

DIN EN 1993-1-6:2007-07 (D)

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

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 Membrantheoretische 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).....	47
8.6	Numerisch gestützter Beulsicherheitsnachweis mittels globaler MNA- und LBA- Berechnung.....	48
8.6.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	48
8.6.2	Bemessungswert des Widerstandes	48
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).....	56
9.1	Bemessungswerte der Einwirkungen	56
9.2	Spannungsbasierter Ermüdungssicherheitsnachweis	56
9.2.1	Allgemeines.....	56
9.2.2	Bemessungswerte der Spannungsschwingbreite	56
9.2.3	Bemessungswerte des Widerstandes (Ermüdungsfestigkeit)	56
9.2.4	Begrenzung der Spannungsschwingbreite (Ermüdungssicherheitsnachweis)	57
9.3	Numerisch gestützter Ermüdungssicherheitsnachweis mittels globaler LA- oder GNA- Berechnung.....	57

Anhang A (normativ) Membrantheorietische 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 Kreiszyinderschalen	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 Kreiszyinderschalen	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 Kreiszyinderschalen.....	66
B.3.1 Ringversteifter Zylinder: Radiale Linienlast.....	66
B.3.2 Ringversteifter Zylinder: Radiale Linienlast und Axiallast	67
B.3.3 Ringversteifter 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 Kreiszyinderschalen.....	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: Dickensprung	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