anmerkung 1 und Anmerkung 2**

Es gelten die Empfehlungen. Darüber hinaus wird besonders auf (20) hingewiesen, womit solche Schalenbeulfälle abgedeckt werden sollen, bei denen zu groß angenommene Imperpektionen ein günstigeres Ergebnis liefern als kleinere Imperpektionen.

**NDP zu 9.2.1(2)P Anmerkung**

Anstelle der Empfehlung gilt DIN EN 1993-1-9/NA.

**NCI Lange Zylinder unter globaler Rohrbiegung oder globaler Rohrbiegung mit Normalkraft**

Für lange Kreiszyylinder mit

$$\omega \geq 0,5 \frac{r}{t} \quad (\text{NA.1})$$

darf der günstigere Faktor  $C_x$  nach D.1.2.1 (7) auch für Schalen mit  $E/f_{y,k} < 500$  verwendet werden. Die beiden anderen Anwendungsbedingungen in Gleichung (D.11) brauchen nicht beachtet zu werden.

ANMERKUNG In der nächsten Ausgabe von DIN EN 1993-1-6 wird dies aufgrund neuerer Erkenntnisse erfasst sein.

**NCI Lange Zylinder unter Außendruck**

Für lange Kreiszyylinder mit

$$\omega \geq 24,5; \quad r/t \leq 100; \quad \frac{r}{t} \sqrt{\frac{f_{y,k}}{E}} \geq 1,57 \quad (\text{NA.2})$$

darf der elastische Imperpektions-Abminderungsfaktor für Umfangsbeulen  $\alpha_\theta$  nach D.1.3.2(1), Tabelle D.5, um

$$\Delta\alpha = \left( \alpha_{\text{Ring}} - \alpha_\theta \right) \left( 1 - \frac{600}{\omega^2} \right), \quad (\text{NA.3})$$

erhöht werden. In Gleichung (NA.3) bedeuten:

$\alpha_\theta$  = Grundwert nach D.1.3.2(1), Tabelle D.5,

$$\alpha_{\text{Ring}} = \frac{1}{1 + 0,257 \frac{t}{r} \sqrt{\frac{E}{f_{y,k}}}} \quad (\text{NA.4})$$

NCI

## Anhang NA.A

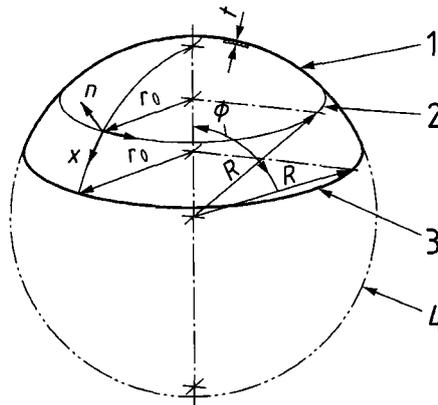
(normativ)

## Kugelschalen unter konstantem Außendruck

## NCI NA.A.1 Allgemeines

Die angegebenen Regeln basieren sowohl auf umfangreichen numerischen Parameterstudien als auch auf allen verfügbaren experimentellen Ergebnissen für Kugelschalen und Kugelkalotten unter konstantem Außendruck (innerem Unterdruck) [1], [2]. Dabei sind sowohl die Beullasten als auch die axisymmetrischen elasto-plastischen Traglasten berücksichtigt. In den in DIN EN 1993-1-6:2010-12, 5.3, Tabelle 5.2, angegebenen Berechnungskonzepten sind die geometrisch und physikalisch nichtlinearen Berechnungen unter Einschluss der Imperfektionen als GMNIA-Berechnung klassifiziert. Weitere Erläuterungen sind in Abschnitt 15 der European Design Recommendations, 5th edition [3] zu finden.

## NCI NA.A.2 Geometrie und beulrelevante geometrische Toleranzen



## Legende

$R$	Radius der Kugelmittelfläche	1	Breitenkreis
$t$	Schalendicke,	2	Kugelkalotte
$r_0$	Grundkreisradius der Kugelkalotte,	3	Grundkreis
$\phi$	Winkelkoordinate in der Meridianebene	4	Vollkugel

Bild NA.A.1 — Geometrie, Bezeichnungen

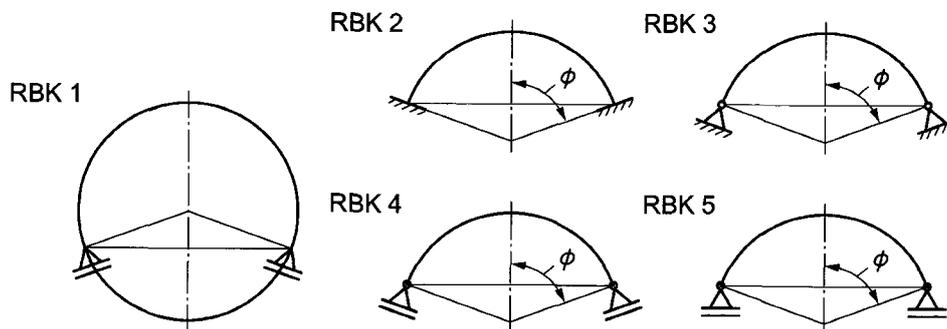
Für die beulrelevanten geometrischen Toleranzen gilt DIN EN 1993-1-6:2010-12, 8.4 sinngemäß, wobei jeweils der Kugelradius  $R$  an die Stelle des Zylinderradius  $r$  und der Kugeldurchmesser  $2R$  an die Stelle des Zylinderdurchmessers  $d$  tritt. Die Messung von Vorbeulen (siehe DIN EN 1993-1-6:2010-12, 8.4.4) sollte sowohl in Meridianrichtung als auch in Umfangsrichtung jeweils mit  $l_{gx}$  nach Gl. (8.6) und  $l_{gw}$  nach Gl. (8.8) aus DIN EN 1993-1-6:2010-12 durchgeführt werden. Eine Messung in Umfangsrichtung mit  $l_{g\theta}$  nach Gl. (8.7) ist nicht erforderlich. Die gemessenen Formabweichungen müssen die Toleranzgrenzwerte der bei der Bemessung gewählten Herstelltoleranz-Qualitätsklasse (siehe DIN EN 1993-1-6:2010-12, 4.3.5) einhalten.

**NCI NA.A.3 Anwendungsbereich**

Die folgenden Regeln gelten für Kugelschalen und Kugelkalotten

- mit konstanter oder schwach veränderlicher Wanddicke,
  - unter konstantem Außendruck oder konstantem innerem Unterdruck  $p$
- oder
- unter Eigengewicht oder Schneebelastung (als konservative Näherung)
- und
- unterschiedlicher Lagerung gemäß folgender Beschreibung:
    - RBK 1: Vollkugel, nicht oder ringförmig tangential gelagert;
    - RBK 2: Kugelkalotte mit eingespannt unverschieblichem Rand (BC1r in DIN EN 1993-1-6:2010-12, Tabelle 5.1);
    - RBK 3: Kugelkalotte mit gelenkig unverschieblichem Rand (BC1f in DIN EN 1993-1-6:2010-12, Tabelle 5.1);
    - RBK 4: Kugelkalotte mit normal zur Kugelmittelfläche radial verschieblichem Rand (Membranlagerung) ( $w \neq 0 / u = 0 / \beta_\theta \neq 0$  in Anlehnung an DIN EN 1993-1-6:2010-12, Tabelle 5.1);
    - RBK 5: Kugelkalotte mit in Grundkreisebene radial verschieblichem Rand ( $u \cdot \sin \phi - w \cdot \cos \phi = 0 / u \cdot \cos \phi + w \cdot \sin \phi \neq 0 / \beta_\theta \neq 0$  in Anlehnung an DIN EN 1993-1-6:2010-12, Tabelle 5.1);

Bei einer Halbkugel ( $\phi = 90^\circ$ ) stimmen die Randbedingungen RBK 4 und RBK 5 überein. In diesem Fall kann RBK4 verwendet werden.



**Bild NA.A.2 — Darstellung der Randbedingungen**

## DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12

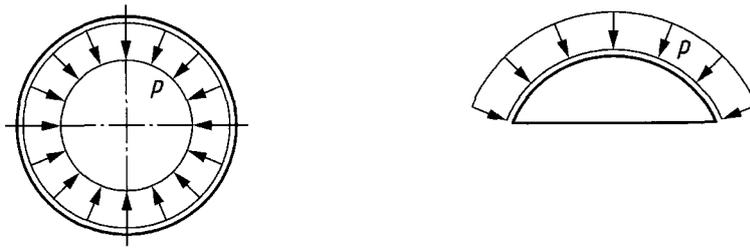


Bild NA.A.3 — Lasten auf Kugelschalen und Kugelkalotten

ANMERKUNG Die Bemessungsregeln liegen für die Lastfälle Eigengewicht und Schneebelastung bezüglich Stabilitätsversagen auf der sicheren Seite, wenn für den Druck  $p$  der Wert der größten Flächenlast rechtwinklig zur Schalenmittelfläche eingesetzt wird.

Die folgenden Regeln sind nur anwendbar bei Kugelschalen, die die Bedingungen

$$\frac{R}{t} \leq 3000 \quad (\text{NA.A.1})$$

$$\phi \leq 135^\circ \text{ (Kugelkalotte), jedoch auch } \phi = 180^\circ \text{ (Vollkugel)} \quad (\text{NA.A.2})$$

erfüllen.

#### NCI NA.A.4 Abgrenzungskriterium

Für Kugelschalen, die die Bedingung

$$\frac{R}{t} \leq \frac{E}{20 f_{y,k}} \cdot C_c \quad (\text{NA.A.3})$$

und Kugelkalotten, die die Bedingung

$$\frac{r_0}{R} \leq \frac{1,1}{\sqrt{\frac{R}{t}}} \quad (\text{NA.A.4})$$

erfüllen, braucht kein Beulsicherheitsnachweis geführt zu werden.

#### NCI NA.A.5 Idealer elastischer Beulwiderstand

Der ideale elastische Beulwiderstand  $p_{Rcr}$  wird bestimmt durch

$$p_{Rcr} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot C_c E \left( \frac{t}{R} \right)^2 \quad (\text{NA.A.5})$$

wobei der Beiwert  $C_c$  von den Randbedingungen abhängt und aus Tabelle NA.A.1 zu entnehmen ist.

Tabelle NA.A.1 — Beiwerte  $C_c$ 

RBK	1	2	3	4	5
$C_c$	1,0	0,8	0,7	0,4	0,1
Anwendbar für	—	$\phi \leq 135^\circ$			

**NCI NA.A.6 Imperfektions-Abminderungsfaktor (elastischer Bereich)**

Für die Herstelltoleranz-Qualitätsklassen sollte eine der drei Klassen A, B oder C nach DIN EN 1993-1-6:2010-12, Abschnitt 8 gewählt werden.

Der Imperfektions-Abminderungsfaktor für Kugelschalen im elastischen Bereich wird bestimmt durch

$$\alpha = \frac{0,70}{1 + 1,90 \left( \frac{\Delta w_k}{t} \right)^{0,75}} \quad (\text{NA.A.6})$$

mit  $\Delta w_k$  als charakterischer Imperfektionsamplitude

$$\Delta w_k = \frac{1}{Q} \sqrt{Rt} \quad (\text{NA.A.7})$$

und dem Qualitätsparameter  $Q$

Qualitätsklasse	Beschreibung	$Q$
Klasse A	exzellent	40
Klasse B	hoch	25
Klasse C	normal	16

**NCI NA.A.7 Charakteristischer Beulwiderstand**

Der charakteristische Beulwiderstand  $p_{Rk}$  wird bestimmt zu

$$p_{Rk} = \chi \cdot p_{Rpl} \quad (\text{NA.A.8})$$

mit dem plastischen Bezugswiderstand

$$p_{Rpl} = f_{y,k} \cdot C_{pl} \cdot \frac{2t}{R} \quad (\text{NA.A.9})$$

und  $C_{pl}$  nach Tabelle NA.A.2 in Abhängigkeit von den Randbedingungen sowie dem Beul-Abminderungsfaktor

$$\chi = 1,0 \text{ für } \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad (\text{NA.A.10})$$

## DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12

$$\chi = 1,0 - \beta \left( \frac{\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta \quad \text{für } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_p \quad (\text{NA.A.11})$$

$$\chi = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}^2} \quad \text{für } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda} \quad (\text{NA.A.12})$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{p_{Rpl}}{p_{Rcr}}} \quad (\text{NA.A.13})$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0,20, \quad \beta = 0,70, \quad \eta = 1,0 \quad (\text{NA.A.14})$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \beta}} \quad (\text{NA.A.15})$$

Tabelle NA.A.2 — Beiwerte  $C_{pl}$ 

RBK	1	2	3	4	5
$C_{pl}$	1,0	0,9	0,9	0,8	0,2
Anwendbar für	—	$\phi \leq 135^\circ$			

## NCI NA.A.8 Beulsicherheitsnachweis

Für den Bemessungswert des vorhandenen Druckes  $p_{Ed}$  muss gelten:

$$p_{Ed} \leq p_{Rd} \quad (\text{NA.A.16})$$

wobei sich der Bemessungswert  $p_{Rd}$  des Beulwiderstandes aus

$$p_{Rd} = \frac{p_{Rk}}{\gamma_M} \quad (\text{NA.A.17})$$

ergibt.

Für den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  gilt DIN EN 1993-1-6/NA:2010-12, zu 8.5.2(2).

**NCI**

**Literaturhinweise**

- [1] Albertin, U.: Bemessungskonzepte für Stabilitätsfälle imperfektionssensitiver Schalenstrukturen. Berichte aus dem Konstr. Ingenieurbau 7/2000, TU München 2000.
- [2] Wunderlich, W., Albertin, U.: Buckling behaviour of imperfect spherical shells. International Journal of Nonlinear Mechanics 37 (2002), 589-604.
- [3] ECCS: Buckling of Steel Shells – European Design Recommendations, 5<sup>th</sup> Edition (Eds: J.M. Rotter / H. Schmidt). ECCS-Publication No. 125, Brussels 2008.
- [4] DASt-Richtlinie 020, Bemessung schlanker stählerner windbelasteter Kreiszylinderschalen. Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Düsseldorf.

