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 87

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 91

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 wh 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 Es 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 108

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 Cb 114
G.6 Fülllasten auf waagerechte und nahezu waagrechte 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 Fe 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 K0 98

Bild C.4 -- Prüfverfahren zur Bestimmung der Winkel der inneren Reibung i und c und der Kohäsion c basierend auf der beim Vorverdichten aufgebrachten 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