

DIN EN 1993-1-6:2026-08 (D)

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2025

| Inhalt | Seite |
|---|-----------|
| Europäisches Vorwort..... | 7 |
| 0 Einleitung..... | 9 |
| 1 Anwendungsbereich..... | 13 |
| 1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-1-6 | 13 |
| 1.2 Voraussetzungen | 14 |
| 2 Normative Verweisungen | 15 |
| 3 Begriffe und Symbole | 15 |
| 3.1 Begriffe | 15 |
| 3.1.1 Tragwerksformen und Geometrie | 15 |
| 3.1.2 Grenzzustände..... | 18 |
| 3.1.3 Einwirkungen | 19 |
| 3.1.4 Schnittgrößen und Spannungen in Schalen | 20 |
| 3.1.5 Berechnungskonzepte und deren Anwendung..... | 21 |
| 3.1.6 Beim spannungsbasierten Tragsicherheitsnachweis verwendete Spannungskategorien..... | 24 |
| 3.1.7 Spezielle Definitionen für Beulberechnungen..... | 24 |
| 3.2 Symbole | 26 |
| 3.2.1 Koordinatensystem | 26 |
| 3.2.2 Schalenmaße..... | 27 |
| 3.2.3 Verteilte Oberflächenlasten und -drücke | 27 |
| 3.2.4 Linienlasten..... | 27 |
| 3.2.5 Membranschnittgrößen | 28 |
| 3.2.6 Biegeschnittgrößen | 28 |
| 3.2.7 Spannungen..... | 28 |
| 3.2.8 Verschiebungen bezogen auf die Schalenmittelfläche | 28 |
| 3.2.9 Toleranzen..... | 29 |
| 3.2.10 Werkstoffeigenschaften | 30 |
| 3.2.11 Parameter für Widerstandsbeurteilung..... | 30 |
| 3.2.12 Indizes..... | 32 |
| 3.3 Vorzeichenvereinbarungen | 33 |
| 4 Grundlagen der Bemessung..... | 33 |
| 4.1 Allgemeine Regeln..... | 33 |
| 4.1.1 Grundlegende Anforderungen | 33 |
| 4.1.2 Besondere Anforderungen | 34 |
| 4.2 Berechnungskonzepte | 34 |
| 4.2.1 Allgemeines..... | 34 |
| 4.2.2 Globale Tragwerksberechnung | 35 |
| 4.2.3 Membrantheoretische Berechnung..... | 35 |
| 4.2.4 Semi-membrantheoretische Berechnung | 35 |
| 4.2.5 Lineare elastische Berechnung (LA) | 35 |
| 4.2.6 Lineare elastische Verzweigungsberechnung (LBA) | 36 |
| 4.2.7 Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung (GNA) | 36 |
| 4.2.8 Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)..... | 37 |
| 4.2.9 Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA) | 37 |
| 4.2.10 Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung mit Imperfektionen (GNIA) | 37 |
| 4.2.11 Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA) | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3 | Schalenrandbedingungen..... | 38 |
| 4.4 | Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten | 39 |
| 5 | Werkstoffe und Geometrie..... | 39 |
| 5.1 | Werkstoffeigenschaften | 39 |
| 5.2 | Bemessungswerte geometrischer Daten..... | 41 |
| 5.3 | Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen | 41 |
| 6 | Ermittlung der Schnittgrößen..... | 42 |
| 6.1 | Bemessungskonzepte | 42 |
| 6.1.1 | Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis..... | 42 |
| 6.1.2 | Bemessung anhand von Standardgleichungen..... | 43 |
| 6.1.3 | Bemessung mittels numerisch gestützter Berechnung | 44 |
| 6.2 | Schnittgrößen und Spannungen in Schalen..... | 44 |
| 6.2.1 | Schnittgrößen in der Schale..... | 44 |
| 6.2.2 | Modellierung der Schale für die Berechnung..... | 45 |
| 6.2.3 | Berechnungskonzepte..... | 47 |
| 6.3 | Zu beachtende Grenzzustände der Tragfähigkeit | 48 |
| 6.3.1 | LS1: Plastisches Versagen..... | 48 |
| 6.3.2 | LS2: Zyklisches Plastizieren..... | 49 |
| 6.3.3 | LS3: Beulen..... | 50 |
| 6.3.4 | LS4: Ermüdung..... | 51 |
| 6.4 | Konzepte für den Tragsicherheitsnachweis von Schalen..... | 51 |
| 6.4.1 | Allgemeines..... | 51 |
| 7 | Grenzzustand des plastischen Versagens (LS1) | 52 |
| 7.1 | Bemessungswerte der Einwirkungen..... | 52 |
| 7.2 | Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis..... | 52 |
| 7.2.1 | Bemessungswerte der Spannungen | 52 |
| 7.2.2 | Bemessungswerte des Widerstands | 53 |
| 7.2.3 | Begrenzung der Spannungen | 55 |
| 7.3 | Bemessung anhand numerisch gestützter MNA- oder GMNA-Berechnung..... | 55 |
| 7.4 | Bemessung anhand von Standardgleichungen..... | 56 |
| 8 | Grenzzustand des zyklischen Plastizierens (LS2) | 56 |
| 8.1 | Bemessungswerte von Einwirkungen | 56 |
| 8.2 | Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis..... | 56 |
| 8.2.1 | Bemessungswerte der Spannungsschwingbreite | 56 |
| 8.2.2 | Bemessungswerte des Widerstands | 57 |
| 8.2.3 | Begrenzung der Spannungsschwingbreite | 57 |
| 8.3 | Bemessung mittels numerisch gestützter GMNA-Berechnung..... | 57 |
| 8.3.1 | Bemessungswerte der gesamten akkumulierten plastischen Dehnung..... | 57 |
| 8.3.2 | Begrenzung der gesamten akkumulierten plastischen Dehnung | 58 |
| 8.4 | Bemessung mittels Standardgleichungen | 58 |
| 9 | Grenzzustand des Beulens (LS3) | 58 |
| 9.1 | Bemessungswerte von Einwirkungen | 58 |
| 9.2 | Spezielle Definitionen und Symbole | 58 |
| 9.3 | Beulrelevante Randbedingungen | 59 |
| 9.4 | Beulrelevante geometrische Toleranzen | 62 |
| 9.4.1 | Allgemeines..... | 62 |
| 9.4.2 | Beurteilung der beherrschenden Membranspannung an einer beliebigen Stelle..... | 65 |
| 9.4.3 | Toleranz für Unrundheit..... | 66 |
| 9.4.4 | Toleranz für unplanmäßige Exzentrizität..... | 68 |
| 9.4.5 | Toleranz für Vorbeulen | 69 |
| 9.4.6 | Toleranz für Ebenheit der Grenzfläche..... | 73 |
| 9.5 | Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis | 73 |
| 9.5.1 | Bemessungswerte von Spannungen..... | 73 |
| 9.5.2 | Bemessungswiderstand (Beanspruchbarkeit gegen Beulversagen)..... | 74 |
| 9.5.3 | Begrenzung der Spannungen (Beulsicherheitsnachweis) | 76 |

| | | |
|--|--|------------|
| 9.6 | Bemessung mittels Referenzwiderständen | 77 |
| 9.6.1 | Kurzbeschreibung | 77 |
| 9.6.2 | Bemessungswerte von Einwirkungen | 77 |
| 9.6.3 | Bemessungswert des Widerstands | 78 |
| 9.6.4 | Beulsicherheitsnachweis | 80 |
| 9.7 | Bemessung mittels numerisch gestützter Berechnung durch LBA und MNA | 80 |
| 9.7.1 | Bemessungswert von Einwirkungen | 80 |
| 9.7.2 | Bemessungswert des Widerstands | 80 |
| 9.7.3 | Beulsicherheitsnachweis | 86 |
| 9.8 | Bemessung mittels numerisch gestützter Berechnung durch GMNIA | 86 |
| 9.8.1 | Bemessungswerte von Einwirkungen | 86 |
| 9.8.2 | Bemessungswert des Widerstands | 86 |
| 9.8.3 | Beulsicherheitsnachweis | 93 |
| 10 | Grenzzustand der Ermüdung (LS4) | 94 |
| 10.1 | Bemessungswerte von Einwirkungen | 94 |
| 10.2 | Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis | 94 |
| 10.2.1 | Allgemeines | 94 |
| 10.2.2 | Verfahren zur Spannungsberechnung | 95 |
| 10.2.3 | Multiaxiale Spannungsfelder | 96 |
| 10.2.4 | Bemessungswerte des Widerstands (Beanspruchbarkeit gegen Ermüdung) | 97 |
| 10.2.5 | Ermüdungsnachweis | 98 |
| Anhang A (informativ) Membrantheorietische Spannungen in unversteiften Schalen | | 99 |
| A.1 | Anwendung dieses Anhangs | 99 |
| A.2 | Umfang und Anwendungsbereich | 99 |
| A.3 | Allgemeines | 99 |
| A.3.1 | Auswirkungen von Einwirkungen und Widerstände | 99 |
| A.3.2 | Formelzeichen | 99 |
| A.3.3 | Randbedingungen | 100 |
| A.3.4 | Vorzeichenvereinbarung | 100 |
| A.4 | Zylinderschalen | 100 |
| A.5 | Kegelschalen | 102 |
| A.6 | Kugelschalen | 104 |
| Anhang B (informativ) Gleichungen für plastische Referenzwiderstände von unversteiften Schalen und Kreisplatten | | 105 |
| B.1 | Anwendung dieses Anhangs | 105 |
| B.2 | Umfang und Anwendungsbereich | 105 |
| B.3 | Allgemeines | 105 |
| B.3.1 | Widerstände | 105 |
| B.3.2 | Formelzeichen | 105 |
| B.3.3 | Randbedingungen | 106 |
| B.4 | Konstante unversteifte Zylinderschalen | 106 |
| B.4.1 | Radiale Ringlinienlast | 106 |
| B.4.2 | Nach außen gerichtete radiale Ringlinienlast und axiale Zugbeanspruchung | 107 |
| B.4.3 | Radiale Ringlinienlast, Innendruck und Axiallast | 108 |
| B.5 | Zylinderschalen mit lokalen Ringsteifen | 109 |
| B.5.1 | Einzelne radiale Linienringlast | 109 |
| B.5.2 | Radiale Linienringlast mit Axiallast | 109 |
| B.5.3 | Radiale Linienringlast, konstanter Innendruck und Axiallast | 110 |
| B.6 | Knotenlinien zwischen Kegel- und Zylinderschalen | 111 |
| B.6.1 | Ausschließlich Meridiankräfte (vereinfacht) | 111 |
| B.6.2 | Innendruck und Meridiankräfte | 112 |
| B.7 | Kreisplatten mit axialsymmetrischen Randbedingungen | 114 |
| B.7.1 | Gleichmäßig verteilte Beanspruchung bei gelenkig gelagertem Rand | 114 |
| B.7.2 | Mittige kreisförmige Teilflächenbeanspruchung bei gelenkig gelagertem Rand | 114 |
| B.7.3 | Gleichmäßig verteilte Beanspruchung bei eingespanntem Rand | 114 |
| B.7.4 | Mittige kreisförmige Teilflächenbeanspruchung bei eingespanntem Rand | 115 |

| | |
|--|------------|
| Anhang C (informativ) Gleichungen für lineare elastische Membran- und Biegespannungen in unversteiften Zylinderschalen und Kreisplatten..... | 116 |
| C.1 Anwendung dieses Anhangs | 116 |
| C.2 Umfang und Anwendungsbereich | 116 |
| C.3 Allgemeines..... | 116 |
| C.3.1 Auswirkungen von Einwirkungen | 116 |
| C.3.2 Formelzeichen..... | 116 |
| C.3.3 Randbedingungen | 117 |
| C.4 Am Fuß eingespannte Zylinderschalen..... | 117 |
| C.4.1 Konstanter Innendruck..... | 117 |
| C.4.2 Axiale Beanspruchung..... | 118 |
| C.4.3 Konstanter Innendruck mit axialer Beanspruchung..... | 118 |
| C.4.4 Hydrostatischer Innendruck | 119 |
| C.4.5 Radiale Verschiebung des Fußpunktes nach außen | 120 |
| C.4.6 Gleichmäßige Erwärmung..... | 120 |
| C.5 Am Fuß gelenkig gelagerte Zylinderschalen | 121 |
| C.5.1 Konstanter Innendruck..... | 121 |
| C.5.2 Axiale Beanspruchung..... | 121 |
| C.5.3 Konstanter Innendruck mit axialer Beanspruchung..... | 122 |
| C.5.4 Hydrostatischer Innendruck | 122 |
| C.5.5 Radiale Verschiebung des Fußpunktes nach außen | 123 |
| C.5.6 Gleichmäßige Erwärmung..... | 124 |
| C.5.7 Randverdrehung | 124 |
| C.6 Innendruck in Zylinderschalen | 125 |
| C.6.1 Endender konstanter Innendruck..... | 125 |
| C.6.2 Endender hydrostatischer Innendruck..... | 125 |
| C.6.3 Dickensprung | 126 |
| C.7 Lokale Ringsteife an einer Zylinderschale | 127 |
| C.7.1 Radialkraft nur am Ring..... | 127 |
| C.7.2 Axiale Beanspruchung..... | 128 |
| C.7.3 Konstanter Innendruck..... | 129 |
| C.8 Kreisplatten mit gelenkig gelagerten Randbedingungen | 130 |
| C.8.1 Gleichmäßige Flächenlast | 130 |
| C.8.2 Örtliche Teilflächenlast..... | 130 |
| C.9 Kreisplatten mit eingespannten Randbedingungen | 131 |
| C.9.1 Gleichmäßige Flächenlast | 131 |
| C.9.2 Eingespannte Platte: Örtliche Teilflächenlast..... | 131 |
| Anhang D (normativ) Gleichungen zur Bestimmung des Beulwiderstands unversteifter Schalen beim spannungsbasierten Tragsicherheitsnachweis..... | 133 |
| D.1 Anwendung dieses Anhangs | 133 |
| D.2 Umfang und Anwendungsbereich | 133 |
| D.3 Zylinderschalen mit konstanter Wanddicke: grundlegende Lastfälle..... | 133 |
| D.3.1 Formelzeichen und Randbedingungen | 133 |
| D.3.2 Dimensionslose Längen | 134 |
| D.3.3 Axiale Druckbeanspruchung (in Meridianrichtung) | 134 |
| D.3.4 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung..... | 138 |
| D.3.5 Schubbeanspruchung (Torsion)..... | 141 |
| D.4 Zylinderschalen mit konstanter Wanddicke: kombinierte Lastfälle | 144 |
| D.4.1 Axiale Druckbeanspruchung (in Meridianrichtung) mit gleichzeitig einwirkendem Innendruck..... | 144 |
| D.4.2 Außendruck unter Winddruckverteilung..... | 145 |
| D.4.3 Kombinationen von axialer Druckbeanspruchung (in Meridianrichtung), Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung und Schubbeanspruchung..... | 147 |
| D.5 Zylinderschalen mit abgestufter Wanddicke | 149 |
| D.5.1 Allgemeines..... | 149 |
| D.5.2 Axiale Druckbeanspruchung (in Meridianrichtung) | 150 |
| D.5.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung..... | 150 |

| | | |
|---|---|-----|
| D.5.4 | Schubbeanspruchung..... | 158 |
| D.6 | Zylinderschalen mit Überlappstößen..... | 158 |
| D.6.1 | Allgemeines..... | 158 |
| D.6.2 | Axiale Druckbeanspruchung (in Meridianrichtung) | 159 |
| D.6.3 | Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung..... | 159 |
| D.6.4 | Schubbeanspruchung..... | 160 |
| D.7 | Kegelschalen (vollständige Kegel und Kegelstümpfe) | 160 |
| D.7.1 | Allgemeines..... | 160 |
| D.7.2 | Bemessungsbeulspannungen | 161 |
| D.7.3 | Beulsicherheitsnachweis | 163 |
| Anhang E (normativ) Gleichungen zur Bestimmung des Beulwiderstands unversteifter Schalen | | |
| | für die Bemessung des Referenzwiderstands | 165 |
| E.1 | Anwendung dieses Anhangs | 165 |
| E.2 | Umfang und Anwendungsbereich | 165 |
| E.3 | Zylinderschalen unter globaler Biegebeanspruchung | 165 |
| E.3.1 | Allgemeines..... | 165 |
| E.3.2 | Beulwiderstand unter konstanter globaler Biegebeanspruchung..... | 166 |
| E.3.3 | Beulwiderstand unter globaler Biege- und Axialdruckbeanspruchung..... | 169 |
| E.4 | Schalen mit halbkugelförmigen Kuppeln | 170 |
| E.4.1 | Allgemeines..... | 170 |
| E.4.2 | Toleranzen für Kugelschalen..... | 172 |
| E.4.3 | Beulsicherheitsnachweis für konstanten Außendruck | 172 |
| E.4.4 | Beulsicherheitsnachweis für konstanten Außendruck | 174 |
| | Literaturhinweise | 175 |