

DIN EN 1991-4:2010-12 (D)

Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter; Deutsche Fassung EN 1991-4:2006

Inhalt	Seite
Vorwort	7
Hintergrund des Eurocode-Programms	7
Status und Gültigkeit der Eurocodes	8
Nationale Fassungen der Eurocodes	9
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)	10
1 Allgemeines	11
1.1 Anwendungsbereich	11
1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1991 -- Eurocode 1	11
1.2 Normative Verweisungen	14
1.3 Annahmen	15
1.4 Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln	15
1.5 Definitionen	15
1.6 Formelzeichen	20
1.6.1 Große lateinische Buchstaben	20
1.6.2 Kleine lateinische Buchstaben	21
1.6.3 Große griechische Buchstaben	24
1.6.4 Kleine griechische Buchstaben	24
1.6.5 Indizes	25
2 Darstellung und Klassifikation der Einwirkungen	25
2.1 Darstellung von Einwirkungen in Silos	25
2.2 Darstellung der Einwirkung auf Flüssigkeitsbehälter	26
2.3 Einstufung der Einwirkung auf Silozellen	27
2.4 Einstufung der Einwirkungen auf Flüssigkeitsbehälter	27
2.5 Anforderungsklassen	27
3 Bemessungssituationen	28
3.1 Allgemeines	28
3.2 Bemessungssituationen für in Silos gelagerte Schüttgüter	29
3.3 Bemessungssituationen für unterschiedliche geometrische Ausbildungen der Silogeometrie	31
3.4 Bemessungssituationen für spezielle Konstruktionsformen von Silos	35
3.5 Bemessungssituationen für in Flüssigkeitsbehältern gelagerte Flüssigkeiten	36
3.6 Bemessungsprinzipien für Explosionen	36
4 Schüttgut	37
4.1 Allgemeines	37
4.2 Schüttgutkennwerte	38
4.2.1 Allgemeines	38
4.2.2 Ermittlung der Schüttgutkennwerte	39
4.2.3 Vereinfachte Vorgehensweise	40
4.3 Messung der Schüttgutkennwerte in Versuchen	41
4.3.1 Experimentelle Ermittlung (Messverfahren)	41
4.3.2 Schüttgutwichte	41
4.3.3 Wandreibungskoeffizient	41

4.3.4	Winkel der inneren Reibung i	42
4.3.5	Horizontalverhältnis K	42
4.3.6	Kohäsion c	43
4.3.7	Schüttgutbeiwert für die Teilflächenlast Cop	43
5	Lasten auf vertikale Silowände	43
5.1	Allgemeines	43
5.2	Schlanke Silos	44
5.2.1	Fülllasten auf vertikale Silowände	44
5.2.2	Entleerungslasten auf vertikale Wände	49
5.2.3	Gleichförmige Erhöhung der Lasten als Ersatz für die Teilflächenlasten der Lastfälle Füllen und Entleeren bei kreisförmigen Silos	54
5.2.4	Entleerungslasten für kreisförmige Silos mit großen Exzentrizitäten bei der Entleerung ..	55
5.3	Niedrige Silos und Silos mit mittlerer Schlankheit	59
5.3.1	Fülllasten auf die vertikalen Wände	59
5.3.2	Entleerungslasten auf die vertikalen Silowände	62
5.3.3	Große Exzentrizitäten beim Befüllen von kreisförmigen niedrigen Silos und kreisförmigen Silos mit mittlerer Schlankheit	64
5.3.4	Große Entleerungsexzentrizitäten in kreisförmigen niedrigen Silos und kreisförmigen Silos mit mittlerer Schlankheit	65
5.4	Stützwandsilos	66
5.4.1	Fülllasten auf vertikale Wände	66
5.4.2	Entleerungslasten auf vertikale Wände	67
5.5	Silos mit Gebläse	67
5.5.1	Allgemeines	67
5.5.2	Lasten in Silos zur Lagerung von fluidisiertem Schüttgut	67
5.6	Temperaturunterschiede zwischen Schüttgut und Silokonstruktion	68
5.6.1	Allgemeines	68
5.6.2	Lasten infolge einer Abnahme der atmosphärischen Umgebungstemperaturen	69
5.6.3	Lasten infolge heiß eingefüllter Schüttgüter	69
5.7	Lasten in rechteckigen Silos	70
5.7.1	Rechtecksilos	70
5.7.2	Silos mit inneren Zuggliedern	70
6	Lasten auf Silotrichter und Siloböden	70
6.1	Allgemeines	70
6.1.1	Physikalische Kennwerte	70
6.1.2	Allgemeine Regelungen	72
6.2	Waagerechte Siloböden	74
6.2.1	Vertikallasten auf waagerechte Siloböden in schlanken Silos	74
6.2.2	Vertikallasten auf ebene Siloböden in niedrigen Silos und Silos mit mittlerer Schlankheit	74
6.3	Steiler Trichter	75
6.3.1	Mobilisierte Reibung	75
6.3.2	Fülllasten	75
6.3.3	Entleerungslasten	76
6.4	Flacher Trichter	77
6.4.1	Mobilisierte Reibung	77
6.4.2	Fülllasten	77
6.4.3	Entleerungslasten	78
6.5	Trichter in Silos mit Gebläse	78
7	Lasten auf Flüssigkeitsbehälter	78
7.1	Allgemeines	78
7.2	Lasten infolge gelagerter Flüssigkeiten	78
7.3	Kennwerte der Flüssigkeiten	79
7.4	Soglasten infolge von unzureichender Belüftung	79
Anhang A (informativ) Grundlagen der Tragwerksplanung -- Regeln in Ergänzung zu EN 1990 für Silos und Flüssigkeitsbehälter		80
A.1	Allgemeines	80
A.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit	80

A.2.1	Teilsicherheitsbeiwerte	80
A.2.2	Kombinationsbeiwerte	80
A.3	Einwirkungskombinationen	81
A.4	Bemessungssituation und Einwirkungskombinationen für die Anforderungsklassen 2 und 3	81
A.5	Einwirkungskombinationen für die Anforderungsklasse 1	86
Anhang B (informativ) Einwirkungen, Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen auf Flüssigkeitsbehälter		
B.1	Allgemeines	87
B.2	Einwirkungen	87
B.2.1	Lasten aus gelagerten Flüssigkeiten	87
B.2.2	Lasten aus Innendrücken	87
B.2.3	Lasten aus Temperatur(-änderung)	87
B.2.4	Eigengewichtslasten	87
B.2.5	Lasten aus Dämmung	88
B.2.6	Verteilte Nutzlasten	88
B.2.7	Konzentrierte Nutzlasten	88
B.2.8	Schnee	88
B.2.9	Wind	88
B.2.10	Unterdruck durch unzureichende Belüftung	89
B.2.11	Seismische Lasten	89
B.2.12	Lasten aus Verbindungsbauten	89
B.2.13	Lasten aus ungleichförmigen Setzungen	90
B.2.14	Katastrophenlasten	90
B.3	Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen	90
B.4	Kombinationen von Einwirkungen	90
Anhang C (normativ) Messung von Schüttgutkennwerten für die Ermittlung von Silolasten		
C.1	Allgemeines	91
C.2	Anwendung	91
C.3	Symbole	91
C.4	Begriffe	92
C.5	Probenahme und Probenvorbereitung	92
C.6	Bestimmung der Schüttgutwichte	93
C.6.1	Kurzbeschreibung	93
C.6.2	Prüfgerät	93
C.6.3	Durchführung	94
C.7	Wandreibung	94
C.7.1	Allgemeines	94
C.7.2	Wandreibungskoeffizient m zur Ermittlung der Lasten	95
C.7.3	Wandreibungswinkel φ_h für Untersuchungen zum Fließverhalten	96
C.8	Horizontallastverhältnis K	97
C.8.1	Direkte Messung	97
C.8.2	Indirekte Messung	98
C.9	Festigkeitsparameter: Kohäsion c und Winkel der inneren Reibung i	99
C.9.1	Direkte Messung	99
C.9.2	Indirekte Messung	101
C.10	Effektiver Elastizitätsmodul E_s	102
C.10.1	Direkte Messung	102
C.10.2	Indirekte Abschätzung	104
C.11	Bestimmung der oberen und unteren charakteristischen Werte von Schüttgutparametern und Ermittlung des Umrechnungsfaktors a	105
C.11.1	Kurzbeschreibung	105
C.11.2	Methoden zur Abschätzung	106
Anhang D (normativ) Abschätzung der Schüttgutkennwerte für die Ermittlung der Silolasten		
D.1	Ziel	108
D.2	Abschätzung des Wandreibungskoeffizienten für eine gewellte Wand	108

D.3	Innere Reibung und Wandreibung eines grobkörnigen Schüttgutes ohne Feinanteile	109
Anhang E (normativ) Angabe von Schüttgutkennwerten		110
E.1	Allgemeines	110
E.2	Angegebene Werte	110
Anhang F (informativ) Bestimmung der Fließprofile		112
F.1	Massen- und Kernfluss	112
Anhang G (normativ) Alternative Regeln zur Ermittlung von Trichterlasten		113
G.1	Allgemeines	113
G.2	Symbole	113
G.3	Begriffe	113
G.4	Bemessungssituation	113
G.5	Ermittlung des Bodenlastvergrößerungsfaktors C_b	114
G.6	Fülllasten auf waagerechte und nahezu waagerechte Böden	114
G.7	Fülllasten auf die Trichterwände	115
G.8	Entleerungslasten auf waagerechte und nahezu waagerechte Böden	116
G.9	Entleerungslasten auf die Trichterwände	116
G.10	Alternative Gleichungen für den Trichterlastbeiwert F_e für den Lastfall Entleeren	117
Anhang H (normativ) Einwirkungen infolge von Staubexplosionen		118
H.1	Allgemeines	118
H.2	Anwendung	118
H.3	Symbole	118
H.4	Explosionsfähige Stäube und ihre Kennwerte	118
H.5	Zündquellen	119
H.6	Schutzmaßnahmen	119
H.7	Bemessung der Bauteile	120
H.8	Bemessung für Explosionsüberdruck	120
H.9	Bemessung für Unterdruck	120
H.10	Sicherung der Abschlusselemente der Entlastungsöffnungen	120
H.11	Rückstoßkräfte durch Druckentlastung	120
Bilder		
Bild 1.1 -- Darstellung von Silozellen mit Benennung der geometrischen Kenngrößen und Lasten ..		13
Bild 3.1 -- Grundlegende Fließprofile		32
Bild 3.2 -- Fließprofile mit Schlotfluss		33
Bild 3.3 - Fließprofile mit gemischtem Schüttgutfließen		33
Bild 3.4 -- Auswirkung der Schlankheit (Verhältnis Höhe zu Durchmesser) auf das gemischte Schüttgutfließen und den Schlotfluss		34
Bild 3.5 -- Spezielle Füll- und Entleerungsanordnungen		34
Bild 4.1 -- Bedingungen, unter denen Drücke infolge Massenfluss auftreten		37
Bild 5.1 -- Symmetrische Fülllasten im Bereich der vertikalen Silowände		45
Bild 5.2 -- Längs- und Querschnitt mit Darstellung der Lastbilder der Teilflächenlasten		47

Bild 5.3 -- Längs- und Querschnitt mit Darstellung der Lastbilder der Teilflächenlasten für nicht kreisförmige Silos	49
Bild 5.4 -- Längs- und Querschnitt mit Darstellung der Lastbilder der Teilflächenlasten bei Entleerung	52
Bild 5.5 -- Fließkanal und Druckverteilung bei der Entleerung mit großen Exzentrizitäten	57
Bild 5.6 -- Lasten in einem niedrigen Silo oder Silo mit mittlerer Schlankheit nach dem Füllen (Fülllasten)	61
Bild 5.7 -- Fülldrücke bei exzentrisch gefüllten niedrigen Silos oder Silos mit mittlerer Schlankheit	64
Bild 5.8 -- Fülldrücke in einem Stützwandsilo	66
Bild 6.1 -- Grenze zwischen steilem und flachem Trichter	71
Bild 6.2 -- Verteilung der Fülldrücke in einem steilen und flachen Trichter	72
Bild 6.3 -- Bodenlasten in niedrigen Silos und in Silos mit mittlerer Schlankheit	75
Bild 6.4 -- Entleerungsdrücke in einem steilen und einem flach geneigten Trichter	77
Bild B.1 -- Druckkoeffizienten für Windlasten auf einem kreisförmigen zylindrischen Flüssigkeitsbehälter	89
Bild C.1 -- Vorrichtung zur Bestimmung von	94
Bild C.2 -- Prüfverfahren zur Bestimmung des Wandreibungskoeffizienten	96
Bild C.3 -- Prüfverfahren zur Bestimmung von K_0	98
Bild C.4 -- Prüfverfahren zur Bestimmung der Winkel der inneren Reibung i und c und der Kohäsion c basierend auf der beim Vorverdichten aufgetragenen Spannung r	100
Bild C.5 -- Prüfverfahren zur Bestimmung der Elastizitätsmoduli bei Be- und Entlastung	103
Bild D.1 -- Abmessungen der Profilierung der Wandoberfläche	109
Bild F.1 -- Abgrenzung von Massen- und Kernflussbedingungen bei konischen und keilförmigen Trichtern	112
Bild G.1 -- Alternative Anordnung für die Trichterlasten	116
 Tabellen	
Tabelle 2.1 -- Klassifikation von Bemessungssituationen	28
Tabelle 3.1 -- Maßgebliche Kennwerte für die unterschiedlichen Lastansätze	30
Tabelle 4.1 -- Kategorien der Wandoberflächen	40
Tabelle A.1 -- Zu betrachtende Bemessungssituationen und Kombinationen von Einwirkungen	82
Tabelle A.2 -- „Allgemeiner“ Grenzzustand der Tragfähigkeit („Ordinary“ ULS) -- Zu betrachtende Bemessungssituationen und Kombinationen von Einwirkungen	83
Tabelle A.3 -- Grenzzustand der Tragfähigkeit für außergewöhnliche Lasten („Accidental“ ULS) -- Zu betrachtende Bemessungssituationen und Kombinationen von Einwirkungen	83

Tabelle A.4 -- Grenzzustand der Tragfähigkeit bei seismischer Beanspruchung („Seismic“ ULS) -- Zu betrachtende Bemessungssituationen und Kombinationen von Einwirkungen	84
Tabelle A.5 -- Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit (SLS) -- Zu betrachtende Bemessungssituationen und Kombinationen von Einwirkungen	85
Tabelle C.1 -- Versuchsparameter	100
Tabelle C.2 -- Typische Werte der Variationskoeffizienten für die Schüttgutkennwerte	107
Tabelle E.1 -- Schüttgutkennwerte	111