# DIN 1055-6:2005-03 (D)

## Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 6: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter

## Inhalt

Seite


Vorwort ..... 7

1 Anwendungsbereich ..... 8

2 Normative Verweisungen ..... 10

3 Begriffe und Formelzeichen ..... 11
3.1 Begriffe ..... 11
3.2 Formelzeichen ..... 15
3.2.1 Allgemeines ..... 15
3.2.2 Große lateinische Buchstaben ..... 15
3.2.3 Kleine lateinische Buchstaben ..... 17
3.2.4 Große griechische Buchstaben ..... 20
3.2.5 Kleine griechische Buchstaben ..... 20

4 Darstellung und Klassifikation der Einwirkungen ..... 21
4.1 Darstellung von Einwirkungen in Silos ..... 21
4.2 Darstellung der Einwirkung auf Flüssigkeitsbehälter ..... 22
4.3 Einstufung der Einwirkung auf Silozellen ..... 23
4.4 Einstufung der Einwirkungen auf Flüssigkeitsbehälter ..... 23
4.5 Anforderungsklassen ..... 23

5 Bemessungssituationen ..... 24
5.1 Allgemeines ..... 24
5.2 Bemessungssituationen infolge von in Silos gelagerte „Schüttgüter“ ..... 24
5.3 Bemessungssituationen infolge unterschiedlicher geometrischer Ausbildungen der Silogeometrie ..... 26
5.4 Bemessungssituationen infolge spezieller Konstruktionsformen von Silos ..... 30
5.5 Bemessungssituationen infolge in Flüssigkeitsbehältern gelagerten Flüssigkeiten ..... 31
5.6 Bemessungsprinzipien für Explosionen ..... 31

6 Schüttgutkennwerte ..... 32
6.1 Allgemeines ..... 32
6.2 Schüttgutkennwerte ..... 33
6.2.1 Allgemeines ..... 33
6.2.2 Ermittlung der Schüttgutkennwerte ..... 35
6.2.3 Vereinfachte Vorgehensweise ..... 35
6.3 Messung der Schüttgutkennwerte in Versuchen ..... 36
6.3.1 Experimentelle Ermittlung (Messverfahren) ..... 36
6.3.2 Schüttgutwichte $\gamma$ ..... 37
6.3.3 Wandreibungskoeffizient $\mu$ ..... 37
6.3.4 Winkel der inneren Reibung $\phi_i$ ..... 37
6.3.5 Horizontallastverhältnis $K$ ..... 38
6.3.6 Kohäsion $c$ ..... 38
6.3.7 Schüttgutbeiwert für die Teilflächenlast $C_{op}$ ..... 38

7 Lasten auf vertikale Silowände ..... 39
7.1 Allgemeines ..... 39
7.2 Schlanke Silos ..... 40
7.2.1 Fülllasten auf vertikale Silowände ..... 40
7.2.2 Entleerungslasten auf vertikale Wände ..... 46
7.2.3 Gleichförmige Erhöhung der Lasten als Ersatz für die Teilflächenlasten der Lastfälle Füllen und Entleeren bei kreisförmigen Silos ..... 51

**7.2.4 Entleerungslasten für kreisförmige Silos mit großen Exzentrizitäten bei der Entleerung ..... 52**
**7.3 Niedrige Silos und Silos mit mittlerer Schlankheit ..... 57**
**7.3.1 Fülllasten auf die vertikalen Wände ..... 57**
**7.3.2 Entleerungslasten auf die vertikalen Silowände ..... 59**
**7.3.3 Große Exzentrizitäten beim Befüllen von kreisförmigen niedrigen Silos und kreisförmigen Silos mit mittlerer Schlankheit ..... 61**
**7.3.4 Große Entleerungsexzentrizitäten in kreisförmigen niedrigen Silos und kreisförmigen Silos mit mittlerer Schlankheit ..... 62**
**7.4 Stützwandsilos ..... 63**
**7.4.1 Fülllasten auf vertikale Wände ..... 63**
**7.4.2 Entleerungslasten auf vertikale Wände ..... 64**
**7.5 Silos mit fluidisiertem Schüttgut ..... 64**
**7.5.1 Allgemeines ..... 64**
**7.5.2 Lasten in Silos zur Lagerung von fluidisiertem Schüttgut ..... 64**
**7.6 Temperaturunterschiede zwischen Schüttgut und Silokonstruktion ..... 65**
**7.6.1 Allgemeines ..... 65**
**7.6.2 Lasten infolge einer Abnahme der atmosphärischen Umgebungstemperaturen ..... 66**
**7.6.3 Lasten infolge heiß eingefüllter Schüttgüter ..... 67**
**7.7 Lasten in rechteckigen Silos ..... 67**
**7.7.1 Rechtecksilos ..... 67**
**7.7.2 Silos mit inneren Zuggliedern ..... 68**

**8 Lasten auf Silotrichter und Siloböden ..... 68**
**8.1 Allgemeines ..... 68**
**8.1.1 Physikalische Kennwerte ..... 68**
**8.1.2 Allgemeine Regelungen ..... 70**
**8.2 Waagerechte Siloböden ..... 72**
**8.2.1 Vertikallasten auf waagerechte Siloböden in schlanken Silos ..... 72**
**8.2.2 Vertikallasten auf ebene Siloböden in niedrigen Silos und Silos mit mittlerer Schlankheit ..... 72**
**8.3 Steiler Trichter ..... 73**
**8.3.1 Mobilisierte Reibung ..... 73**
**8.3.2 Fülllasten ..... 74**
**8.3.3 Entleerungslasten ..... 74**
**8.4 Flacher Trichter ..... 75**
**8.4.1 Mobilisierte Reibung ..... 75**
**8.4.2 Fülllasten ..... 76**
**8.4.3 Entleerungslasten ..... 76**
**8.5 Trichterlasten in Silos mit Lufteinblasevorrichtungen ..... 76**

**9 Lasten auf Flüssigkeitsbehälter ..... 77**
**9.1 Allgemeines ..... 77**
**9.2 Lasten infolge gelagerter Flüssigkeiten ..... 77**
**9.3 Kennwerte der Flüssigkeiten ..... 77**
**9.4 Soglasten infolge von unzureichender Belüftung ..... 77**

**Anhang A** (informativ) **Grundlagen der Tragwerksplanung – Regeln in Ergänzung zu DIN 1055-100 für Silos und Flüssigkeitsbehälter ..... 78**
**A.1 Allgemeines ..... 78**
**A.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit ..... 78**
**A.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma$ ..... 78**
**A.2.2 Kombinationsbeiwerte $\psi$ ..... 78**
**A.3 Einwirkungskombinationen ..... 78**
**A.4 Bemessungssituation und Einwirkungskombinationen für die Anforderungsklassen 2 und 3 ..... 79**
**A.5 Einwirkungskombinationen für die Anforderungsklasse 1 ..... 80**

**Anhang B** (normativ) **Einwirkungen, Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen auf Flüssigkeitsbehälter ..... 81**
**B.1 Allgemeines ..... 81**
**B.2 Einwirkungen ..... 81**
**B.2.1 Lasten aus gelagerten Flüssigkeiten ..... 81**
**B.2.2 Lasten aus Innendrücken ..... 81**
**B.2.3 Lasten aus Temperatur(-änderung) ..... 81**

**B.2.4 Eigenlasten** ..... **81**
**B.2.5 Lasten aus Dämmung** ..... **81**
**B.2.6 Verteilte Nutzlasten** ..... **82**
**B.2.7 Konzentrierte Nutzlasten** ..... **82**
**B.2.8 Schnee** ..... **82**
**B.2.9 Wind** ..... **82**
**B.2.10 Unterdruck durch unzureichende Belüftung** ..... **83**
**B.2.11 Seismische Lasten** ..... **83**
**B.2.12 Lasten aus Verbindungsbauten** ..... **84**
**B.2.13 Lasten aus ungleichförmigen Setzungen** ..... **84**
**B.2.14 Katastrophenlasten** ..... **84**
**B.3 Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen** ..... **84**
**B.4 Kombinationen von Einwirkungen** ..... **84**

**Anhang C** (normativ) **Messung von Schüttgutkennwerten für die Ermittlung von Silolasten** ..... **85**
**C.1 Allgemeines** ..... **85**
**C.2 Anwendung** ..... **85**
**C.3 Symbole** ..... **85**
**C.4 Begriffe** ..... **86**
**C.5 Probennahme und Probenvorbereitung** ..... **86**
**C.6 Bestimmung der Schüttgutwichte $\gamma$** ..... **87**
**C.6.1 Kurzbeschreibung** ..... **87**
**C.6.2 Prüfapparatur** ..... **87**
**C.6.3 Verfahren/Vorgehen** ..... **88**
**C.7 Wandreibung** ..... **88**
**C.7.1 Allgemeines** ..... **88**
**C.7.2 Wandreibungskoeffizient $\mu_m$ zur Ermittlung der Lasten** ..... **89**
**C.7.3 Wandreibungswinkel $\phi_{wh}$ für Untersuchungen zum Fließverhalten** ..... **90**
**C.8 Horizontallastverhältnis $K$** ..... **91**
**C.8.1 Direkte Messung** ..... **91**
**C.8.2 Indirekte Messung** ..... **92**
**C.9 Festigkeitsparameter: Kohäsion $c$ und Winkel der inneren Reibung $\phi_i$** ..... **92**
**C.9.1 Direkte Messung** ..... **92**
**C.9.2 Indirekte Messung** ..... **94**
**C.10 Effektiver Elastizitätsmodul $E_S$** ..... **95**
**C.10.1 Direkte Messung** ..... **95**
**C.10.2 Indirekte Abschätzung** ..... **98**
**C.11 Bestimmung der oberen und unteren charakteristischen Werte von Schüttgutparametern und Ermittlung des Umrechnungsfaktors $a$** ..... **99**
**C.11.1 Versuchsprinzip** ..... **99**
**C.11.2 Methoden zur Abschätzung** ..... **99**

**Anhang D** (normativ) **Abschätzung der Schüttgutkennwerte für die Ermittlung der Silolasten** ..... **102**
**D.1 Ziel** ..... **102**
**D.2 Abschätzung des Wandreibungskoeffizienten für eine gewellte Wand** ..... **102**
**D.3 Innere Reibung und Wandreibung eines grobkörnigen Schüttgutes ohne Feinanteile** ..... **103**

**Anhang E** (normativ) **Angabe von Schüttgutkennwerten** ..... **104**

**Anhang F** (normativ) **Bestimmung der Fließprofile, Massen- und Kernfluss** ..... **105**

**Anhang G** (normativ) **Seismische Einwirkungen** ..... **106**
**G.1 Allgemeines** ..... **106**
**G.2 Symbole** ..... **106**
**G.3 Bemessungssituation** ..... **106**
**G.4 Seismische Einwirkungen** ..... **107**
**G.4.1 Silounterbau und Gründungen** ..... **107**
**G.4.2 Silowände** ..... **107**

**Anhang H** (normativ) **Alternative Regeln zur Ermittlung von Trichterlasten** ..... **109**
**H.1 Allgemeines** ..... **109**
**H.2 Begriffe** ..... **109**
**H.3 Symbole** ..... **109**

**H.4 Bemessungssituation ..... 109**
**H.5 Lasten auf die Trichterwände ..... 110**
**H.6 Bestimmung der Anschlusskräfte am Trichterübergang ..... 111**
**H.7 Alternative Gleichungen für den Trichterlastbeiwert $F_e$ für den Lastfall Entleeren ..... 111**

**Anhang I** (normativ) **Einwirkungen infolge von Staubexplosionen ..... 113**
**I.1 Allgemeines ..... 113**
**I.2 Anwendung ..... 113**
**I.3 Zusätzliche Normen, Richtlinien und Bestimmungen ..... 113**
**I.4 Explosionsfähige Stäube und ihre Kennwerte ..... 113**
**I.5 Zündquellen ..... 114**
**I.6 Schutzmaßnahmen ..... 114**
**I.7 Bemessung der Bauteile ..... 115**
**I.8 Bemessung für Explosionsüberdruck ..... 115**
**I.9 Bemessung für Unterdruck ..... 115**
**I.10 Sicherung der Abschlusselemente der Entlastungsöffnungen ..... 115**
**I.11 Rückstoßkräfte durch Druckentlastung ..... 115**

**Bilder**

**Bild 1 — Darstellung von Silozellen mit Benennung der geometrischen Kenngrößen und Lasten ..... 9**

**Bild 2 — Grundlegende Fließprofile ..... 27**

**Bild 3 — Fließprofile mit Schlotfluss ..... 28**

**Bild 4 — Fließprofile mit gemischtem Schüttgutfließen ..... 29**

**Bild 5 — Auswirkung der Schlankheit (Verhältnis Höhe zu Durchmesser) auf das gemischte Schüttgutfließen und den Schlotfluss ..... 29**

**Bild 6 — Spezielle Füll- und Entleerungsanordnungen ..... 30**

**Bild 7 — Bedingungen, unter denen Drücke infolge Massenfluss auftreten ..... 33**

**Bild 8 — Symmetrische Fülllasten im Bereich der vertikalen Silowände ..... 42**

**Bild 9 — Längs- und Querschnitt mit Darstellung der Lastbilder der Teilflächenlasten ..... 43**

**Bild 10 — Längs- und Querschnitt mit Darstellung der Lastbilder der Teilflächenlasten für nicht kreisförmige Silos ..... 44**

**Bild 11 — Längs- und Querschnitt mit Darstellung der Lastbilder der Teilflächenlasten bei Entleerung ..... 49**

**Bild 12 — Fließkanal und Druckverteilung bei der Entleerung mit großen Exzentrizitäten ..... 54**

**Bild 13 — Lasten in einem niedrigen Silo oder Silo mit mittlerer Schlankheit nach dem Füllen (Fülllasten) ..... 58**

**Bild 14 — Fülldrücke bei exzentrisch gefüllten niedrigen Silos oder Silos mit mittlerer Schlankheit ... 61**

**Bild 15 — Fülldrücke in einem Stützwandsilo ..... 64**

**Bild 16 — Grenze zwischen steilem und flachem Trichter ..... 69**

**Bild 17 — Verteilung der Fülldrücke in einem steilen und flachen Trichter ..... 70**

**Bild 18 — Bodenlasten in niedrigen Silos und in Silos mit mittlerer Schlankheit ..... 73**

**Bild 19 — Entleerungsdrücke in einem steilen und einem flach geneigten Trichter ..... 75**

**Bild B.1 — Druckkoeffizienten für Windlasten bei kreisförmigen zylindrischen Flüssigkeitsbehältern 83**

**Bild C.1 — Vorrichtung zur Bestimmung von $\gamma$ ..... 88**

**Bild C.2 — Prüfverfahren zur Bestimmung des Wandreibungskoeffizienten ..... 90**

**Bild C.3 — Prüfverfahren zur Bestimmung von $K_o$ ..... 91**

**Bild C.4 — Prüfverfahren zur Bestimmung der Winkel der inneren Reibung $\phi_i$ und $\phi_c$ und der Kohäsion *c* basierend auf der beim Vorverdichten aufgebrachten Spannung $\sigma_r$ ..... 93**

**Bild C.5 — Prüfverfahren zur Bestimmung der Elastizitätsmoduli bei Be- und Entlastung ..... 97**

**Bild D.1 — Abmessungen der Profilierung der Wandoberfläche ..... 103**

**Bild F.1 — Abgrenzung von Massen- und Kernflussbedingungen bei konischen und keilförmigen Trichtern ..... 105**

**Bild G.1 — Mögliche Umlagerungen an der Schüttgutoberfläche infolge seismischer Einwirkungen. 106**

**Bild G.2 — Seismische Einwirkungen für den Unterbau (z. B. Stützen) ..... 107**

**Bild G.3 — Querschnitt durch den vertikalen Siloschaft mit Angaben zu den zusätzlichen Horizontallasten infolge seismischer Einwirkungen ..... 108**

**Bild H.1 — Alternative Regeln für die Trichterlasten ..... 111**

**Tabellen**

**Tabelle 1 — Klassifikation von Bemessungssituationen ..... 23**

**Tabelle 2 — Maßgebliche Kennwerte für die unterschiedlichen Lastansätze ..... 25**

**Tabelle 3 — Kategorien der Wandoberflächen ..... 35**

**Tabelle A.1 – Kombinationsbeiwerte $\psi$ ..... 80**

**Tabelle C.1 — Versuchsparameter ..... 94**

**Tabelle C.2 — Typische Werte der Variationskoeffizienten für die Schüttgutkennwerte ..... 101**

**Tabelle E.1 — Schüttgutkennwerte[a] ..... 104**