

DIN EN 1993-1-6:2010-12 (D)

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009

Inhalt	Seite
Vorwort	6
1 Allgemeines	7
1.1 Anwendungsbereich	7
1.2 Normative Verweisungen	8
1.3 Begriffe	9
1.3.1 Tragwerksformen, Geometrie	9
1.3.2 Grenzzustände	10
1.3.3 Einwirkungen	11
1.3.4 Schnittgrößen und Spannungen in Schalen	12
1.3.5 Berechnungskonzepte	12
1.3.6 Bei der spannungsbasierten Bemessung verwendete Spannungskategorien	14
1.3.7 Spezielle Definitionen für Beulberechnungen	14
1.4 Formelzeichen	15
1.5 Vorzeichenvereinbarungen	19
2 Grundlagen der Bemessung und Modellierung	19
2.1 Allgemeines	19
2.2 Berechnungskonzepte	20
2.2.1 Allgemeines	20
2.2.2 Globale Berechnung	20
2.2.3 Membrantheorietische Berechnung	20
2.2.4 Lineare elastische Berechnung (LA)	20
2.2.5 Lineare elastische Verzweigungsberechnung (LBA)	21
2.2.6 Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung (GNA)	21
2.2.7 Materiell nichtlineare Berechnung (MNA)	21
2.2.8 Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung (GMNA)	21
2.2.9 Geometrisch nichtlineare elastische Berechnung mit Imperfektionen (GNIA)	21
2.2.10 Geometrisch und materiell nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen (GMNIA)	22
2.3 Schalenrandbedingungen	22
3 Werkstoffe und Geometrie	22
3.1 Werkstoffeigenschaften	22
3.2 Bemessungswerte der Abmessungen	23
3.3 Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen	23
4 Grenzzustände der Tragfähigkeit in stählernen Schalen	24
4.1 Zu beachtende Grenzzustände	24
4.1.1 LS1: Plastische Grenze oder Zugbruch	24
4.1.2 LS2: Zyklisches Plastizieren	24
4.1.3 LS3: Beulen	25
4.1.4 LS4: Ermüdung	26
4.2 Konzepte für den Tragsicherheitsnachweis von Schalen	26
4.2.1 Allgemeines	26
4.2.2 Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis	27
4.2.3 Direkter Tragsicherheitsnachweis	28
4.2.4 Numerisch gestützter Tragsicherheitsnachweis	28
5 Schnittgrößen und Spannungen in Schalen	29
5.1 Schnittgrößen in Schalen	29
5.2 Modellierung der Schale für die Berechnung	29

5.2.1	Geometrie	29
5.2.2	Randbedingungen	30
5.2.3	Einwirkungen und Umwelteinflüsse	31
5.2.4	Schnittgrößen und Spannungen	32
5.3	Berechnungskonzepte	32
6	Grenzzustand Plastische Grenze oder Zugbruch (LS1)	32
6.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	32
6.2	Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis	32
6.2.1	Bemessungswerte der Spannungen	32
6.2.2	Bemessungswerte des Widerstandes	33
6.2.3	Begrenzung der Spannungen	34
6.3	Numerisch gestützter Tragsicherheitsnachweis mittels globaler MNA- oder GMNA-Berechnung	34
6.4	Direkter Tragsicherheitsnachweis	35
7	Grenzzustand Zyklisches Plastizieren (LS2)	35
7.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	35
7.2	Spannungsbasierter Tragsicherheitsnachweis	35
7.2.1	Bemessungswerte der Spannungsschwingbreite	35
7.2.2	Bemessungswerte des Widerstandes	36
7.2.3	Begrenzung der Spannungsschwingbreite	36
7.3	Numerisch gestützter Tragsicherheitsnachweis mittels globaler MNA- oder GMNA-Berechnung	36
7.3.1	Bemessungswerte der gesamten akkumulierten plastischen Dehnung	36
7.3.2	Begrenzung der gesamten akkumulierten plastischen Dehnung	37
7.4	Direkter Tragsicherheitsnachweis	37
8	Grenzzustand Beulen (LS3)	37
8.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	37
8.2	Spezielle Definitionen und Formelzeichen	37
8.3	Beulrelevante Randbedingungen	38
8.4	Beulrelevante geometrische Toleranzen	38
8.4.1	Allgemeines	38
8.4.2	Toleranz für Unrundheit	40
8.4.3	Toleranz für unplanmäßige Exzentrizität	41
8.4.4	Toleranz für Vorbeulen	42
8.4.5	Toleranz für Auflager-Unebenheit	45
8.5	Spannungsbasierter Beulsicherheitsnachweis	45
8.5.1	Bemessungswerte der Spannungen	45
8.5.2	Bemessungswert des Widerstandes (Beultragfähigkeit)	45
8.5.3	Begrenzung der Spannungen (Beulsicherheitsnachweis)	46
8.6	Numerisch gestützter Beulsicherheitsnachweis mittels globaler MNA- und LBA-Berechnung	47
8.6.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	47
8.6.2	Bemessungswert des Widerstandes	47
8.6.3	Beulsicherheitsnachweis	50
8.7	Numerisch gestützter Beulsicherheitsnachweis mittels globaler GMNIA-Berechnung	50
8.7.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	50
8.7.2	Bemessungswert des Widerstandes	50
8.7.3	Beulsicherheitsnachweis	55
9	Grenzzustand Ermüdung (LS4)	55
9.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	55
9.2	Spannungsbasierter Ermüdungssicherheitsnachweis	55
9.2.1	Allgemeines	55
9.2.2	Bemessungswerte der Spannungsschwingbreite	55
9.2.3	Bemessungswerte des Widerstandes (Ermüdungsfestigkeit)	56
9.2.4	Begrenzung der Spannungsschwingbreite (Ermüdungssicherheitsnachweis)	56
9.3	Numerisch gestützter Ermüdungssicherheitsnachweis mittels globaler LA- oder GNA-Berechnung	57

Anhang A (normativ) Membrantheoretische Spannungen in Schalen	58
A.1 Allgemeines	58
A.1.1 Beanspruchungen und Widerstände	58
A.1.2 Formelzeichen	58
A.1.3 Randbedingungen	59
A.1.4 Vorzeichenvereinbarung	59
A.2 Unversteifte Kreiszylinderschalen	59
A.2.1 Konstante Axiallast	59
A.2.2 Axiallast aus globaler Biegung	59
A.2.3 Reibungslast	59
A.2.4 Konstanter Innendruck	59
A.2.5 Veränderlicher Innendruck	59
A.2.6 Konstanter Schub aus Torsion	60
A.2.7 Sinusförmig veränderlicher Schub aus Querkraft	60
A.3 Unversteifte Kegelschalen	60
A.3.1 Konstante Axiallast	60
A.3.2 Axiallast aus globaler Biegung	60
A.3.3 Reibungslast	60
A.3.4 Konstanter Innendruck	61
A.3.5 Linear veränderlicher Innendruck	61
A.3.6 Konstanter Schub aus Torsion	61
A.3.7 Sinusförmig veränderlicher Schub aus Querkraft	61
A.4 Unversteifte Kugelschalen	62
A.4.1 Konstanter Innendruck	62
A.4.2 Konstante Eigengewichtslast	62
Anhang B (normativ) Zusätzliche Gleichungen für plastische Kollaps-Widerstände	63
B.1 Allgemeines	63
B.1.1 Widerstände	63
B.1.2 Formelzeichen	63
B.1.3 Randbedingungen	63
B.2 Unversteifte Kreiszylinderschalen	64
B.2.1 Zylinder: Radiale Linienlast	64
B.2.2 Zylinder: Radiale Linienlast und Axiallast	64
B.2.3 Zylinder: Radiale Linienlast, konstanter Innendruck und Axiallast	65
B.3 Ringversteifte Kreiszylinderschalen	66
B.3.1 Ringverteifter Zylinder: Radiale Linienlast	66
B.3.2 Ringverteifter Zylinder: Radiale Linienlast und Axiallast	67
B.3.3 Ringverteifter Zylinder: Radiale Linienlast, konstanter Innendruck und Axiallast	68
B.4 Knotenlinien zwischen Schalen	69
B.4.1 Knotenlinie unter ausschließlich meridionaler Belastung (vereinfacht)	69
B.4.2 Knotenlinie unter Innendruck und Axiallast	70
B.5 Kreisplatten mit axialsymmetrischen Randbedingungen	71
B.5.1 Gleichmäßig verteilte Last, gelenkig gelagerter Rand	71
B.5.2 Örtliche Teilflächenlast, gelenkig gelagerter Rand	71
B.5.3 Gleichmäßig verteilte Last, eingespannter Rand	72
B.5.4 Örtliche Teilflächenlast, eingespannter Rand	72
Anhang C (normativ) Formeln für lineare elastische Membran- und Biegespannungen	73
C.1 Allgemeines	73
C.1.1 Beanspruchungen	73
C.1.2 Formelzeichen	73
C.1.3 Randbedingungen	74
C.2 Am Fuß eingespannte unversteifte Kreiszylinderschalen	74
C.2.1 Zylinder, eingespannt: Konstanter Innendruck	74
C.2.2 Zylinder, eingespannt: Axiallast	74
C.2.3 Zylinder, eingespannt: Konstanter Innendruck und Axiallast	75
C.2.4 Zylinder, eingespannt: Hydrostatischer Innendruck	75
C.2.5 Zylinder, eingespannt: Radiale Verschiebung nach außen	76

C.2.6	Zylinder, eingespannt: Gleichmäßige Erwärmung	76
C.3	Am Fuß gelenkig gelagerte unversteifte Kreiszyinderschalen	76
C.3.1	Zylinder, gelenkig gelagert: Konstanter Innendruck	76
C.3.2	Zylinder, gelenkig gelagert: Axiallast	77
C.3.3	Zylinder, gelenkig gelagert: Konstanter Innendruck und Axiallast	77
C.3.4	Zylinder, gelenkig gelagert: Hydrostatischer Innendruck	78
C.3.5	Zylinder, gelenkig gelagert: Radiale Verschiebung nach außen	78
C.3.6	Zylinder, gelenkig gelagert: Gleichmäßige Erwärmung	79
C.3.7	Zylinder, gelenkig gelagert: Randverdrehung	79
C.4	Innendruck in unversteiften Kreiszyinderschalen	80
C.4.1	Zylinder: Endender konstanter Innendruck	80
C.4.2	Zylinder: Endender hydrostatischer Innendruck	80
C.4.3	Zylinder: Dicksprung	81
C.5	Ringsteife an einer Kreiszyinderschale	81
C.5.1	Ringversteifter Zylinder: Radialkraft am Ring	81
C.5.2	Ringversteifter Zylinder: Axiallast	82
C.5.3	Ringversteifter Zylinder: Konstanter Innendruck	82
C.6	Kreisplatten mit axialsymmetrischen Randbedingungen	83
C.6.1	Gelenkig gelagerte Platte: Gleichmäßige Flächenlast	83
C.6.2	Gelenkig gelagerte Platte: Örtliche Teilflächenlast	83
C.6.3	Eingespannte Platte: Gleichmäßige Flächenlast	83
C.6.4	Eingespannte Platte: Örtliche Teilflächenlast	84
Anhang D (normativ) Formeln für den Beulsicherheitsnachweis		85
D.1	Unversteifte Kreiszyinderschalen mit konstanter Wanddicke	85
D.1.1	Formelzeichen und Randbedingungen	85
D.1.2	Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialrichtung)	85
D.1.3	Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung	88
D.1.4	Schubbeanspruchung	91
D.1.5	Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialrichtung) mit gleichzeitig wirkendem Innendruck	92
D.1.6	Kombinationen der Beanspruchung durch Druck in Meridianrichtung (Axialrichtung), Druck in Umfangsrichtung und Schub	94
D.2	Unversteifte Kreiszyinderschalen mit abgestufter Wanddicke	95
D.2.1	Allgemeines	95
D.2.2	Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialrichtung)	96
D.2.3	Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung	96
D.2.4	Schubbeanspruchung	100
D.3	Unversteifte Kreiszyinderschalen mit Überlappstößen	100
D.3.1	Allgemeines	100
D.3.2	Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialrichtung)	101
D.3.3	Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung	101
D.3.4	Schubbeanspruchung	101
D.4	Unversteifte Kegelschalen (vollständige Kegel und Kegelstümpfe)	102
D.4.1	Allgemeines	102
D.4.2	Bemessungsbeulspannungen	103
D.4.3	Beulsicherheitsnachweis	105