

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