

# 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
<b>1 Allgemeines .....</b>	<b>7</b>
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
<b>2 Grundlagen der Bemessung und Modellierung .....</b>	<b>19</b>
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
<b>3 Werkstoffe und Geometrie .....</b>	<b>22</b>
3.1 Werkstoffeigenschaften .....	22
3.2 Bemessungswerte der Abmessungen .....	23
3.3 Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen .....	23
<b>4 Grenzzustände der Tragfähigkeit in stählernen Schalen .....</b>	<b>24</b>
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
<b>5 Schnittgrößen und Spannungen in Schalen .....</b>	<b>29</b>
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

<b>Anhang A (normativ) Membrantheoretische Spannungen in Schalen .....</b>	<b>58</b>
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
<b>Anhang B (normativ) Zusätzliche Gleichungen für plastische Kollaps-Widerstände .....</b>	<b>63</b>
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	Ringverteilter Zylinder: Radiale Linienlast ..... 66
B.3.2	Ringverteilter Zylinder: Radiale Linienlast und Axiallast ..... 67
B.3.3	Ringverteilter 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
<b>Anhang C (normativ) Formeln für lineare elastische Membran- und Biegespannungen .....</b>	<b>73</b>
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: Dicksprung .....	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
<b>Anhang D (normativ) Formeln für den Beulsicherheitsnachweis .....</b>		<b>85</b>
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