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 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) ... 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 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 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 Kreiszylinderschalen ... 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 Kreiszylinderschalen ... 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 Kreiszylinderschale ... 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 Kreiszylinderschalen 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 Kreiszylinderschalen 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 Kreiszylinderschalen 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