

## DIN EN 1998-4



ICS 91.010.30; 91.060.40; 91.120.25

**Entwurf**

Einsprüche bis 2023-10-04  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN 1998-4:2007-01 und  
DIN EN 1998-6:2006-03

**Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben –  
Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen, Türme, Maste und  
Schornsteine;  
Deutsche und Englische Fassung prEN 1998-4:2023**

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance –  
Part 4: Silos, tanks and pipelines, towers, masts and chimneys;  
German and English version prEN 1998-4:2023

Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance au séisme –  
Part 4: Silos, réservoirs, tuyauteries, tours, mâts et cheminées;  
Version allemande et anglaise prEN 1998-4:2023

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-08-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter [www.din.de/go/entwuerfe](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nabau@din.de](mailto:nabau@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 271 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1998-4:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-51-06 AA „Erdbeben; Sonderfragen (SpA zu CEN/TC 250/SC 8)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

|                        |       |                               |
|------------------------|-------|-------------------------------|
| ISO 13847              | siehe | DIN EN 14163                  |
| ISO 80000 (alle Teile) | siehe | DIN EN ISO 80000 (alle Teile) |

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 1998-4:2007-01 und DIN EN 1998-6:2006-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Titel des Dokuments um den Titel des Teils 6 des Eurocodes 8 ergänzt;
- b) Anforderungen aus Teil 6 des Eurocodes 8 an die erdbebensichere Bemessung von Türmen, Masten und Schornsteinen in dieses Dokument eingearbeitet;
- c) Dokument redaktionell überarbeitet.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN 14163, *Erdöl- und Erdgasindustrie - Pipeline-Transportsysteme - Schweißen von Pipelines*

DIN EN ISO 80000 (alle Teile), *Größen und Einheiten*

|                  |                                                                                                                                        |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Titel de:</i> | Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen, Türme, Maste und Schornsteine      |
| <i>Titel en:</i> | Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 4: Silos, tanks and pipelines, towers, masts and chimneys            |
| <i>Titel fr:</i> | Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance au séismes — Partie 4: Silos, réservoirs, tuyauteries, tours, mâts et cheminées |

## Inhalt

|                                                                                                        | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                             | 7     |
| 0 Einleitung .....                                                                                     | 8     |
| 0.1 Einleitung zu den Eurocodes .....                                                                  | 8     |
| 0.2 Einleitung zu EN 1998 (alle Teile) .....                                                           | 8     |
| 0.3 Einleitung zu prEN 1998-4 .....                                                                    | 9     |
| 0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen .....                                                       | 10    |
| 0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1998-4 .....                                                             | 10    |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                              | 11    |
| 1.1 Anwendungsbereich von prEN 1998-4 .....                                                            | 11    |
| 1.2 Voraussetzungen .....                                                                              | 11    |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                         | 11    |
| 3 Begriffe und Symbole .....                                                                           | 12    |
| 3.1 Begriffe .....                                                                                     | 12    |
| 3.2 Symbole und Abkürzungen .....                                                                      | 13    |
| 3.2.1 Symbole .....                                                                                    | 13    |
| 3.2.2 Abkürzungen .....                                                                                | 22    |
| 3.3 SI-Einheiten .....                                                                                 | 23    |
| 4 Bemessungsgrundlagen .....                                                                           | 23    |
| 4.1 Leistungsanforderungen .....                                                                       | 23    |
| 4.2 Versagensfolgeklassen .....                                                                        | 23    |
| 4.3 Grenzzustände und zugehörige Erdbebeneinwirkungen .....                                            | 24    |
| 4.4 Modellbildung und Berechnungsverfahren .....                                                       | 26    |
| 4.5 Kombinationen der Auswirkungen infolge der Komponenten der Erdbebeneinwirkung .....                | 26    |
| 4.6 Werkstoffanforderungen .....                                                                       | 27    |
| 4.6.1 Bemessung nach DC1, DC2 und DC3 .....                                                            | 27    |
| 4.6.2 Sicherheitsnachweise .....                                                                       | 27    |
| 4.7 Nachweis in Grenzzuständen .....                                                                   | 27    |
| 4.7.1 Allgemeines .....                                                                                | 27    |
| 4.7.2 Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) .....                                  | 28    |
| 4.7.3 Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL) .....                                       | 28    |
| 4.7.4 Nachweis im Grenzzustand der vollständigen Funktionsfähigkeit (OP) .....                         | 28    |
| 5 Regeln für Silos .....                                                                               | 28    |
| 5.1 Anwendungsbereich .....                                                                            | 28    |
| 5.2 Bemessungsgrundlagen .....                                                                         | 28    |
| 5.2.1 Bemessungskonzept .....                                                                          | 28    |
| 5.2.2 Sicherheitsnachweis .....                                                                        | 29    |
| 5.3 Modellbildung und statische Berechnung .....                                                       | 29    |
| 5.3.1 Modellbildung .....                                                                              | 29    |
| 5.3.2 Statische Berechnung .....                                                                       | 30    |
| 5.3.3 Verhaltensbeiwerte .....                                                                         | 31    |
| 5.4 Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz .....                                        | 31    |
| 5.4.1 Gesamt-Basis Schubkraft, Umsturmmoment und vertikale Reaktionskraft am Siloboden .....           | 31    |
| 5.4.2 Seismische Drücke auf Silowände und Trichter infolge der horizontalen Erdbebeneinwirkungen ..... | 32    |
| 5.5 Nachweis in Grenzzuständen .....                                                                   | 34    |

|        |                                                                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.5.1  | Allgemeines .....                                                                                        | 34 |
| 5.5.2  | Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) .....                                          | 35 |
| 5.5.3  | Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL) .....                                               | 37 |
| 5.5.4  | Nachweis im Grenzzustand der vollständigen Funktionsfähigkeit (OP) .....                                 | 37 |
| 6      | Regeln für Tankbauwerke .....                                                                            | 37 |
| 6.1    | Anwendungsbereich .....                                                                                  | 37 |
| 6.2    | Bemessungsgrundlagen .....                                                                               | 37 |
| 6.2.1  | Bemessungskonzept .....                                                                                  | 37 |
| 6.2.2  | Sicherheitsnachweis .....                                                                                | 38 |
| 6.3    | Modellbildung und statische Berechnung .....                                                             | 38 |
| 6.3.1  | Modellbildung .....                                                                                      | 38 |
| 6.3.2  | Statische Berechnung .....                                                                               | 41 |
| 6.3.3  | Verhaltensbeiwerte .....                                                                                 | 41 |
| 6.4    | Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz für vertikale zylindrische<br>Tankbauwerke .....   | 42 |
| 6.4.1  | Oberirdische verankerte Tankbauwerke .....                                                               | 42 |
| 6.4.2  | Oberirdische unverankerte Tankbauwerke .....                                                             | 50 |
| 6.5    | Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz für vertikale rechteckige<br>Tankbauwerke .....    | 51 |
| 6.5.1  | Oberirdische verankerte Tankbauwerke .....                                                               | 51 |
| 6.5.2  | Oberirdische unverankerte Tankbauwerke .....                                                             | 56 |
| 6.6    | Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz für horizontale zylindrische<br>Tankbauwerke ..... | 57 |
| 6.6.1  | Voraussetzungen .....                                                                                    | 57 |
| 6.7    | Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz für aufgeständerte<br>Tankbauwerke .....           | 59 |
| 6.8    | Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz für kugelförmige<br>Tankbauwerke .....             | 61 |
| 6.8.1  | Kugelförmige Tankbauwerke .....                                                                          | 61 |
| 6.9    | Erdbebenlasten auf eingebundenen Tankbauwerken .....                                                     | 63 |
| 6.10   | Überlagerung horizontaler und vertikaler seismischer Drücke .....                                        | 64 |
| 6.10.1 | Überlagerung horizontaler Druckkomponenten infolge unterschiedlicher<br>Antwortschwingungsformen .....   | 64 |
| 6.10.2 | Überlagerung horizontaler Druckkomponenten infolge unterschiedlicher<br>Antwortschwingungsformen .....   | 64 |
| 6.10.3 | Überlagerung resultierender Drücke in horizontalen und vertikalen Richtungen .....                       | 64 |
| 6.11   | Überlagerung von Basisschubkraft, Umsturzmoment und vertikaler Reaktionskraft .....                      | 64 |
| 6.11.1 | Überlagerung der Basisschubkraft .....                                                                   | 64 |
| 6.11.2 | Überlagerung der Umsturzmomente .....                                                                    | 64 |
| 6.12   | Nachweis in Grenzzuständen .....                                                                         | 64 |
| 6.12.1 | Allgemeines .....                                                                                        | 64 |
| 6.12.2 | Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) .....                                          | 65 |
| 6.12.3 | Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL) .....                                               | 67 |
| 7      | Regeln für oberirdisch verlegte Rohrleitungen .....                                                      | 68 |
| 7.1    | Anwendungsbereich .....                                                                                  | 68 |
| 7.2    | Bemessungsgrundlagen .....                                                                               | 68 |
| 7.2.1  | Bemessungskonzept .....                                                                                  | 68 |
| 7.2.2  | Sicherheitsnachweis .....                                                                                | 69 |
| 7.3    | Modellbildung und statische Berechnung .....                                                             | 69 |
| 7.3.1  | Modellbildung .....                                                                                      | 69 |
| 7.3.2  | Statische Berechnung .....                                                                               | 70 |
| 7.4    | Einwirkungen und Kombination von Einwirkungen in der Bemessungssituation mit<br>Erdbeben .....           | 70 |
| 7.5    | Verhaltensbeiwerte .....                                                                                 | 70 |

|        |                                                                                                    |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.5.1  | Verhaltensbeiwert für die horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung.....                     | 70  |
| 7.5.2  | Erdbebenlasten .....                                                                               | 71  |
| 7.6    | Nachweis in Grenzzuständen .....                                                                   | 73  |
| 7.6.1  | Allgemeines .....                                                                                  | 73  |
| 7.6.2  | Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) .....                                    | 73  |
| 7.6.3  | Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL) .....                                         | 74  |
| 8      | Regeln für erdverlegte Rohrleitungen.....                                                          | 75  |
| 8.1    | Anwendungsbereich.....                                                                             | 75  |
| 8.2    | Bemessungsgrundlagen .....                                                                         | 75  |
| 8.2.1  | Bemessungskonzept.....                                                                             | 75  |
| 8.2.2  | Sicherheitsnachweis.....                                                                           | 76  |
| 8.3    | Modellbildung und statische Berechnung.....                                                        | 77  |
| 8.3.1  | Modellbildung.....                                                                                 | 77  |
| 8.3.2  | Statische Berechnung.....                                                                          | 78  |
| 8.3.3  | Erdbebenlasten .....                                                                               | 78  |
| 8.4    | Einwirkungen und Kombination von Einwirkungen in der Bemessungssituation mit<br>Erdbeben.....      | 85  |
| 8.5    | Nachweis in Grenzzuständen .....                                                                   | 85  |
| 8.5.1  | Allgemeines .....                                                                                  | 85  |
| 8.5.2  | Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) .....                                    | 85  |
| 8.5.3  | Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL) .....                                         | 86  |
| 9      | Regeln für nichttragende Bauteile in Industrieanlagen.....                                         | 87  |
| 9.1    | Anwendungsbereich.....                                                                             | 87  |
| 9.2    | Bemessungsgrundlagen .....                                                                         | 87  |
| 9.2.1  | Bemessungskonzept.....                                                                             | 87  |
| 9.2.2  | Sicherheitsnachweis.....                                                                           | 87  |
| 9.3    | Modellbildung und statische Berechnung.....                                                        | 87  |
| 9.3.1  | Modellbildung.....                                                                                 | 87  |
| 9.3.2  | Statische Berechnung.....                                                                          | 89  |
| 9.3.3  | Erdbebenlasten .....                                                                               | 89  |
| 9.4    | Nachweis in Grenzzuständen .....                                                                   | 92  |
| 9.4.1  | Allgemeines .....                                                                                  | 92  |
| 9.4.2  | Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) .....                                    | 93  |
| 9.4.3  | Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL) .....                                         | 93  |
| 9.4.4  | Nachweis im Grenzzustand der vollständigen Funktionsfähigkeit (OP) .....                           | 93  |
| 10     | Regeln für Türme, Masten und Schornsteine .....                                                    | 94  |
| 10.1   | Anwendungsbereich.....                                                                             | 94  |
| 10.2   | Bemessungsgrundlagen .....                                                                         | 94  |
| 10.3   | Modellbildung und statische Berechnung.....                                                        | 94  |
| 10.3.2 | Statische Berechnung.....                                                                          | 96  |
| 10.3.3 | Verhaltensbeiwerte .....                                                                           | 97  |
| 10.3.4 | Verhaltensbeiwerte für Systeme mit Schwingungsisolierung oder<br>Energiedissipationssystemen ..... | 97  |
| 10.4   | Nachweis in Grenzzuständen .....                                                                   | 97  |
| 10.4.1 | Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) .....                                    | 97  |
| 10.4.2 | Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL) .....                                         | 100 |
| 10.4.3 | Nachweis im Grenzzustand der vollständigen Funktionsfähigkeit (OP) .....                           | 101 |
| 10.5   | Besondere Regeln für Stahlbetonschornsteine.....                                                   | 101 |
| 10.5.1 | Allgemeines .....                                                                                  | 101 |
| 10.5.2 | Bemessung für dissipatives Verhalten .....                                                         | 101 |
| 10.5.3 | Mindestbewehrung (vertikal und horizontal).....                                                    | 102 |
| 10.5.4 | Mindestbewehrung um Öffnungen.....                                                                 | 102 |
| 10.6   | Besondere Regeln für Stahlschornsteine.....                                                        | 102 |
| 10.6.1 | Allgemeines .....                                                                                  | 102 |

|                                                                                                                                                      |                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.6.2                                                                                                                                               | Bemessung für dissipatives Verhalten .....                                                 | 103        |
| 10.6.3                                                                                                                                               | Werkstoffe.....                                                                            | 103        |
| 10.6.4                                                                                                                                               | Verbindungen .....                                                                         | 103        |
| 10.7                                                                                                                                                 | Besondere Regeln für Stahltürme .....                                                      | 103        |
| 10.7.1                                                                                                                                               | Allgemeines .....                                                                          | 103        |
| 10.7.2                                                                                                                                               | Werkstoffe.....                                                                            | 103        |
| 10.7.3                                                                                                                                               | Bemessung für dissipatives Verhalten .....                                                 | 104        |
| 10.7.4                                                                                                                                               | Sonstige Bemessungsregeln .....                                                            | 106        |
| <b>Anhang A (normativ) Tabellen für die Bemessung von Tankbauwerken gegen Erdbeben.....</b>                                                          |                                                                                            | <b>107</b> |
| A.1                                                                                                                                                  | Anwendung dieses normativen Anhangs .....                                                  | 107        |
| A.2                                                                                                                                                  | Tabellen von Parameterwerten.....                                                          | 108        |
| <b>Anhang B (informativ) Auswirkungen von Boden/Bauwerk-Interaktion bei Tankbauwerken.....</b>                                                       |                                                                                            | <b>115</b> |
| B.1                                                                                                                                                  | Anwendung dieses Anhangs.....                                                              | 115        |
| B.2                                                                                                                                                  | Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....                                              | 115        |
| B.3                                                                                                                                                  | Impulsive starre Schwingungsform in horizontaler Richtung .....                            | 115        |
| B.4                                                                                                                                                  | Impulsive starre Schwingungsform in vertikaler Richtung .....                              | 116        |
| B.5                                                                                                                                                  | Impulsive flexible Schwingungsform in horizontaler Richtung.....                           | 117        |
| B.6                                                                                                                                                  | Impulsive flexible Schwingungsform in vertikaler Richtung.....                             | 117        |
| <b>Anhang C (informativ) Allgemeine Betrachtungen zur Bemessung von erdverlegten Rohrleitungen.....</b>                                              |                                                                                            | <b>118</b> |
| C.1                                                                                                                                                  | Anwendung dieses Anhangs.....                                                              | 118        |
| C.2                                                                                                                                                  | Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....                                              | 118        |
| C.3                                                                                                                                                  | Allgemeine Betrachtungen zur Bemessung von erdverlegten Rohrleitungen .....                | 118        |
| <b>Anhang D (informativ) Modellbildung der Boden/Bauwerk-Interaktion von erdverlegten Rohrleitungen.....</b>                                         |                                                                                            | <b>121</b> |
| D.1                                                                                                                                                  | Anwendung dieses Anhangs.....                                                              | 121        |
| D.2                                                                                                                                                  | Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....                                              | 121        |
| D.3                                                                                                                                                  | Eigenschaften von Federelementen .....                                                     | 121        |
| D.4                                                                                                                                                  | Rechnerische Zusammenhänge des Federmodells.....                                           | 122        |
| D.4.1                                                                                                                                                | Allgemeines .....                                                                          | 122        |
| D.4.2                                                                                                                                                | Federmodell in Längsrichtung .....                                                         | 122        |
| D.4.3                                                                                                                                                | Federmodell in horizontaler Querrichtung.....                                              | 123        |
| D.4.4                                                                                                                                                | Federmodell in vertikaler Querrichtung.....                                                | 124        |
| <b>Anhang E (informativ) Bemessungswerte der unterschiedlichen Oberflächenverschiebung an Verwerfungskreuzungen von Rohrleitungen .....</b>          |                                                                                            | <b>126</b> |
| E.1                                                                                                                                                  | Anwendung dieses Anhangs.....                                                              | 126        |
| E.2                                                                                                                                                  | Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....                                              | 126        |
| E.3                                                                                                                                                  | Unterschiedliche Oberflächenverschiebungen an Verwerfungskreuzungen von Rohrleitungen..... | 126        |
| <b>Anhang F (informativ) Anzahl der Freiheitsgrade und Schwingungsformen für die dynamische Berechnung von Türmen, Masten und Schornsteinen.....</b> |                                                                                            | <b>136</b> |
| F.1                                                                                                                                                  | Anwendung dieses Anhangs.....                                                              | 136        |
| F.2                                                                                                                                                  | Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....                                              | 136        |
| F.3                                                                                                                                                  | Modellbildung und Berechnung.....                                                          | 136        |
| <b>Anhang G (informativ) Schornsteine aus Mauerwerk .....</b>                                                                                        |                                                                                            | <b>137</b> |
| G.1                                                                                                                                                  | Anwendung dieses Anhangs.....                                                              | 137        |
| G.2                                                                                                                                                  | Anwendungsbereich und Gültigkeitsbereich.....                                              | 137        |
| G.3                                                                                                                                                  | Modellbildung und Berechnung.....                                                          | 137        |
| G.4                                                                                                                                                  | Bauliche Durchbildung bei der Bemessung.....                                               | 137        |
| G.4.1                                                                                                                                                | Fundamente und Gründungen.....                                                             | 137        |
| G.4.2                                                                                                                                                | Mindest-Vertikalbewehrung .....                                                            | 137        |
| G.4.3                                                                                                                                                | Mindest-Horizontalbewehrung.....                                                           | 138        |

|       |                                    |     |
|-------|------------------------------------|-----|
| G.4.4 | Seismische Mindestverankerung..... | 138 |
| G.4.5 | Auskragende Schornsteine .....     | 138 |
| G.4.6 | Maßänderungen.....                 | 138 |
| G.4.7 | Versatz.....                       | 138 |
| G.4.8 | Wanddicke .....                    | 138 |
|       | Literaturhinweise.....             | 139 |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1998-4:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen formellen Abstimmung vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1998-4:2007 und EN 1998-6:2005 ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

## 0 Einleitung

### 0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*
- EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*
- Neue Teile sind in Erarbeitung, z. B. Eurocode für die Bemessung und Konstruktion von Bauwerken aus Glas.

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

**ANMERKUNG** Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

### 0.2 Einleitung zu EN 1998 (alle Teile)

EN 1998 (alle Teile) legt die Regeln für die Erdbebenbemessung neuer Hoch- und Ingenieurbauten sowie für die Beurteilung und Ertüchtigung bestehender Gebäude, einschließlich geotechnischer Aspekte, sowie für Bauten mit begrenzter Standzeit fest.

**ANMERKUNG** Diese Norm behandelt außerdem den Nachweis von Bauwerken in der Erdbebensituation während der Bauausführung, sofern dies erforderlich ist.

Es sollte beachtet werden, dass für die Bemessung von Bauwerken in Erdbebengebieten die Vorschriften nach EN 1998 zusätzlich zu den maßgebenden Vorschriften nach EN 1990 bis EN 1997 (alle Teile) und EN 1999 (alle Teile) angewendet werden sollten. EN 1998 sollte insbesondere auf Bauwerke der Versagensfolgeklassen CC1, CC2 und CC3, die in EN 1990:2023, 4.3, festgelegt sind, angewendet werden. Bauwerke der Versagensfolgekategorie CC4 werden nicht vollständig durch die Eurocodes abgedeckt; die zuständigen Behörden können aber eine Einhaltung von EN 1998 oder Teilen davon verlangen.

Ein perfekter Schutz gegen Erdbeben (ein Erdbebenrisiko gleich null) ist in der Praxis von Natur aus nicht möglich, insbesondere weil die Kenntnis über die Gefährdung selbst mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet ist. Daher wird im Eurocode 8 die Erdbebeneinwirkung in konventioneller Form dargestellt, deren Amplitude proportional zu den Erdbeben ist, die an einem bestimmten Ort auftreten können, und die für deren Frequenzanteil repräsentativ ist. Diese Darstellung ist keine Vorhersage einer bestimmten seismischen Bewegung, und eine solche Bewegung könnte Anlass für noch schwerwiegendere Auswirkungen als jene der betrachteten Erdbebeneinwirkung sein und damit zu größeren Schäden führen, als sie von den in dieser Norm betrachteten Grenzzuständen beschrieben werden.

Nicht nur die Erdbebeneinwirkung kann nicht vorhergesagt werden, sondern es sollte auch anerkannt werden, dass technische Verfahren keine perfekte Vorhersage treffen, wenn es um die spezifischen Auswirkungen geht, bei denen davon ausgegangen wird, dass die Bauwerke im nichtlinearen Bereich reagieren. Solche Unsicherheiten werden entsprechend dem allgemeinen Rahmen von EN 1990 berücksichtigt, wobei ein Restrisiko besteht, dass ihre Auswirkungen unterschätzt werden.

EN 1998 besteht aus mehreren Teilen

- EN 1998-1-1, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1-1: Grundlagen und Erdbebeneinwirkung*;
- EN 1998-1-2, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1-2: Hochbauten*;
- EN 1998-2, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 2: Brücken*;
- EN 1998-3, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden und Brücken*;
- EN 1998-4, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen, Türme, Maste und Schornsteine*;
- EN 1998-5, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 5: Geotechnische Aspekte, Gründungen, Stütz- und Untertagebauwerke*.

### 0.3 Einleitung zu prEN 1998-4

prEN 1998-4 enthält zusätzlich zu den Anforderungen anderer Eurocodes spezifische Anforderungen an die erdbebensichere Bemessung von neuen oberirdischen und aufgeständerten Silos, oberirdischen, aufgeständerten und unterirdischen Tankbauwerken, oberirdisch verlegten und erdverlegten Rohrleitungssystemen, Türmen, Masten und Schornsteinen sowie an vorstehend genannten Bauwerken angebrachten oder in Industrieanlagen verwendeten nichttragenden Bauteilen.

prEN 1998-4 besteht aus zehn Abschnitten und enthält sieben Anhänge, wobei Anhang A normativ ist und Anhang B, Anhang C, Anhang D, Anhang E, Anhang F sowie Anhang G informativ sind.

## 0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung, die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

## 0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1998-4

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm gestattet, wenn im Rahmen von Anmerkungen eine Wahl explizit angegeben ist. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl von Werten für national festzulegende Parameter (NDP, en: nationally determined parameters).

Die nationale Fassung von prEN 1998-4 kann einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für die Bemessung von Hochbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angegeben, ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in diesem Dokument angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in prEN 1998-4 durch Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

|        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 4.2(2) | 4.2(3) | 4.3(6) | 4.3(7) |
|--------|--------|--------|--------|

Nationale Festlegungen sind in prEN 1998-4 auch durch die Anwendung der folgenden informativen Anhänge gestattet:

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| Anhang B | Anhang C | Anhang D | Anhang E |
| Anhang F | Anhang G |          |          |

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

## 1 Anwendungsbereich

### 1.1 Anwendungsbereich von prEN 1998-4

(1) Dieses Dokument gilt für die Erdbebenbemessung von oberirdischen und aufgeständerten Silos, oberirdischen, aufgeständerten und unterirdischen Tankbauwerken, oberirdisch verlegten und erdverlegten Rohrleitungssystemen, Türmen, Masten und Schornsteinen sowie an vorstehend genannten Bauwerken angebrachten oder in Industrieanlagen verwendeten nichttragenden Bauteilen.

(2) Sofern nicht spezifisch angegeben, gelten EN 1998-1-1:—<sup>2</sup> und EN 1998-5:—<sup>4</sup>.

(3) prEN 1998-4 ist anwendbar in Ergänzung zu den anderen maßgebenden Eurocodes.

**ANMERKUNG** Dieses Dokument enthält ausschließlich jene Vorschriften, die zusätzlich zu den Vorschriften der anderen maßgebenden Eurocodes für die Bemessung neuer Bauwerke entsprechend der Auflistung in (1) in Erdbebengebieten angewendet werden. Diesbezüglich ergänzt prEN 1998-4 die anderen Eurocodes.

### 1.2 Voraussetzungen

(1) Es wird angenommen, dass die Voraussetzungen nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 1.2, angewendet werden.

(2) Es wird vorausgesetzt, dass die Änderungen nach a) und b) bei allen durch prEN 1998-4 abgedeckten Bauwerken weder in der Bauausführungsphase noch während der anschließenden Lebensdauer erfolgen, es sei denn, es liegt eine geeignete Begründung und ein ebensolcher Nachweis vor:

- a) wesentliche Änderungen in den Tragsystemen, Stütztragwerken oder angebrachten nichttragenden Bauteilen nach 1.1(1);
- b) wesentliche Änderungen der Massen oder Massenverteilung. Darin eingeschlossen sind insbesondere Änderungen in der Herstellung, wie z. B. wesentliche Änderungen der Fülllasten, Füllzustände und nichttragenden Bauteile.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

**ANMERKUNG** In den Literaturhinweisen sind weitere zitierte Dokumente aufgelistet, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze), Erlaubnisse (d. h. durch „darf“-Sätze), Möglichkeiten (d. h. durch „kann“-Sätze) sowie in Anmerkungen in Bezug genommen werden.

EN 1990:2023, *Eurocode — Grundlagen der Bauwerksplanung*

EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Bauwerke — Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen — Windlasten*

---

<sup>1</sup> In Erarbeitung.

EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1-1: Grundlagen und Erdbebeneinwirkung*

EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1-2: Hochbauten*

EN 1998-5:—<sup>4</sup>, *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 5: Geotechnische Aspekte, Gründungen, Stütz- und Untertagebauwerke*

ISO 80000 (alle Teile), *Quantities and units*

## 3 Begriffe und Symbole

### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, EN 1998-5:—<sup>4</sup> und die folgenden Begriffe.

#### 3.1.1

##### **nichttragendes Bauteil**

architektonische(s), mechanische(s) oder elektrische(s) Bauteil, System und technische Anlagenkomponente, wie z. B. Behälter, Rohrleitung, Pumpe, Förderband und viele andere anlagenspezifische Komponenten, welche an die Bauwerke nach 1.2(1) angeschlossen sind oder davon getragen werden. Ein nichttragendes Bauteil wird bei der Erdbebenbemessung nicht als lastabtragendes Bauteil betrachtet, ist jedoch für den sicheren Betrieb der Einrichtung erforderlich und kann im Erdbebenfall zu einem Risiko für Personen oder für das Bauwerk führen

#### 3.1.2

##### **Schwimmdach**

in der Höhe einstellbares Dach von Tankbauwerken. Das Dach steigt und fällt mit dem Füllstand im Tankbauwerk

#### 3.1.3

##### **Freibord**

verbleibender Raum zwischen der Flüssigkeitsoberfläche und der Unterseite des Tankdachs oder die Höhe zwischen dem Überlaufrohr und der Unterseite des Tankdachs

#### 3.1.4

##### **Gitterfachwerk**

Bauwerk, in dem die Anschlüsse nicht für die Aufnahme des plastischen Moments der angeschlossenen Bauteile ausgelegt sind

#### 3.1.5

##### **Schornstein aus Mauerwerk**

aus Mauersteinen und Mörtel errichteter Industrieschornstein

---

<sup>2</sup> In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: prEN 1998-1-1:2022.

<sup>3</sup> In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: prEN 1998-1-2:2023.

<sup>4</sup> In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: prEN 1998-5:2022.

### 3.1.6

#### **Silobatterie**

Gruppe von Silos aus miteinander verbundenen einzelnen oder alleinstehenden Zellen, worin unterschiedliche Arten von ähnlichen Feststoffen getrennt gelagert werden können

### 3.1.7

#### **tangentiale Maste**

Freileitungsmaste mit geraden Leitungen oder mit solchen, die im Grundriss eine Richtungsänderung um nicht mehr als  $30^\circ$  aufweisen. Sie nehmen Vertikallasten, die Querbelastrung infolge der Umlenkung des Leitungszuges, Längskräfte infolge der ungleichen Spannweiten und Kräfte, die aus der Montage der Leitungen oder aus einem Leitungsbruch herrühren, auf

### 3.1.8

#### **teleskopartige Verbindungen**

flanschlose Verbindungen von Rohrteilen, mit dem inneren Durchmesser des einen Teils gleich dem äußeren Durchmesser des anderen

### 3.1.9

#### **Freileitungsmaste**

Mast zum Tragen elektrischer Leitungen hoher oder niedriger Nennspannung

## 3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole und Abkürzungen nach EN 1990, EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, EN 1998-5:—<sup>4</sup>.

Für die werkstoffbezogenen Symbole sowie für Symbole, die nicht speziell in Zusammenhang mit der Bemessungssituation mit Erdbeben stehen, gelten die Vorschriften der maßgebenden Eurocodes.

Darüber hinaus werden weitere Symbole und Abkürzungen, die in Verbindung mit der Bemessungssituation mit Erdbeben verwendet werden, zur leichteren Anwendung dieses Dokuments an der Stelle, an der sie auftreten, definiert. Die in diesem Dokument am häufigsten vorkommenden Symbole sind jedoch in 3.2.1 aufgeführt und definiert, und zusätzliche Abkürzungen sind in 3.2.2 angegeben.

### 3.2.1 Symbole

#### 3.2.1.1 In Abschnitt 5 verwendete Symbole

##### *Lateinische Großbuchstaben*

|          |                                                                     |
|----------|---------------------------------------------------------------------|
| $E$      | Elastizitätsmodul                                                   |
| $F_b$    | Gesamt-Basis Schubkraft                                             |
| $F_{bv}$ | vertikale Reaktionskraft am Siloboden                               |
| $H_f$    | größter Bemessungswert des Füllstands vom Siloinhalt                |
| $M_b$    | Umsturzmoment                                                       |
| $R$      | Radius eines/einer zylindrischen Silos, Silozelle oder Tankbauwerks |

##### *Lateinische Kleinbuchstaben*

|       |                                                                                        |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| $b$   | horizontales Maß eines rechteckigen Silos parallel zur horizontalen Erdbebeneinwirkung |
| $d$   | inneres Maß eines Silos parallel zur horizontalen Erdbebeneinwirkung                   |
| $m_s$ | Gesamtmasse des Silos und seines Inhalts                                               |

|           |                                                                                                                                                                    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $p_0$     | hydrostatischer Normaldruck                                                                                                                                        |
| $x_S$     | vertikale Koordinate eines Punktes auf einer Silowand bezogen auf einen flachen Siloboden oder auf den Scheitelpunkt eines kegel- oder pyramidenförmigen Trichters |
| $x, y, z$ | Koordinaten                                                                                                                                                        |

#### Griechische Großbuchstaben

|                     |                                                                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $\Delta_{ph,s}$     | zusätzlicher Normaldruck auf die Silowand                            |
| $\Delta_{ph,so}$    | Referenznormaldruck auf Silowände                                    |
| $\Delta_{ph,s,inc}$ | erhöhter zusätzlicher Normaldruck auf die druckbeanspruchte Silowand |

#### Griechische Kleinbuchstaben

|              |                                                                                                                                                                       |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$     | Verhältnis der Antwortbeschleunigung eines Silos in der Betrachtungsebene $z$ zur Schwerkraftbeschleunigung                                                           |
| $\beta$      | von der Vertikalen gemessener Neigungswinkel der Trichterwand in einem Silo oder steilster Neigungswinkel zur Vertikalen der Wand in einem pyramidenförmigen Trichter |
| $\beta_{sc}$ | Skalierungsfaktor für Drücke auf vertikale Silowände, Silotrichter und Siloböden                                                                                      |
| $\theta$     | Winkel ( $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$ ) für die geometrische Beschreibung zylindrischer Silos und Tankbauwerke                                                   |
| $\rho_u$     | oberer charakteristischer Wert der Schüttdichte des jeweiligen Schüttguts                                                                                             |

### 3.2.1.2 In Abschnitt 6 verwendete Symbole

#### Lateinische Großbuchstaben

|               |                                                                                                |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $B$           | halbe Breite rechteckiger Tankbauwerke                                                         |
| $D$           | Durchmesser zylindrischer Tankbauwerke                                                         |
| $F_{b,c}$     | Höchstwert der konvektiven Basisschubkraft                                                     |
| $F_{b,inf,h}$ | horizontale Basisschubkraft infolge von Auswirkungen der Massenträgheit flexibler Tankbauwerke |
| $F_{b,inf,v}$ | vertikale Reaktionskraft infolge von Auswirkungen der Massenträgheit flexibler Tankbauwerke    |
| $F_{b,inr,h}$ | horizontale Basisschubkraft infolge von Auswirkungen der Massenträgheit starrer Tankbauwerke   |
| $F_{b,inr,v}$ | vertikale Reaktionskraft infolge von Auswirkungen der Massenträgheit starrer Tankbauwerke      |
| $F_{b,if,h}$  | impulsive flexible horizontale Basisschubkraft                                                 |
| $F_{b,if,v}$  | impulsive flexible vertikale Reaktionskraft                                                    |
| $F_{b,ir,h}$  | impulsive starre horizontale Basisschubkraft                                                   |
| $F_{b,ir,v}$  | impulsive starre vertikale Reaktionskraft                                                      |
| $F_{bv,res}$  | resultierende vertikale Reaktionskraft                                                         |
| $F_{bh,res}$  | resultierende horizontale Reaktionskraft                                                       |
| $F_{b,c,1}$   | konvektive Basisschubkraft bei aufgeständerten Tankbauwerken für die 1. Eigenform              |
| $F_{b,c,2}$   | konvektive Basisschubkraft bei aufgeständerten Tankbauwerken für die 2. Eigenform              |
| $F_{b,ir,1}$  | impulsive starre Basisschubkraft bei aufgeständerten Tankbauwerken für die 1. Eigenform        |
| $F_{b,ir,2}$  | impulsive starre Basisschubkraft bei aufgeständerten Tankbauwerken für die 2. Eigenform        |
| $F_h$         | Korrekturbeiwert für die impulsive flexible Zeit in horizontaler Richtung                      |

|              |                                                                                                                          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F_v$        | Korrekturbeiwert für die impulsive flexible Zeit in vertikaler Richtung                                                  |
| $H$          | Füllhöhe von Tankbauwerken                                                                                               |
| $H_T$        | Gesamthöhe eines vertikalen zylindrischen Tankbauwerks                                                                   |
| $I_{if,h}$   | Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung der Auswirkungen von Massenträgheit flexibler Tankbauwerke in horizontaler Richtung |
| $I_{if,v}$   | Erhöhungsfaktor zur Berücksichtigung der Auswirkungen von Massenträgheit flexibler Tankbauwerke in vertikaler Richtung   |
| $L$          | halbe Länge eines rechteckigen Tankbauwerks                                                                              |
| $M_{G,c}$    | konvektives Gesamtmoment am Boden mit Bodendruck                                                                         |
| $M_{G,if,h}$ | impulsives flexibles Moment unter der Bodenplatte                                                                        |
| $M_{G,ir,h}$ | impulsives starres Moment unter der Bodenplatte                                                                          |
| $M_{G,res}$  | resultierendes Umsturzmoment unter der Bodenplatte                                                                       |
| $M_R$        | Umsturzmoment bei unverankerten Tankbauwerken                                                                            |
| $M_{W,c}$    | konvektives Moment unmittelbar oberhalb der Bodenplatte                                                                  |
| $M_{W,if,h}$ | impulsives flexibles Moment unmittelbar oberhalb der Bodenplatte                                                         |
| $M_{W,ir,h}$ | impulsives starres Moment unmittelbar oberhalb der Bodenplatte                                                           |
| $M_{W,res}$  | resultierendes Umsturzmoment oberhalb der Bodenplatte                                                                    |
| $S_{ev}$     | Geschwindigkeitsantwortspektrum                                                                                          |
| $T_{con}$    | erste Eigenschwingungsperiode der konvektiven Schwingungsform                                                            |
| $T_{if,h}$   | impulsive flexible Schwingungsperiode in horizontaler Richtung                                                           |
| $T_{if,v}$   | impulsive flexible vertikale Schwingungsperiode in vertikaler Richtung                                                   |
| $T_{ir,h}$   | erste Eigenschwingungsperiode der impulsiven Antwort in horizontaler Richtung                                            |
| $T_{ir,v}$   | erste Eigenschwingungsperiode der impulsiven Antwort in vertikaler Richtung                                              |

*Lateinische Kleinbuchstaben*

|              |                                                                  |
|--------------|------------------------------------------------------------------|
| $d_t$        | Wanddurchbiegung rechteckiger Tankbauwerke                       |
| $d_{max}$    | absoluter Höchstwert der vertikalen Wellenhöhe                   |
| $h_{ir}$     | impulsive starre Hebelarme ohne Bodendruck                       |
| $h_{if}$     | impulsive flexible Hebelarme ohne Bodendruck                     |
| $h_c$        | konvektive Hebelarme ohne Bodendruck                             |
| $h'_{ir}$    | impulsive starre Hebelarme ohne Bodendruck                       |
| $h'_{if}$    | impulsive flexible Hebelarme ohne Bodendruck                     |
| $h'_c$       | konvektive Hebelarme ohne Bodendruck                             |
| $k_c$        | konvektive Federsteifigkeit                                      |
| $k_S$        | Federsteifigkeit für Stütztragwerke aufgeständerter Tankbauwerke |
| $k_\theta^*$ | Koeffizient für unverankerte Tankbauwerke                        |
| $k_{sp}$     | Steifigkeit von Stütztragwerken kugelförmiger Tankbauwerke       |
| $l_{up}$     | Auftriebslänge eines rechteckigen Tankbauwerks                   |

|                  |                                                                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $m_l$            | Gesamtmasse der Flüssigkeit                                                                        |
| $m_{ir}$         | äquivalente impulsive Masse                                                                        |
| $m_c$            | äquivalente konvektive Masse                                                                       |
| $m_{if}$         | flexible impulsive Masse                                                                           |
| $m_r$            | Masse des Dachs                                                                                    |
| $m_w$            | Masse der Wandung                                                                                  |
| $p_b$            | hydrostatischer Normaldruck auf der Auftriebslänge unverankerter Tankbauwerke                      |
| $p_c$            | konvektive Druckkomponente                                                                         |
| $p_{if,h}$       | impulsive flexible Druckfunktion für horizontale Erdbebeneinwirkungen                              |
| $p_{if,v}$       | impulsive flexible Druckfunktion für vertikale Erdbebeneinwirkungen                                |
| $p_{ir,v}$       | impulsive starre Druckfunktion für vertikale Erdbebeneinwirkungen                                  |
| $p_{ir,h}$       | impulsive starre Druckfunktion auf der Tankwand für horizontale Erdbebeneinwirkungen               |
| $p_w$            | gleichmäßiger Druck auf die Tankwand entsprechend Trägheitskräften                                 |
| $p_{wif}$        | gleichmäßig verteilte Last bei impulsiver flexibler Schwingungsform von rechteckigen Tankbauwerken |
| $p_{v,res}$      | resultierende vertikale Druckkomponente                                                            |
| $p_{h,res}$      | resultierende horizontale Druckkomponente                                                          |
| $q_{ir}$         | dimensionslose impulsive starre Druckfunktion                                                      |
| $q_c$            | dimensionslose konvektive Druckfunktion                                                            |
| $s_w$            | gleichmäßige Dicke der Tankwand oder Mittelwert im Fall von gestufter Wanddicke                    |
| $s_p$            | Dicke der Bodenplatte bei Tankbauwerken                                                            |
| $\bar{y}_{c,1}$  | größte Verschiebung der konvektiven Masse für die 1. Eigenform bei aufgeständerten Silos           |
| $\bar{y}_{c,2}$  | größte Verschiebung der konvektiven Masse für die 2. Eigenform bei aufgeständerten Silos           |
| $\bar{y}_{ir,1}$ | größte Verschiebung der impulsiven starren Masse für die 1. Eigenform bei aufgeständerten Silos    |
| $\bar{y}_{ir,2}$ | größte Verschiebung der impulsiven starren Masse für die 2. Eigenform bei aufgeständerten Silos    |

#### Griechische Großbuchstaben

|                  |                                                                                  |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $\Gamma_{ir,h}$  | Anteilsfaktor der impulsiven starren Druckkomponente                             |
| $\Gamma_{ir,v}$  | Anteilsfaktor des impulsiven starren Drucks in vertikaler Richtung               |
| $\Delta m$       | Eigengewicht der Stütztragwerke von aufgeständerten Tankbauwerken                |
| $\Delta m_{ss}$  | mitwirkende Masse des Stütztragwerks bei kugelförmigen Tankbauwerken             |
| $\Psi_1, \Psi_2$ | Konstanten für die Berechnung der Verschiebungen für aufgeständerte Tankbauwerke |

#### Griechische Kleinbuchstaben

|            |                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------|
| $\eta$     | festgelegtes Gewicht der Flüssigkeit                           |
| $\zeta$    | dimensionslose Höhe bei vertikalen zylindrischen Tankbauwerken |
| $\nu$      | Poissonzahl des Tankwerkstoffs                                 |
| $\theta^*$ | Winkel für unverankerte Tankbauwerke                           |

|                  |                                                                                           |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mu$            | dimensionsloser Parameter für unverankerte Tankbauwerke                                   |
| $\xi_T$          | dimensionsloser Radius bei vertikalen zylindrischen Tankbauwerken                         |
| $\rho_L$         | Dichte der Flüssigkeit                                                                    |
| $\rho_{sw}$      | Dichte der Tankwand                                                                       |
| $\sigma_{pu}$    | zusätzliche Membranspannungen in der Bodenplatte unverankerter Tankbauwerke               |
| $\varphi_n$      | $n$ -Eigenformen eines aufgeständerten Tankbauwerks                                       |
| $\varphi_{1,an}$ | Wert der Grundeigenform auf Befestigungshöhe des nichttragenden Bauteils am Stütztragwerk |
| $\omega_{ir}$    | Kreisfrequenz der impulsiven starren Eigenform für kugelförmige Tankbauwerke              |

### 3.2.1.3 In Abschnitt 7 verwendete Symbole

#### *Lateinische Kleinbuchstaben*

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| $r_p$ | Radius der Rohrleitung      |
| $t_p$ | Wanddicke von Rohrleitungen |

### 3.2.1.4 In Abschnitt 8 verwendete Symbole

#### *Lateinische Großbuchstaben*

|            |                                                                               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $D_{max}$  | größter Außendurchmesser der Rohrleitung nach deren Ovalisierung              |
| $D_{min}$  | kleinster Außendurchmesser der Rohrleitung nach deren Ovalisierung            |
| $D_{mean}$ | mittlerer Außendurchmesser der Rohrleitung vor Ovalisierung                   |
| $D_p$      | mittlerer Durchmesser der Rohrleitung                                         |
| $D_{op}$   | Außendurchmesser der Rohrleitung                                              |
| $L_A$      | wirksame unverankerte Länge zwischen Verwerfungsverlauf und Verankerungspunkt |
| $L_{em}$   | Einbindetiefe der Rohrleitung                                                 |
| $L_{PGD}$  | Länge des Bereichs ständiger Baugrundbewegung                                 |
| $O_v$      | Ovalisierungswert der Rohrleitung                                             |
| $V_{app}$  | scheinbare Scherwellengeschwindigkeit der Welle entlang einer Rohrleitung     |
| $V_{BU}$   | Auftriebskraft je Längeneinheit der Rohrleitung                               |
| $W_{PGD}$  | Breite des Bereichs ständiger Baugrundbewegung                                |

#### *Lateinische Kleinbuchstaben*

|          |                                   |
|----------|-----------------------------------|
| $d_w$    | Wellenamplitude                   |
| $m_{an}$ | Masse des nichttragenden Bauteils |
| $u$      | Bodenbewegung                     |
| $x'$     | Richtung der Wellenausbreitung    |

#### *Griechische Großbuchstaben*

|            |                                                                          |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta n$ | Verwerfungsbewegung entlang der Verwerfungsebene in senkrechter Richtung |
| $\Delta s$ | Verwerfungsbewegung entlang der Verwerfungsebene in senkrechter Richtung |
| $\Delta x$ | Verwerfungsbewegung in Längsrichtung der Rohrleitung                     |

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| $\Delta y$ | Verwerfungsbewegung in Querrichtung der Rohrleitung |
| $\Delta z$ | Verwerfungsbewegung vertikal zur Rohrleitung        |
| $\chi^p$   | größte Krümmung der Rohrleitung                     |

*Griechische Kleinbuchstaben*

|                         |                                                                                                                           |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha_{fv}$           | Neigungswinkel der Verwerfung                                                                                             |
| $\beta_{fh}$            | Kreuzungswinkel von Verwerfung und Rohrleitung in horizontaler Ebene                                                      |
| $\varepsilon_{a,max}^p$ | größte Längsdehnung in der Rohrleitung infolge Wellenausbreitung                                                          |
| $\varepsilon_a^f$       | mittlere Längsdehnung in der Rohrleitung infolge Verwerfungsbewegung                                                      |
| $\varepsilon_b^p$       | kleinste/größte Biegedehnung in der Rohrleitung                                                                           |
| $\varepsilon_p$         | plastische Zugdehnung der Rohrleitung                                                                                     |
| $\varepsilon_y$         | Bruchdehnung der Rohrleitung                                                                                              |
| $\gamma_c$              | Wichte des Rohrleitungsinhalts                                                                                            |
| $\gamma_p$              | Wichte des Rohrleitungswerkstoffs                                                                                         |
| $\gamma_s$              | Gesamtwichte des Bodens                                                                                                   |
| $\delta_{PGD}^t$        | größte Amplitude der ständigen Baugrundbewegung in Querrichtung zur Rohrleitung                                           |
| $\delta_{PGD}^a$        | größte Amplitude der ständigen Baugrundbewegung in Längsrichtung zur Rohrleitung                                          |
| $\lambda_a$             | scheinbare Wellenlänge der beherrschenden seismischen Welle an der Baugrundoberfläche über einer erdverlegten Rohrleitung |
| $\theta_w$              | Winkel zwischen der Wellenausbreitungsrichtung und der Rohrleitungsachse                                                  |

**3.2.1.5 In Abschnitt 9 verwendete Symbole**

*Lateinische Großbuchstaben*

|            |                                                                                                                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $AMP$      | Verstärkungsfaktor für die Beschleunigung nichttragender Bauteile                                                    |
| $F_{an}$   | horizontale seismische Krafteinwirkung auf das nichttragende Bauteil                                                 |
| $S_{an}$   | Wert des horizontalen Etagenbeschleunigungsspektrums von nichttragenden Bauteilen                                    |
| $S_{ep,1}$ | elastische Antwortspektrumbeschleunigung bei der Grundswingungsform des Stütztragwerks eines nichttragenden Bauteils |
| $T_{p1}$   | Periode der Grundswingungsform des Stütztragwerks eines nichttragenden Bauteils                                      |

*Lateinische Kleinbuchstaben*

|           |                                                                                                        |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $q'_{an}$ | Verhaltensbeiwert des nichttragenden Bauteils                                                          |
| $q'_D$    | perioden- und duktilitätsabhängiger Verhaltensbeiwert des Stütztragwerks eines nichttragenden Bauteils |

*Griechische Kleinbuchstaben*

|               |                                                                  |
|---------------|------------------------------------------------------------------|
| $\gamma_{an}$ | Leistungsbeiwert des nichttragenden Bauteils                     |
| $\mu_D$       | Duktilität des Verankerungssystems eines nichttragenden Bauteils |

|             |                                                                                      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $\xi_a$     | Dämpfungs Wert für nichttragende Bauteile                                            |
| $\xi_{p,1}$ | Dämpfung der ersten Schwingungsform des Stütztragwerks eines nichttragenden Bauteils |

### 3.2.1.6 In Abschnitt 10 verwendete Symbole

#### *Lateinische Großbuchstaben*

|           |                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| $E_{cbl}$ | Elastizitätsmodul des Kabelwerkstoffs                        |
| $E_{eq}$  | äquivalenter Elastizitätsmodul                               |
| $M_o$     | Umsturzmoment auf der Grundebene nach Theorie erster Ordnung |
| $P$       | Normalkraft                                                  |
| $PFA$     | Spitzenwert der Etagenbeschleunigung                         |

#### *Lateinische Kleinbuchstaben*

|             |                                                                                              |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_r$       | Relativdurchbiegung zwischen unterschiedlichen Auflagerpunkten des Innenrohrs                |
| $e_L$       | horizontale Lastausmitte                                                                     |
| $k_r$       | Modifikationsbeiwert des Verhaltensbeiwertes $q$ zur Berücksichtigung von Unregelmäßigkeiten |
| $l_{cbl,h}$ | horizontale projizierte Kabellänge                                                           |

#### *Griechische Großbuchstaben*

|            |                                                                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $\Gamma_1$ | Anteilsfaktor der ersten Schwingungsform in betrachteter Richtung       |
| $\Delta$   | Verschiebung entsprechend dem Moment                                    |
| $\Delta H$ | Vertikalabstand von benachbarten Podesten zur Abstützung des Innenrohrs |

#### *Griechische Kleinbuchstaben*

|                |                                                                                                                            |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\beta_w$      | Wickelwinkel des Einzelstrangs                                                                                             |
| $\gamma_{cbl}$ | Wichte des Kabels, einschließlich des Gewichts von Eislasten auf dem Kabel                                                 |
| $\delta M$     | zusätzliches Umsturzmoment auf der Grundfläche infolge einer Auswirkung nach Theorie zweiter Ordnung ( $P\text{-}\Delta$ ) |
| $\lambda_s$    | Schlankheit tragender Bauteile                                                                                             |
| $\sigma_{cbl}$ | Zugspannung im Kabel                                                                                                       |

### 3.2.1.7 In Anhang A verwendete Symbole

#### *Lateinische Großbuchstaben*

|              |                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------|
| $C_c$        | dimensionslose konvektive Druckfunktion                              |
| $C_{F,c}$    | Koeffizient der konvektiven Basisschubkraft                          |
| $C_{F,if,h}$ | Koeffizient der dimensionslosen impulsiven flexiblen Basisschubkraft |
| $C_{F,ir,h}$ | Koeffizient der impulsiven starren Basisschubkraft                   |
| $C_{if,h}$   | dimensionslose impulsive flexible Druckfunktion                      |
| $C_{ir,h}$   | dimensionslose impulsive starre Druckfunktion                        |
| $C_{if,v}$   | dimensionslose impulsive flexible Druckfunktion                      |

|               |                                                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $C_{M,c}$     | Koeffizient des konvektiven Umsturzmoments                                  |
| $C_{M,if,h}$  | Koeffizient des impulsiven flexiblen Umsturzmoments                         |
| $C_{M,ir,h}$  | Koeffizient des impulsiven starren Umsturzmoments                           |
| $C_{MW,c}$    | Koeffizient des konvektiven Umsturzmoments                                  |
| $C_{MW,if,h}$ | Koeffizient des impulsiven flexiblen Umsturzmoments                         |
| $C_{MW,ir,h}$ | Koeffizient des impulsiven starren Umsturzmoments                           |
| $P_h$         | dimensionsloser Koeffizient der Schwingungsperiode in horizontaler Richtung |
| $P_v$         | dimensionsloser Koeffizient der Schwingungsperiode in vertikaler Richtung   |

*Griechische Großbuchstaben*

|                 |                                                                     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------|
| $\Gamma_c$      | Anteilsfaktor der konvektiven Druckkomponente                       |
| $\Gamma_{if,h}$ | Anteilsfaktor der impulsiven flexiblen horizontalen Schwingungsform |
| $\Gamma_{if,v}$ | Anteilsfaktor der impulsiven flexiblen vertikalen Schwingungsform   |

*Griechische Kleinbuchstaben*

|           |                                                                          |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| $\beta_c$ | Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der Auswirkung infolge Einspannung |
| $\gamma$  | Verhältnis von Füllhöhe zu Tankradius                                    |

**3.2.1.8 In Anhang B verwendete Symbole**

*Lateinische Großbuchstaben*

|              |                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $G_s$        | Schubmodul des Bodens                                                                           |
| $K_{if}$     | Steifigkeit flexibler Tankbauwerke in Zusammenhang mit der impulsiven flexiblen Schwingungsform |
| $K_x$        | horizontale Steifigkeit der Gründung                                                            |
| $K_\theta$   | Rotationssteifigkeit der Gründung                                                               |
| $K_v$        | vertikale Steifigkeit der Gründung                                                              |
| $R_b$        | Radius der Gründung                                                                             |
| $T_{if,h}^*$ | impulsive flexible Schwingungsperiode in horizontaler Richtung mit Boden/Bauwerk-Interaktion    |
| $T_{if,v}^*$ | impulsive flexible Schwingungsperiode in vertikaler Richtung mit Boden/Bauwerk-Interaktion      |
| $T_{ir,h}^*$ | impulsive starre Schwingungsperiode in horizontaler Richtung mit Boden/Bauwerk-Interaktion      |
| $T_{ir,v}^*$ | impulsive starre Schwingungsperiode in vertikaler Richtung mit Boden/Bauwerk-Interaktion        |

*Lateinische Kleinbuchstaben*

|                 |                                                                                            |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| $m_b$           | Masse der Bodenplatte                                                                      |
| $a, a_2, a_3$   | numerische Koeffizienten für den Modifizierungsfaktor der dynamischen Rotationssteifigkeit |
| $b_1, b_2, b_3$ | numerische Koeffizienten für Modifizierungsfaktor der dynamischen vertikalen Steifigkeit   |

*Griechische Kleinbuchstaben*

|                 |                                                                                           |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha_v$      | dimensionsloser Koeffizient für die Rotationssteifigkeit starrer kreisförmiger Fundamente |
| $\alpha_x$      | dimensionsloser Modifizierungsfaktor für die horizontale Steifigkeit                      |
| $\alpha_\theta$ | dimensionsloser Modifizierungsfaktor für die Rotationssteifigkeit                         |
| $\nu_s$         | Poissonzahl des Bodens                                                                    |
| $\rho_s$        | Dichte der Bodenmasse                                                                     |

**3.2.1.9 In Anhang D verwendete Symbole**

*Lateinische Großbuchstaben*

|                       |                                                                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F_{\text{pipeline}}$ | durch die Feder auf die Rohrleitung aufgebrachte Kraft                                                      |
| $F_{\text{ult}}$      | auf die Rohrleitung aufgebrachte Bruchkraft                                                                 |
| $H_p$                 | Tiefe von der Bodenoberfläche bis zur Mittellinie der Rohrleitung                                           |
| $K_0$                 | Koeffizient des Erdruhedrucks                                                                               |
| $N_{\text{ch}}$       | dimensionsloser Beiwert der horizontalen Tragfähigkeit für feinkörnigen Boden                               |
| $N_{\text{qh}}$       | dimensionsloser Beiwert der horizontalen Tragfähigkeit für grobkörnigen Boden                               |
| $N_{\text{cv}}$       | dimensionsloser Beiwert des vertikalen Auftriebs für feinkörnigen Boden                                     |
| $N_{\text{qv}}$       | dimensionsloser Beiwert des vertikalen Auftriebs für grobkörnigen Boden                                     |
| $N_c$                 | dimensionsloser Beiwert der vertikalen Tragfähigkeit für kohäsiven Boden                                    |
| $N_q$                 | dimensionsloser Beiwert der Tragfähigkeit für passiven Erddruck infolge des Eigengewichts des Bodens        |
| $N_\gamma$            | dimensionsloser Beiwert der Tragfähigkeit für passiven Erddruck infolge der Abwärtsbewegung der Rohrleitung |
| $P_u$                 | Querbruchkraft je Längeneinheit für das Rohrleitung/Boden-Interaktionsmodell                                |
| $Q_u$                 | Querbruchkraft (vertikaler Auftrieb) je Längeneinheit                                                       |
| $Q_d$                 | Querbruchkraft (vertikaler Abtrieb) je Längeneinheit                                                        |
| $T_u$                 | Bruchkraft je Längeneinheit an der Boden/Rohrleitung-Grenzfläche                                            |
| $V_s$                 | Scherwellengeschwindigkeit des Bodens                                                                       |

*Lateinische Kleinbuchstaben*

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| $c'$                | Bodenkohäsion                                |
| $d_{\text{ult}}$    | Bruchverschiebung                            |
| $f_p$               | von der Rohrbeschichtung abhängiger Beiwert  |
| $x_{s,\text{disp}}$ | auf die Bodenfeder aufgebrachte Verschiebung |

*Griechische Großbuchstaben*

|                |                                                                                             |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta_{T_u}$ | Relativverschiebung bei Bruch in Längsrichtung für das Rohrleitung/Boden-Interaktionsmodell |
| $\Delta_{P_u}$ | Relativverschiebung bei Bruch in Querrichtung für das Rohrleitung/Boden-Interaktionsmodell  |

|                |                                                                                                                  |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta_{Q_u}$ | Relativverschiebung bei Bruch in Querrichtung (vertikaler Auftrieb) für das Rohrleitung/Boden-Interaktionsmodell |
| $\Delta_{Q_d}$ | Relativverschiebung bei Bruch in Querrichtung (vertikaler Abtrieb) für das Rohrleitung/Boden-Interaktionsmodell  |

*Griechische Kleinbuchstaben*

|               |                                                |
|---------------|------------------------------------------------|
| $\alpha^{sp}$ | Boden/Rohrleitung-Adhäsionsfaktor              |
| $\gamma'$     | wirksame Wichte des Bodens                     |
| $\gamma_w$    | Wichte des Wassers                             |
| $\delta_{pf}$ | Reibungswinkel zwischen Boden und Rohr         |
| $\varphi$     | innerer Reibungswinkel des Bodens, in Grad (°) |

**3.2.1.10 In Anhang E verwendete Symbole**

*Lateinische Großbuchstaben*

|       |                                                                                                                                             |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_F$ | Vertrauensfaktor für die Wiederkehrrate der Verwerfung                                                                                      |
| $L_F$ | Verwerfungslänge                                                                                                                            |
| $X_L$ | Verhältnis zwischen dem Abstand des Kreuzungspunkts von Rohrleitung/Verwerfung zum nächstgelegenen Verwerfungsende und der Verwerfungslänge |

*Lateinische Kleinbuchstaben*

|                   |                                                                                                      |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_0, \dots, a_8$ | von $\Delta_F$ und der Wiederkehrrate abhängige Koeffizienten                                        |
| $f_L$             | von der Wiederkehrrate unabhängige Funktion der Eigenschaften von Verwerfung und Verwerfungskreuzung |
| $p_1$ bis $p_7$   | Koeffizienten für die Wiederkehrrate                                                                 |

*Griechische Großbuchstaben*

|                 |                                                                                      |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta_F$      | unterschiedliche Verwerfungsverschiebung                                             |
| $\Delta_{Fcap}$ | ein deterministischer oberer Grenzwert der unterschiedlichen Verwerfungsverschiebung |

*Griechische Kleinbuchstaben*

|          |                                           |
|----------|-------------------------------------------|
| $a_{CF}$ | annähernder Schätzwert der Wiederkehrrate |
| $v_F$    | Wiederkehrrate der Verwerfung             |

**3.2.2 Abkürzungen**

|      |                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------|
| GFRP | glasfaserverstärkter Kunststoff (en: glass fibre-reinforced plastic)    |
| HDPE | Polyethylen hoher Dichte (en: high density polyethylene)                |
| NDP  | national festzulegender Parameter (en: nationally determined parameter) |
| PE   | Polyethylen (en: polyethylene)                                          |
| G    | Massenmittelpunkt (en: centre of mass)                                  |
| C    | Steifigkeitsmittelpunkt (en: centre of stiffness)                       |
| RL   | starrer Verbinder (en: rigid link)                                      |

### 3.3 SI-Einheiten

SI-Einheiten in Übereinstimmung mit ISO 80000 müssen verwendet werden.

Für Berechnungen sollten die folgenden Einheiten verwendet werden, sofern zutreffend:

|                                |                                                                                  |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| — Kräfte und Lasten:           | kN, kN/m, kN/m <sup>2</sup>                                                      |
| — Länge, Verschiebung:         | m, mm                                                                            |
| — Masse:                       | kg/m <sup>3</sup> , t/m <sup>3</sup>                                             |
| — Masse:                       | kg, t                                                                            |
| — Wichte:                      | kN/m <sup>3</sup>                                                                |
| — Spannungen und Festigkeiten: | Pa (= N/m <sup>2</sup> ), kPa (= kN/m <sup>2</sup> ), MPa (= MN/m <sup>2</sup> ) |
| — Momente (Biegemoment usw.):  | kNm                                                                              |
| — Beschleunigung:              | m/s <sup>2</sup>                                                                 |

## 4 Bemessungsgrundlagen

### 4.1 Leistungsanforderungen

(1) Die in dieser Norm behandelten Bauwerke müssen so bemessen werden, dass die unter a) bis f) angegebenen Ziele mit einem angemessenen Zuverlässigkeitsniveau erreicht werden:

- a) Schutz menschlichen Lebens und persönlicher Unversehrtheit;
- b) Erhalt der Funktionsfähigkeit von Versorgungsleitungssystemen, die für den Schutz der Öffentlichkeit wichtig sind;
- c) Umweltschutz;
- d) Verhinderung von Schäden an angeschlossenen Anlagenkomponenten, benachbarten Hochbauten und angrenzenden Einrichtungen zur Vermeidung kaskadierender Auswirkungen;
- e) Schadensbegrenzung zur Aufrechterhaltung der vollständigen oder eingeschränkten Funktionsfähigkeit;
- f) Minimierung ökonomischer und gesellschaftlicher Versagensfolgen.

(2) Für die Erfüllung der Leistungsanforderungen nach (1) sollte nachgewiesen werden, dass Bauwerke so bemessen sind, dass die festgelegten Grenzzustände für die in 1.1(1) aufgeführten Bauwerke unter gegebenen Erdbebeneinwirkungen nicht überschritten werden, wobei die Bestimmung unter Berücksichtigung der Versagensfolgeklasse des betrachteten Bauwerks erfolgt.

### 4.2 Versagensfolgeklassen

(1) Die Versagensfolgeklassen CC1, CC2 und CC3 sollten angewendet werden wie in EN 1990:2023, 4.3, festgelegt. Die Wahl der Versagensfolgeklasse sollte von den Folgen von Einsturz oder Schaden, von deren Bedeutung für die öffentliche Sicherheit und den Schutz der Öffentlichkeit im Zeitraum unmittelbar nach dem Erdbebenereignis sowie von den ökonomischen, gesellschaftlichen und umweltbezogenen Versagensfolgen abhängig sein. Die spezifischen Definitionen der Versagensfolgeklassen nach EN 1990:2023, Anhang A, sollten berücksichtigt werden.

(2) Versagensfolgeklasse CC3 sollte in zwei Unterklassen CC3-a und CC3-b nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 4.2(3), unterteilt werden. Klasse CC3-b sollte gewählt werden, wenn die Standsicherheit des Bauwerks, einschließlich nichttragender Bauteile, von wesentlicher Bedeutung für die öffentliche Sicherheit und die Umwelt ist oder Schäden an angeschlossenen Anlagenkomponenten, benachbarten Hochbauten und angrenzenden Einrichtungen verursacht werden können. Darüber hinaus sollte Klasse CC3-b für alle Bauwerke und Systeme gewählt werden, welche die Funktionsfähigkeit von Dienstleistungen zum Schutz der Öffentlichkeit im Zeitraum unmittelbar nach dem Erdbebenereignis gefährden könnten. In allen anderen Fällen dürfen Bauwerke der Klasse CC3 der Unterklasse CC3-a zugewiesen werden.

ANMERKUNG 1 Die Definition der Klassen CC3-a und CC3-b nach (2) wird angewendet, sofern keine abweichenden Definitionen durch den Nationalen Anhang oder zuständige Behörden angegeben werden.

ANMERKUNG 2 Beispiele für wichtige funktionsfähige Dienstleistungen zum Schutz der Öffentlichkeit in Klasse CC3-b sind: Energie- und Wasserversorgungsnetze, Fluchtwege, Krankenhäuser, Feuerwachen, Fernmeldeeinrichtungen, Sicherheitssysteme.

ANMERKUNG 3 Versagensfolgeklasse CC4 für Bauwerke mit hohem Risiko sowie deren nichttragende Bauteile und Systeme ist nicht durch dieses Dokument abgedeckt. Die Bauwerkskategorien der Versagensfolgeklasse CC4, für die dieses Dokument oder Teile davon in einem Land gelten, können EN 1990:2023, Abschnitt A.4, oder dem Nationalen Anhang entnommen oder durch die zuständigen Behörden angegeben werden. Die in diesem Dokument angegebenen Grundsätze der Berechnung und Bemessung können ebenfalls auf Bauwerke der Versagensfolgeklasse CC4 (z. B. LNG-Tankbauwerke) angewendet werden.

(3) Für die Anwendung von EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 4.1(4), sollten Werte von  $\delta$  bestimmt werden.

ANMERKUNG Die auf in diesem Dokument behandelte Bauwerke und die zugehörigen geotechnischen Systeme anwendbaren Werte von  $\delta$  sind in Tabelle 4.1 (NDP) aufgeführt, sofern keine abweichenden Werte durch die zuständigen Behörden oder im Nationalen Anhang angegeben werden.

**Tabelle 4.1 (NDP) — Werte von  $\delta$  für in diesem Dokument behandelte Bauwerke nach 1.1(1)**

|          | Versagensfolgeklasse (CC) |     |       |       |
|----------|---------------------------|-----|-------|-------|
|          | CC1                       | CC2 | CC3-a | CC3-b |
| $\delta$ | 0,60                      | 1,0 | 1,4   | 1,8   |

### 4.3 Grenzzustände und zugehörige Erdbebeneinwirkungen

(1) Die Leistungsanforderungen müssen sich auf den Schadenszustand in den Bauwerken beziehen, die hier durch die Grenzzustände (LS, en: limit states) entsprechend der Definition nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 4.3(1), beschrieben werden.

(2) Das Erdbebenverhalten der in diesem Dokument behandelten Bauwerke muss dem Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD, en: significant damage) entsprechen, in dem das Bauwerk und dessen nichttragende Bauteile signifikant beschädigt sind, ihre Standsicherheit mit kontrolliertem Austritt des Inhalts jedoch beibehalten.

(3) In Abhängigkeit von den Eigenschaften und der Funktion des betrachteten Bauwerks dürfen zusätzlich der Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL, en: damage limitation) oder der Grenzzustand der vollständigen Funktionsfähigkeit (OP, en: Operational) überprüft werden.

(4) Der Grenzzustand der DL sollte als der Grenzzustand definiert werden, bei dem das Ausmaß und die Anzahl der Schäden am betrachteten System, einschließlich einiger seiner nichttragenden Bauteile, begrenzt sind, so dass nach Durchführung der Maßnahmen für Schadensprüfung und -kontrolle die Funktionsfähigkeit des Systems bis zu einem vordefinierten Grad wiederhergestellt werden kann. Die Dichtheit von mit Flüssigkeit gefüllten Systemen sollte aufrechterhalten werden.

(5) Der LS der OP sollte als der Grenzzustand definiert werden, bei dem das betrachtete System, einschließlich einer festgelegten Reihe darin eingebauter nichttragender Bauteile, unter der maßgebenden Erdbebeneinwirkung vollständig funktionsfähig bleibt. Die Dichtheit von mit Flüssigkeit gefüllten Systemen sollte aufrechterhalten werden.

(6) Sofern nicht (7) angewendet wird, sollte die Erdbebeneinwirkung in Bezug auf ihre Wiederkehrperiode definiert werden. Die Erfüllung der Leistungsanforderungen sollte durch die Wahl angemessener Wiederkehrperioden  $T_{LS,CC}$  in Abhängigkeit von den/der festgelegten Grenzzuständen und Versagensfolgeklasse des betrachteten Bauwerks und seiner nichttragenden Bauteile erreicht werden.

ANMERKUNG 1 Die Werte von  $T_{LS,CC}$  nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup> 4.3(3), für die Grenzzustände des Quasiversagens (NC, en: near collapse), der SD und der DL sind in Tabelle 4.2 (NDP) aufgeführt, sofern keine abweichenden Werte durch die zuständigen Behörden oder im Nationalen Anhang angegeben werden.

ANMERKUNG 2 Die auf festgelegte Bauwerke und deren nichttragende Bauteile angewendeten Werte von  $T_{LS,CC}$  im Grenzzustand der OP können durch die zuständigen Behörden angegeben oder dem Nationalen Anhang entnommen werden.

ANMERKUNG 3 Der Vollständigkeit halber sind Werte für NC in (6) und (7) angegeben, obwohl dieser Grenzzustand nicht durch dieses Dokument abgedeckt wird. Sie können für bestehende Bauwerke verwendet werden.

ANMERKUNG 4 Werte von  $T_{LS,CC}$  für Versagensfolgeklasse CC4 werden nicht durch dieses Dokument abgedeckt. Sie können dem Nationalen Anhang anderer Europäischer Normen entnommen werden (z. B. prEN 14620 für LNG-Tankbauwerke).

**Tabelle 4.2 (NDP) — Wiederkehrperioden  $T_{LS,CC}$  von Erdbebeneinwirkungen, in Jahren**

| Grenzzustand | Versagensfolgeklasse |       |       |       |
|--------------|----------------------|-------|-------|-------|
|              | CC1                  | CC2   | CC3-a | CC3-b |
| NC           | 800                  | 1 600 | 2 500 | 5 000 |
| SD           | 250                  | 475   | 1 300 | 2 500 |
| DL           | 50                   | 60    | 150   | 250   |

(7) Alternativ zu (6) dürfen die Leistungsbeiwerte  $\gamma_{LS,CC}$  als Alternative zu Wiederkehrperioden verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Die Werte von  $\gamma_{LS,CC}$  nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup> 4.3(4), für die Grenzzustände des NC, der SD und der DL sind in Tabelle 4.3 (NDP) aufgeführt, sofern keine abweichenden Werte im Nationalen Anhang oder durch die zuständigen Behörden angegeben werden.

ANMERKUNG 2 Werte von  $\gamma_{LS,CC}$  für die Versagensfolgeklasse CC4 werden nicht durch dieses Dokument abgedeckt. Sie können dem Nationalen Anhang anderer Europäischer Normen entnommen oder durch die zuständigen Behörden angegeben werden.

Tabelle 4.3 (NDP) — Leistungsbeiwerte  $\gamma_{LS,CC}$

| Grenzzustand | Versagensfolgeklasse |     |       |       |
|--------------|----------------------|-----|-------|-------|
|              | CC1                  | CC2 | CC3-a | CC3-b |
| NC           | 1,2                  | 1,5 | 1,8   | 2,2   |
| SD           | 0,8                  | 1,0 | 1,4   | 1,8   |
| DL           | 0,4                  | 0,5 | 0,7   | 0,8   |

ANMERKUNG 3 Die auf festgelegte Bauwerke und ihre nichttragenden Bauteile angewendeten Werte von  $\gamma_{LS,CC}$  im Grenzzustand der OP können durch die zuständigen Behörden angegeben oder dem Nationalen Anhang entnommen werden.

(8) Die Standortbedingungen und die Erdbebeneinwirkung auf die Baugrundoberfläche am Standort des Bauwerks müssen nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, Abschnitt 5, bestimmt werden.

(9) Die Erdbebeneinwirkung für geotechnische Systeme und geotechnische Bauwerke müssen nach EN 1998-5:—<sup>4</sup>, 5.2, bestimmt werden.

#### 4.4 Modellbildung und Berechnungsverfahren

(1) Sofern für bestimmte Arten von Bauwerken in den maßgebenden Abschnitten dieses Dokument nicht anders festgelegt, sollten die Bauwerksmodellierung und Arten der Berechnung (kraftbasierter Ansatz, nichtlineare statische Berechnung und Antwortverlaufsrechnung) nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, Abschnitt 6, und EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, Abschnitt 5, angewendet werden.

(2) Der in EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.4.1(5), eingeführte Wert von  $\beta$  ist gleich 0,08 für in dieses Dokument behandelte Bauwerke nach 1.1(1).

(3) Die in EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.2.1(3), festgelegten Kombinationskoeffizienten  $\psi_{Ei}$  für die Massen in Zusammenhang mit veränderlichen Einwirkungen sollten mit den Mindestwerten von  $\phi$  nach EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, 5.1.2(1), und den Kombinationsbeiwerten  $\psi_{2,i}$  nach EN 1990:2023, Anhang A, berechnet werden, sofern in Abschnitt 5 bis Abschnitt 10 nicht anders festgelegt.

(4) Auswirkungen von Boden/Bauwerk-Interaktion sollten anhand der in EN 1998-5:—<sup>4</sup>, Abschnitt 8, angegebenen Modelle berücksichtigt werden, sobald sie möglicherweise die Antwort des Tragsystems und seiner nichttragenden Bauteile beeinträchtigen können. Günstige Auswirkungen von Boden/Bauwerk-Interaktion sollten konservativ modelliert werden.

(5) Die jeweiligen Verhaltensbeiwerte für in dieses Dokument behandelte Bauwerke nach 1.1(1) sollten entsprechend Abschnitt 5 bis Abschnitt 10 angewendet werden.

#### 4.5 Kombinationen der Auswirkungen infolge der Komponenten der Erdbebeneinwirkung

(1) Bei Anwendung des kraftbasierten Ansatzes sollte die Bauwerksantwort der drei Komponenten der Erdbebeneinwirkung getrennt bewertet und kombiniert werden. Bei Bauwerken mit nicht perfekt achssymmetrischem Grundriss sollte die Kombination nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.4.4, erfolgen.

(2) Bei Bauwerken mit achssymmetrischem Grundriss (z. B. oberirdische vertikale zylindrische Silos und Tankbauwerke, rohrförmige Türme) sollten ausschließlich die vertikale und eine horizontale Komponente der Erdbebeneinwirkung bewertet werden, wobei letztere mit einem Faktor von 1,12 multipliziert werden sollte.

Die Auswirkung der Einwirkung infolge der Kombination der vertikalen und der horizontalen Komponente sollte unter Verwendung von Gleichung (4.1) und Gleichung (4.2) berechnet werden.

$$1,12 E_{\text{Edx}} + 0,30 E_{\text{Edz}} \quad (4.1)$$

$$0,34 E_{\text{Edx}} + 1,00 E_{\text{Edz}} \quad (4.2)$$

ANMERKUNG Der Faktor 0,34 ergibt sich aus  $0,30 \times 1,12$  unter Verwendung der Kombination nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.4.4.

(3) Bei Anwendung nichtlinearer Antwortverlaufsrechnung sollte die Erdbebeneinwirkung gleichzeitig in drei Richtungen angewendet werden. Die Eingabebewegungen für die Antwortverlaufsrechnung und das räumliche Modell der Erdbebeneinwirkung sollten nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 5.2.3, definiert werden, sofern in Abschnitt 5 bis Abschnitt 10 nicht anders festgelegt.

(4) Bei Anwendung nichtlinearer statischer Berechnung sollten die seismischen Horizontalkräfte in der ungünstigsten Richtung mit sowohl positiven als auch negativen Vorzeichen angewendet werden. Die Höchstwerte der aus beiden Fällen resultierenden Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung sollten verwendet werden. Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung infolge der Kombination aus den horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung, den Auswirkungen von höheren Schwingungsformen, Torsion und kleinster Lastausmitte sollten nach EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, 5.3.5, bewertet werden.

## 4.6 Werkstoffanforderungen

### 4.6.1 Bemessung nach DC1, DC2 und DC3

(1) Sofern nicht für bestimmte Arten von Bauwerken in den maßgebenden Abschnitten dieses Dokument anders festgelegt, sollten die werkstoffspezifischen Regeln nach EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, Abschnitt 10 bis Abschnitt 15, angewendet werden.

### 4.6.2 Sicherheitsnachweise

(1) Für den Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD) sollten Teilsicherheitsbeiwerte nach EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, Abschnitt 8 bis Abschnitt 15, nicht kleiner als 1 verwendet werden, sofern nicht für bestimmte Arten von Bauwerken in den maßgebenden Abschnitten dieses Dokument anders festgelegt.

## 4.7 Nachweis in Grenzzuständen

### 4.7.1 Allgemeines

(1) Das Erdbebenverhalten der Bauwerke muss nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 4.4, nachgewiesen werden.

(2) In der Bemessungssituation mit Erdbeben sollte nachgewiesen werden, dass die in EN 1990:2023, 8.3.4.4, definierten Auswirkungen der Einwirkung nicht den jeweiligen Widerstand der tragenden Bauteile nach EN 1990:2023, 8.3.5, bei den festgelegten Grenzzuständen überschreiten.

(3) Die Nachweise nach 4.7.1(2) dürfen als zufriedenstellend erfolgt angesehen werden, wenn die Gesamt-Basissschubkraft über die gesamten jeweiligen Bauwerke dieses Teils an der Grundfläche des Bauwerks (Gründung oder Oberseite eines starren Untergeschosses bei Bauwerken, Befestigungspunkte am Bauwerk bei nichttragenden Bauteilen) in der Bemessungssituation mit Erdbeben geringer ist als die entsprechende Basissschubkraft in anderen Bemessungssituationen. Die Gesamt-Basissschubkraft sollte mit dem kraftbasierten Ansatz mit einem Verhaltensbeiwert  $q = 1,0$  unter Verwendung des elastischen Bemessungsspektrums nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup> berechnet werden.

ANMERKUNG 1 Das kann beispielsweise in Gebieten der Fall sein, in denen die Windeinwirkung höher als die Erdbebeneinwirkung sein kann.

ANMERKUNG 2 Die Definition und der Nachweis des Grenzzustands des NC ist nicht durch dieses Dokument abgedeckt. Regeln für den Nachweis des Grenzzustands des NC für bestehende Hochbauten und Bauwerke sind in EN 1998-3:—<sup>5</sup> angegeben.

ANMERKUNG 3 Aufgrund von Resonanzphänomenen in nichttragenden Bauteilen bedeutet die Anwendbarkeit von Absatz (3) auf der Ebene des Stütztragwerks nicht notwendigerweise auch die Anwendbarkeit auf die nichttragenden Bauteile selbst, für die dennoch eine Überprüfung in der Bemessungssituation mit Erdbeben erforderlich sein kann.

ANMERKUNG 4 Der Vergleich der seismischen Basisschubkraft mit jener infolge anderer Einwirkungen kann für tragende Bauteile unzureichend sein, wenn höhere Schwingungsformen mehr als die Grundschwingungsform beitragen.

#### 4.7.2 Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD)

(1) Die Nichtüberschreitung des Grenzzustands der SD für die jeweiligen in 1.1(1) aufgeführten Bauwerke sollte nach Abschnitt 5 bis Abschnitt 10 nachgewiesen werden.

#### 4.7.3 Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL)

(1) Sofern zutreffend, sollte der Grenzzustand der DL für die jeweiligen in 1.1(1) aufgeführten Bauwerke nach Abschnitt 5 bis Abschnitt 10 nachgewiesen werden.

#### 4.7.4 Nachweis im Grenzzustand der vollständigen Funktionsfähigkeit (OP)

(1) Sofern zutreffend, sollte der Grenzzustand der OP für die jeweiligen in 1.1(1) aufgeführten Bauwerke nach Abschnitt 5 bis Abschnitt 10 nachgewiesen werden.

## 5 Regeln für Silos

### 5.1 Anwendungsbereich

(1) Abschnitt 5 enthält Regeln für die statische Berechnung und Bemessung von Silos aus Stahl, Stahlbeton und Spannbetonfertigteilen unter Erdbebeneinwirkungen.

ANMERKUNG Es wird unterschieden zwischen:

- oberirdischen Silos;
- aufgeständerten Silos, welche hochgelagert oder auf mehreren Stützen (ausgefacht oder nicht), gelagert sind.

### 5.2 Bemessungsgrundlagen

#### 5.2.1 Bemessungskonzept

(1) Die betrachteten Auswirkungen horizontaler und vertikaler Komponenten der Erdbebeneinwirkung auf Silos sollten seismisch bedingte Spannungen und Verformungen in der Silowand sowie auf Stütztragwerke und Gründungen aufgebrauchte seismische Kräfte und Momente sein.

---

<sup>5</sup> In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: prEN 1998-3:2023.

(2) Die Grundsätze der seismischen Berechnungsverfahren sind möglicherweise auch auf Silos aus anderen Werkstoffen anwendbar [z. B. glasfaserverstärkter/-s Kunststoff/Polymer (GFRP), Polyethylen hoher Dichte (HDPE) oder Polyethylen (PE)].

ANMERKUNG Die Definitionen von Grenzzuständen und Sicherheitsnachweise für andere als die in (2) aufgeführten Werkstoffe werden nicht durch dieses Dokument abgedeckt.

(3) Silos sollten mit DC1 bemessen werden.

(4) Stütztragwerke von aufgeständerten Silos dürfen entsprechend den Duktilitätsklassen DC1, DC2 oder DC3 bemessen werden.

(5) Wird Erdbebenschutz durch Schwingungsisolierung oder Energiedissipationssysteme vorgesehen, sollten die Vorschriften nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.8, sowie EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, Abschnitt 8 und Abschnitt 9, angewendet werden.

### 5.2.2 Sicherheitsnachweis

(1) Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{M,i}$  sollten EN 1998-1-2:—<sup>3</sup> entsprechen.

(2) Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{M,i}$  nach EN 1993-4-1:—<sup>6</sup>, 2.9.2.2, sollten für die Grenzzustandsnachweise für die Wand und den Trichter von Stahlsilos verwendet werden.

(3) Überfestigkeitsauswirkungen, die im Stütztragwerk von Silos auftreten können, welche mit DC2 oder DC3 bemessen werden, sollten in den Nachweisen berücksichtigt werden.

## 5.3 Modellbildung und statische Berechnung

### 5.3.1 Modellbildung

(1) Das dynamische Berechnungsmodell des Silos sollte die Festigkeit, die Dämpfung, die geometrischen Eigenschaften sowie die Steifigkeit und Massenverteilung des Silos, der Behälterbauwerke, der äußeren nichttragenden Bauteile, der Anschlussleitungen sowie der starr mit dem Silo und dem Stütztragwerk verbundenen Erweiterungen genau wiedergeben.

(2) Die dynamischen Auswirkungen des Siloinhalts sollten durch zusätzliche Bauwerksmassen berücksichtigt werden, wobei angenommen wird, dass der Schüttgutinhalt sich gemeinsam mit der Silowand bewegt. Die Verteilung der Massen sollte die dynamischen Auswirkungen des Siloinhalts wiedergeben. Die Auswirkungen des Inhalts sollten bis zu dem Teil der Wand in Kontakt mit dem gelagerten Inhalt berücksichtigt werden, entsprechend dem Teil unter statischer Druckbeanspruchung nach EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, 1.2.

(3) Die Silos dürfen durch einfache Balkenmodelle mit verteilten Massen idealisiert werden. Aufgeständerte Silos sollten mit ihren Stütztragwerken modelliert werden. Werden Silo und Stütztragwerk getrennt modelliert, sollten sich ihre Frequenzen um mehr als 20 % voneinander unterscheiden. Im Fall von gedungenen oder stützenden Silos nach EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, 7.1, dürfen Modelle für die Silowand und starr angeschlossene Volumenelemente für den Inhalt verwendet werden, um die Lastübertragung durch Reibung und Schub am Siloboden zu berücksichtigen.

---

<sup>6</sup> In Erarbeitung.

(4) Stahlsilos mit oder ohne Stütztragwerke dürfen unter Annahme linear-elastischen Verhaltens nach EN 1993-1-6:—<sup>7</sup>, 2.2, berechnet werden. Bei Modellbildung der Silowand sollten die Modellbildungsregeln nach EN 1993-1-6:—<sup>7</sup>, 5.2, angewendet werden.

(5) Silos aus Stahlbeton und Spannbetonfertigteilen mit oder ohne Stütztragwerke dürfen unter Annahme linear-elastischen Verhaltens nach EN 1992-1-1:—<sup>8</sup> berechnet werden.

(6) Auswirkungen von Boden/Bauwerk-Interaktion sollten nach EN 1998-5:—<sup>4</sup>, Abschnitt 8, in Bezug auf die Art der Gründung berücksichtigt werden.

(7) Die Masse des Inhalts sollte nach EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, Anhang C, unter Verwendung des oberen charakteristischen Wertes der Wichte  $\gamma_u$  des Schüttguts bestimmt werden. Ist das jeweilige Schüttgut nicht in EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, Anhang C, angegeben, darf der charakteristische Wert der Wichte des Schüttguts anhand von Werkstoffprüfungen bestimmt werden.

ANMERKUNG Der Eigentümer oder andere Projektparteien können den Wert der Wichte des Schüttguts angeben.

(8) Die dynamischen Auswirkungen sollten für den auf Grundlage der Betriebsbedingungen bestimmten Höchstwert des Füllstands berechnet werden. Zwischenwerte des Füllstands dürfen berücksichtigt werden, falls die entsprechenden bauwerksbezogenen Schwingungsperioden des vollen oder leeren Silos die obere Eckperiode  $T_c$  des angewendeten Antwortspektrums nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 5.2.2.2(1), erreichen.

(9) Bei Silobatterien sollten unterschiedliche wahrscheinliche Verteilungen von vollen, teilweise gefüllten und leeren Silos entsprechend den Betriebsregeln der Anlage berücksichtigt werden. In jedem der Silos sollten ausschließlich symmetrische Fülllasten berücksichtigt werden.

(10) In Silos, deren Inneres in mehrere Zellen unterteilt ist, sollte die ungünstigste Verteilung von vollen, teilweise gefüllten und leeren Zellen berücksichtigt werden, um den asymmetrischen Lastbedingungen unter Erdbebeneinwirkungen Rechnung zu tragen.

### 5.3.2 Statische Berechnung

(1) Außer bei Anwendung von (2) oder (3) sollten oberirdische oder aufgeständerte Silos mit dem kraftbasierten Ansatz unter Verwendung von Berechnungsmodellen nach 5.3.1(3) berechnet werden.

(2) Silos mit oder ohne Stütztragwerke dürfen mit nichtlinearen Ansätzen nach EN 1993-1-6:—<sup>7</sup>, 2.2, unter Anwendung nichtlinearer Antwortverlaufsrechnung sowie der Anwendungsregeln nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.6, berechnet werden.

ANMERKUNG Nichtlineare statische Berechnung von Silos mit oder ohne Stütztragwerke wird nicht durch dieses Dokument abgedeckt.

(3) Die Stütztragwerke von aufgeständerten Silos dürfen mittels nichtlinearer statischer Berechnung oder nichtlinearer Antwortverlaufsrechnung nach prEN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.5 und 6.6, berechnet werden.

(4) Bei Durchführung nichtlinearer Antwortverlaufsrechnung sollten Dämpfungswerte von 2 % für Silotragwerke aus genietetem/geschraubtem und geschweißtem Stahl, 5 % für Silotragwerke aus Stahlbeton und 2 % für Silotragwerke aus Spannbetonfertigteilen verwendet werden.

---

<sup>7</sup> In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: prEN 1993-1-6:2023.

<sup>8</sup> In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: FprEN 1992-1-1:2023.

### 5.3.3 Verhaltensbeiwerte

#### 5.3.3.1 Verhaltensbeiwert für die horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung

##### 5.3.3.1.1 Silos

(1) Die Verhaltensbeiwertkomponenten für Silos der Klasse DC1 sollten entsprechend a) und b) angewendet werden:

- a) Silos aus genietetem/geschraubtem und geschweißtem Stahl:  $q_R = 1,0$ ,  $q_D = 1,0$ ,  $q_S = 1,2$ ;
- b) Tankbauwerke aus Stahlbeton oder Spannbetonfertigteilen:  $q_R = 1,0$ ,  $q_D = 1,0$ ,  $q_S = 1,5$ .

##### 5.3.3.1.2 Stütztragwerke von aufgeständerten Silos

(1) Die Verhaltensbeiwerte für Stütztragwerke von aufgeständerten Silos der Klassen DC1, DC2 und DC3 sollten entsprechend den maßgebenden Teilen von EN 1998-1-2:—<sup>3</sup> angewendet werden.

#### 5.3.3.2 Verhaltensbeiwert für die vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung

(1) Der Verhaltensbeiwert  $q_v$  für den Silo und vorhandene Stütztragwerke sollte als  $\min(q; 1,5)$  angewendet werden, wobei  $q$  der Verhaltensbeiwert für die nach 5.3.3.1.1 auf den Silo angewendete horizontale Komponente der Erdbebeneinwirkung ist.

### 5.4 Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz

#### 5.4.1 Gesamt-Basissschubkraft, Umsturzmoment und vertikale Reaktionskraft am Siloboden

(1) Die Gesamt-Basissschubkraft  $F_b$ , das Umsturzmoment  $M_b$  und die vertikale Reaktionskraft  $F_{bv}$  am Siloboden mit oder ohne Stütztragwerke sollten mittels Antwortspektrumberechnung nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.4.2, unter Verwendung der in 5.3.1(3) festgelegten Berechnungsmodelle und der in 4.5 angegebenen Kombination von Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung berechnet werden.

(2) Das Berechnungsverfahren mit Horizontalkräften nach 1998-1-2:—<sup>3</sup>, 5.3.3, darf für oberirdische Silos angewendet werden. In diesem Fall dürfen die Basissschubkraft, die vertikale Reaktionskraft und das Umsturzmoment in jeder horizontalen Richtung nach Gleichung (5.1) bis Gleichung (5.3) berechnet werden.

$$F_b = S_r(T_{1h}) m_S \lambda \quad (5.1)$$

$$F_{bv} = S_{rv}(T_{1v}) m_S \quad (5.2)$$

$$M_b = S_r(T_{1h}) m_S \lambda \frac{H_f}{2} \quad (5.3)$$

Dabei ist

$T_{1h}$  die Grundschwingungsperiode des Silotragwerks in der betrachteten horizontalen Richtung;

$T_{1v}$  die Grundschwingungsperiode in vertikaler Richtung;

$S_r(T_{1h})$  die Ordinate des reduzierten Spektrums in horizontaler Richtung bei Schwingungsperiode  $T_{1h}$  nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.4.1(5);

$S_{rv}(T_{1v})$  die Ordinate des reduzierten Spektrums in vertikaler Richtung bei Schwingungsperiode  $T_{1v}$ ; die maximale Spektralbeschleunigung im Bereich der konstanten Beschleunigung darf verwendet werden, falls die Schwingungsperiode  $T_{1v}$  nicht explizit berechnet wird;

- $m_s$  die Gesamtmasse des Silos und seines Inhalts, berechnet mit dem oberen charakteristischen Wert der Wichte des Schüttguts  $\gamma_u$  nach 5.3.1(7);
- $\lambda$  der im Horizontalkraftverfahren verwendete Abminderungsfaktor, angesetzt als  $\lambda = 0,8$  bis 1,0;
- $H_f$  die Höhe des größten Bemessungswertes des Füllstands vom Siloinhalt.

(3) Die Basisschubkraft  $F_b$  und das Umsturzmoment  $M_b$  in jeder horizontalen Richtung dürfen für zylindrische oberirdische Silos mit dem Radius  $R$  ohne Berücksichtigung von Korn-Wand-Reibungsauswirkungen entsprechend Gleichung (5.4) und Gleichung (5.5) berechnet werden.

ANMERKUNG In diesem speziellen Fall sind diese Gleichungen genauer als Gleichung (5.2) und Gleichung (5.3).

$$F_b = S_r(T_{1h}) \rho_u \pi R^2 H_f \left(1 - \frac{R}{6H_f}\right) \quad (5.4)$$

$$M_b = S_r(T_{1h}) \rho_u \pi \frac{R^2}{2} \left(H_f^2 - \frac{R^2}{27}\right) \quad (5.5)$$

Dabei ist  $\rho_u$  die Dichte, die mit dem oberen charakteristischen Wert der Wichte des Schüttguts  $\gamma_u$  nach 5.3.1(7) berechnet wurde.

## 5.4.2 Seismische Drücke auf Silowände und Trichter infolge der horizontalen Erdbebeneinwirkungen

### 5.4.2.1 Referenznormaldruck

(1) Die seismischen Lasten auf Silowänden sollten unter Verwendung eines Beschleunigungsprofils über die Silohöhe berechnet werden, das durch die Funktion  $\alpha(z)$  beschrieben wird, die dem Verhältnis der Antwortbeschleunigung in einer Tiefe  $z$  von der äquivalenten Oberfläche des Lagerguts zur Schwerkraftbeschleunigung entspricht.

(2) Die Funktion der Antwortbeschleunigung  $\alpha(z)$  sollte mit einer Antwortspektrumberechnung nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.4.3, unter Verwendung der in 5.3.1(3) festgelegten Berechnungsmodelle und der Kombination von Auswirkungen der Erdbebeneinwirkung nach 4.5 berechnet werden. Alternativ darf  $\alpha(z)$  durch ein lineares Antwortbeschleunigungsprofil zwischen den Antwortbeschleunigungen am Siloboden und der Höhe der äquivalenten Oberfläche angenähert werden. Bei steifen Silos darf eine konstante Antwortbeschleunigung, berechnet als Mittelwert der Antwortbeschleunigungen am Siloboden und der Höhe der äquivalenten Oberfläche des Lagerguts, verwendet werden.

(3) Die Auswirkung auf die Silowand infolge der Antwort des gelagerten Schüttguts auf die horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung darf durch einen zusätzlichen Normaldruck auf die Wand  $\Delta_{ph,s}$  dargestellt werden. An Punkten der vertikalen Silowand, die sich in einem vertikalen Abstand  $x$  zum Flachboden oder zum Scheitelpunkt eines kegel- oder pyramidenförmigen Trichters befinden, darf der Referenzdruck senkrecht zur Wand  $\Delta_{ph,so}$  unter Verwendung von Gleichung (5.6) berechnet werden.

$$\Delta_{ph,so} = \alpha(z) \gamma_u \min(h_b; d_c/2; 3x) \quad (5.6)$$

Dabei ist

- $\alpha(z)$  das Verhältnis der Antwortbeschleunigung in einer Tiefe  $z$  von der äquivalenten Oberfläche des Lagerguts zur Schwerkraftbeschleunigung;
- $\gamma_u$  der obere charakteristische Wert der Wichte des Schüttguts nach 5.3.1(7);

- $h_b$  die Gesamthöhe des Silos von einem Flachboden oder dem Trichterauslass bis zur äquivalenten Oberfläche des Lagerguts nach EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, 1.2;
- $d_c$  das Innenmaß des Silos parallel zur horizontalen Komponente der Erdbebeneinwirkung (Innendurchmesser  $d_c$  in zylindrischen Silos oder Silozellen, horizontales Innenmaß  $b$  parallel zur horizontalen Komponente der Erdbebeneinwirkung in rechteckigen Silos oder Silozellen) nach EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, 1.2.

(4) Innerhalb der Höhe eines Trichters darf der Referenznormaldruck  $\Delta_{ph,so}$  nach Gleichung (5.7) angesetzt werden:

$$\Delta_{ph,so} = \alpha(z) \gamma_u \min(h_b; d_c/2; 3x) \cos \beta \quad (5.7)$$

Dabei ist  $\beta$  der Neigungswinkel der konischen Trichterwand, gemessen von der Senkrechten, oder der steilste Neigungswinkel zur Senkrechten der Wand in einem pyramidenförmigen Trichter und  $x$  die vertikale Koordinate eines Punktes auf einer Silowand von einem flachen Siloboden oder dem Scheitelpunkt eines kegel- oder pyramidenförmigen Trichters nach EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, Abschnitt 8.

#### 5.4.2.2 Lasten auf Wänden in zylindrischen Silos

(1) Der zusätzliche Normaldruck (Bild 5.1a) auf die Wand zylindrischer Silos (oder Silozellen) darf auf jeder Ebene gleich  $\Delta_{ph,s}$  nach Gleichung (5.8) angesetzt werden.

$$\Delta_{ph,s} = \Delta_{ph,so} \cos \theta \quad (5.8)$$

Dabei ist  $\theta$  der Winkel ( $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$ ) zwischen der radialen Linie zum betrachteten Punkt auf der Wand und der Richtung der horizontalen Komponente der Erdbebeneinwirkung.

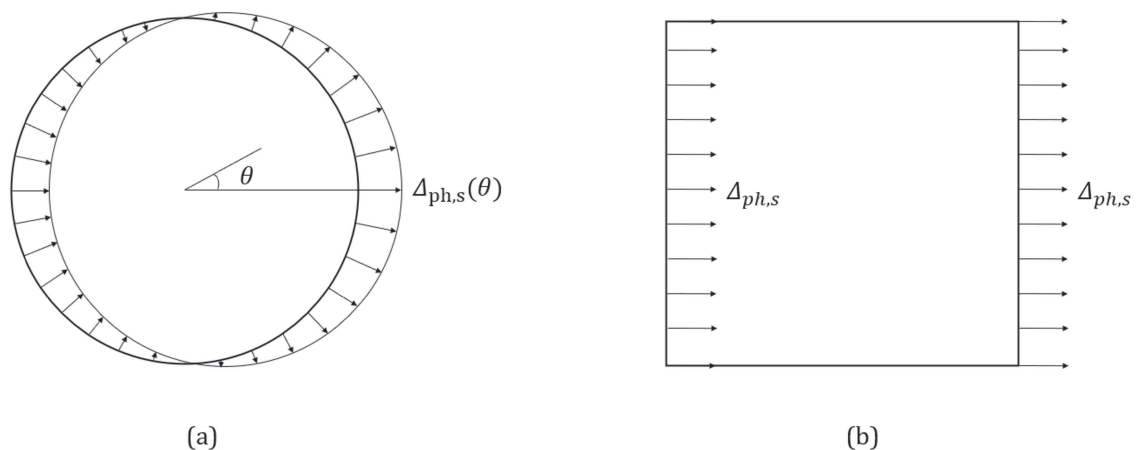


**Bild 5.1 — Zusätzlicher Normaldruck in: (a) zylindrischen Silos und (b) rechteckigen Silos**

#### 5.4.2.3 Lasten auf Wänden in rechteckigen Silos oder Silozellen

(1) Der zusätzliche Normaldruck (Bild 5.1b) auf die Wand infolge einer horizontalen Komponente der Erdbebeneinwirkung parallel oder senkrecht zu den Silowänden darf mit einem der unter a) bis c) angegebenen Werte gleichgesetzt werden:

- a) an der „abgewandten“ Wand senkrecht zur horizontalen Komponente der Erdbebeneinwirkung nach Gleichung (5.9):

$$\Delta_{ph,s} = \Delta_{ph,so} \quad (5.9)$$

- b) an der „zugewandten“ Wand senkrecht zur horizontalen Komponente der Erdbebeneinwirkung nach Gleichung (5.10):

$$\Delta_{ph,s} = -\Delta_{ph,so} \quad (5.10)$$

- c) an den Wänden parallel zur horizontalen Komponente der Erdbebeneinwirkung nach Gleichung (5.11):

$$\Delta_{ph,s} = 0 \quad (5.11)$$

#### 5.4.2.4 Lasten auf Silowänden und Trichtern infolge der vertikalen Komponenten von Erdbebeneinwirkungen

(1) Die Erdbebeneinwirkung infolge der vertikalen Komponente sollte durch einen Skalierungsfaktor  $\beta_{sc}$  berücksichtigt werden, der in Gleichung (5.12) angegeben ist und auf die Reibungsdrücke  $p_{wf}$ , die vertikalen Drücke  $p_{vf}$  und die horizontalen Drücke  $p_{hf}$  für vertikale Silowände, Silotrichter und Siloböden angewendet wird, die nach EN 1991-1-4:—<sup>1</sup>, Abschnitt 7, Abschnitt 8 und Abschnitt 9, berechnet werden.

$$\beta_{sc} = 1 + \frac{S_{rv}(T_{1v})}{g} \quad (5.12)$$

wobei  $S_{rv}$  die Ordinate des reduzierten Spektrums bei Schwingungsperiode  $T_{1v}$  ist, wie in EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.4.1(6), definiert.

#### 5.4.2.5 Überlagerung mit hydrostatischem Druck

(1) Der resultierende Druck an einem beliebigen Punkt der Silowand sollte die Summe aus dem hydrostatischen Normaldruck  $p_0$  des körnigen Materials an der Wand und dem Normaldruck der Auswirkung von Erdbebeneinwirkung  $\Delta_{ph,s}$  sein. Ist die Summe an beliebiger Stelle der Silowand negativ (was auf einen Netto-Sog an der Wand hinweist), sollte der resultierende Druck gleich null gesetzt werden und der negative Druck auf der gegenüberliegenden druckbeanspruchten Seite der Silowand addiert werden. Wenn gilt  $p_0 < \Delta_{ph,s}(\theta)$ , darf der erhöhte zusätzliche Normaldruck  $\Delta_{ph,s,inc}(\theta)$  auf der druckbeanspruchten Seite nach Gleichung (5.13) berechnet werden.

$$\Delta_{ph,s,inc}(\theta) = \Delta_{ph,s}(\theta) + |p_0 - \Delta_{ph,s}(\theta)| \quad (5.13)$$

### 5.5 Nachweis in Grenzzuständen

#### 5.5.1 Allgemeines

(1) Es sollte nachgewiesen werden, dass die Auswirkungen von Einwirkungen in der Bemessungssituation mit Erdbeben die entsprechenden Widerstände des Silos, des Stütztragwerks und der Gründung, einschließlich der Verbindungen, der maßgebenden nichttragenden Bauteile und der Verbindungsleitungen, für die festgelegten Grenzzustände nicht überschreiten. Der Nachweis von tragenden Bauteilen sollte EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, Abschnitt 6, entsprechen.

## 5.5.2 Nachweis im Grenzzustand der wesentlichen Schädigung (SD)

(1) Bei Anwendung von EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.2, darf der Grenzzustand der SD als nachgewiesen angesehen werden, wenn die Bedingungen nach 5.5.2.1 bis 5.5.2.5 in der Bemessungssituation mit Erdbeben erfüllt sind.

### 5.5.2.1 Globale Stabilität

(1) Bei Silos mit oder ohne Stütztragwerke sollte ein Nachweis bezüglich Umsturz und Gleiten für die Gesamt-Basissschubkraft, das Umsturzmoment und die vertikale Reaktionskraft, berechnet nach 5.4.1, geführt werden. Begrenztes Gleiten des Silos darf zugelassen werden, sofern gezeigt wird, dass die Folgen des Gleitens für die Verbindungen zwischen den verschiedenen Bauwerksteilen sowie zwischen Bauwerk und beliebigen Rohrleitungen bei der Berechnung und den Nachweisen berücksichtigt werden.

(2) Auftrieb von oberirdischen Silos sollte durch ausreichende Verankerung nach 5.5.2.5 vermieden werden.

### 5.5.2.2 Gründungen

(1) Gründungssysteme von Silos sollten nach EN 1998-5:—<sup>4</sup>, Abschnitt 9, bezüglich der Auflagerlasten nach 5.4.1 nachgewiesen werden.

### 5.5.2.3 Silowand und Trichter

(1) Die Auswirkungen von Erdbebeneinwirkungen in der Silowand und im Trichter (Membrankräfte und Biegemomente in Umfangs- oder Meridianrichtung und Membranschub) sollten in der Bemessungssituation mit Erdbeben berechnet werden.

(2) Stahlsilos sollten in der Bemessungssituation mit Erdbeben nach EN 1993-4-1:—<sup>6</sup>, Abschnitt 5 bis Abschnitt 9, nachgewiesen werden.

(3) Silowände aus Stahlbeton und Spannbetonfertigteilen sollten nach EN 1992-3 und EN 1992-1-1:—<sup>8</sup> nachgewiesen werden.

### 5.5.2.4 Stütztragwerke von aufgeständerten Silos

(1) Stütztragwerke von aufgeständerten Silos sollten in der Bemessungssituation mit Erdbeben entsprechend den maßgebenden Abschnitten von EN 1998-1-2:—<sup>3</sup> nachgewiesen werden.

### 5.5.2.5 Verankerungssysteme

(1) Die Verankerungssysteme von Silobauwerken an deren Gründung sollten so bemessen werden, dass sie in der Bemessungssituation mit Erdbeben elastisch bleiben. Die Verankerungssysteme sollten nach dem Bemessungsgrundsatz der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung aller maßgebenden Überfestigkeitsauswirkungen des Silos und seines Stütztragwerks bemessen werden. Für DC2 und DC3 sollten die Überfestigkeitsfaktoren entsprechend den maßgebenden Abschnitten von EN 1998-1-2:—<sup>3</sup> angewendet werden. Für alle Duktilitätsklassen sollte ein Überfestigkeitsfaktor von mindestens 1,25 angewendet werden.

(2) Die Verankerungssysteme von Silobauwerken an deren Gründung sollten ausreichende Duktilität aufweisen, um Sprödbrüche bei Überschreitung der Erdbebenlasten zu vermeiden. Daher sollte die Festigkeit in Zusammenhang mit dem plastischen Mechanismus der Stahlverankerung geringer sein als der Sprödbruchwiderstand des Betons, wobei auch die Überfestigkeit der Verankerung berücksichtigt wird. Die Bemessungsgrundsätze nach EN 1998-1-1:2022, Anhang G, sollten angewendet werden.

(3) Eingebaute Verankerungen sollten die Auswirkungen von Erdbebeneinwirkungen auf Zug, Schub sowie kombinierte Zug- und Schubbeanspruchung, denen sie in der Bemessungssituation mit Erdbeben ausgesetzt sind, aufnehmen und gleichzeitig einen ausreichenden Widerstand gegen Versagen (Grenzzustand der Tragfähigkeit) nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, Anhang G, bieten.

ANMERKUNG Befestigungsmittel der Kategorie C1 bieten Tragfähigkeiten nur in Form von Widerständen im Grenzzustand der Tragfähigkeit, während Befestigungsmittel der Kategorie C2 Tragfähigkeiten sowohl in Form von Widerständen im Zustand der Tragfähigkeit als auch in Form von Verschiebungen im Zustand der Schadensbegrenzung und im Zustand der Tragfähigkeit bieten. Die Anforderungen für Kategorie C2 sind strenger als jene für Kategorie C1. Die für ein Befestigungsmittel geltende Leistungskategorie ist in der entsprechenden Europäischen Technischen Produktspezifikation angegeben.

(4) Vormontierte Verankerungen sollten so bemessen werden, dass sie den Auswirkungen der seismischen Bemessungslasten nach EN 1993-1-8:—<sup>10</sup> widerstehen. Sie sollten einen Bemessungswiderstand gegen Zugspannung infolge von Auftriebskräften und Biegemomenten bieten, sofern zutreffend. Für das sichere Befestigen der Ankerschrauben in der Gründung sollte eines der Verfahren nach a) bis d) angewendet werden:

- a) ein Haken;
- b) eine Unterlegscheibe;
- c) ein anderes geeignetes lastverteilendes Bauteil, das in den Beton eingebunden ist;
- d) eine andere Befestigung, die ausreichend geprüft und genehmigt wurde.

(5) Tragende Verbindungen zwischen dem Silotragwerk und nichttragenden Bauteilen oder Verbindungsleitungen sollten so bemessen werden, dass sie in der Bemessungssituation mit Erdbeben elastisch bleiben. Die Verbindungen sollten in Bezug auf Tragfähigkeit unter Berücksichtigung aller maßgebenden Auswirkungen von Überfestigkeit der Bauteile und Verbindungsleitungen bemessen werden.

#### 5.5.2.6 Einlässe, Auslässe, Rohrleitungen und nichttragende Bauteile

(1) Es sollte nachgewiesen werden, dass Einlässe, Auslässe und weitere Rohrleitungen ohne Beeinträchtigung ihrer Funktionsfähigkeit Spannungen und Verzerrungen infolge von Relativverschiebungen zwischen Silos, zwischen Silos und benachbarten Bauwerken sowie zwischen Silos und der Gründung aufnehmen (EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 5.2.2.4).

(2) Wenn die angeschlossenen Rohrleitungen zu hohe lokale Spannungen in den dünnen Wänden von Stahltanks verursachen, dürfen flexible Verbindungen durch die Verwendung von Schläuchen mit Außenumlage, Kompensatoren, Schwenkarmanschlüssen oder die Anordnung flexibler Biegungen hergestellt werden.

(3) Bei Silos mit Schwingungsisolierung sollte die Verformungsverträglichkeit des Bauwerks und der nichttragenden Bauteile, die das Silo mit dem Baugrund oder mit angrenzenden Bauwerken verbinden, nachgewiesen werden.

(4) Verankerungen von nichttragenden Bauteilen (z. B. Förderbänder, Förderschnecken) sollten in der Bemessungssituation mit Erdbeben für den Grenzzustand der SD nach Abschnitt 9 nachgewiesen werden.

ANMERKUNG Der seismische Nachweis der nichttragenden Bauteile obliegt dem Hersteller und wird nicht durch dieses Dokument abgedeckt.

### 5.5.3 Nachweis im Grenzzustand der Schadensbegrenzung (DL)

#### 5.5.3.1 Silowand und Trichter

(1) Der Grenzzustand der DL darf als nachgewiesen angesehen werden, wenn Silowand, Trichter, Stütztragwerk, Verankerung, Verbindungsleitungen und Verbindungen von nichttragenden Bauteilen den Erdbebeneinwirkungen im elastischen Bereich widerstehen.

ANMERKUNG Zusätzliche für Silos angewendete Nachweise im Grenzzustand der DL können durch eine zuständige Behörde festgelegt oder dem Nationalen Anhang entnommen oder anderweitig durch die zuständigen Behörden bereitgestellt werden.

### 5.5.4 Nachweis im Grenzzustand der vollständigen Funktionsfähigkeit (OP)

(1) Es sollte nachgewiesen werden, dass die aus der entsprechenden Bemessungssituation mit Erdbeben resultierenden Dehnungen (oder allgemeinen Verformungen, wie z B. Drifts) die Werte nicht überschreiten, die zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des Silos und der zugehörigen Ausrüstung zulässig sind.

(2) Die für Silo und zugehörige Ausrüstung anwendbaren Kriterien sollten zusätzlich zu EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.7.3(7), aus der Berechnung der Komponenten, deren Funktionsfähigkeit erforderlich ist, sowie aus der Berechnung ihrer Stützsysteme abgeleitet werden.

ANMERKUNG Für ein bestimmtes Projekt können die beteiligten Parteien alle Komponenten, die für den Nachweis von Interesse sind, zusammen mit einer Beschreibung der maßgebenden Schadenszustände für jede Komponente und den damit verbundenen Anforderungen festlegen.

## 6 Regeln für Tankbauwerke

### 6.1 Anwendungsbereich

(1) Abschnitt 6 enthält Regeln für die statische Berechnung und Bemessung von Tankbauwerken mit Kreis- oder Rechteckquerschnitt aus Stahl, Stahlbeton und Spannbetonfertigteilen für die Lagerung von Flüssigkeiten unter Erdbebeneinwirkungen.

(2) Dieser Abschnitt enthält Regeln für verankerte und unverankerte Tankbauwerke mit feststehenden Dächern oder Schwimmdächern.

ANMERKUNG Es wird unterschieden zwischen:

- oberirdischen Tankbauwerken;
- unterirdischen Tankbauwerken;
- aufgeständerten Tankbauwerken auf Stütztragwerken.

### 6.2 Bemessungsgrundlagen

#### 6.2.1 Bemessungskonzept

(1) Die betrachteten Auswirkungen horizontaler und vertikaler Komponenten der Erdbebeneinwirkung auf Tankbauwerke sollten seismisch bedingte Spannungen und Verformungen in der Tankwand sowie auf Stütztragwerke und Gründungen aufgebrachte seismische Kräfte und Momente sein.

(2) Die Grundsätze der seismischen Berechnungsverfahren können auch auf Tankbauwerke aus anderen Werkstoffen anwendbar sein [z. B. glasfaserverstärkter/-s Kunststoff/Polymer (GFRP), Polyethylen hoher Dichte (HDPE) oder Polyethylen (PE)].

ANMERKUNG Die Definitionen von Grenzzuständen und Sicherheitsnachweise für andere als die in (2) aufgeführten Werkstoffe werden nicht durch dieses Dokument abgedeckt.

(3) Tankbauwerke sollten mit DC1 bemessen werden.

(4) Stütztragwerke von aufgeständerten Tankbauwerken dürfen entsprechend den Duktilitätsklassen DC1, DC2 oder DC3 bemessen werden.

(5) Wird Erdbebenschutz durch Schwingungsisolierung oder Energiedissipationssysteme vorgesehen, sollten die Vorschriften nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.8, sowie EN 1998-1-2:—<sup>3</sup>, Abschnitt 8 und Abschnitt 9, angewendet werden.

### 6.2.2 Sicherheitsnachweis

(1) Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{M,i}$  sollten EN 1998-1-2:—<sup>3</sup> entsprechen.

(2) Die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{M,i}$  nach EN 1993-4-2:—<sup>21</sup>, 2.9.2.2, sollten für die Grenzzustandsnachweise für die Schale von Stahltanks verwendet werden.

(3) Überfestigkeitsauswirkungen, die im Stütztragwerk von Tankbauwerken auftreten können, welche mit DC2 oder DC3 bemessen werden, sollten in den Nachweisen berücksichtigt werden.

## 6.3 Modellbildung und statische Berechnung

### 6.3.1 Modellbildung

(1) Dynamische Berechnungsmodelle des Tankbauwerks sollten die Steifigkeit, die Festigkeit, die Dämpfung, die Masse und die geometrischen Eigenschaften des Tankbauwerks genau wiedergeben und das hydrodynamische Verhalten der enthaltenen Flüssigkeit berücksichtigen.

(2) Dynamische Berechnungsmodelle sollten die in a) bis e) angegebenen Auswirkungen angemessen berücksichtigen, sofern maßgebend:

- a) Schwappschwingung der Flüssigkeit an der freien Oberfläche (konvektive Komponente);
- b) horizontale und vertikale Bewegung der Flüssigkeit gemeinsam mit dem starren Tankbauwerk (impulsive Komponente);
- c) Medium/Bauwerk-Schwingungen des Tankbauwerks und der Flüssigkeit im Fall flexibler Tankbauwerke (impulsive flexible Komponente);
- d) Boden/Bauwerk-Interaktion;
- e) Gleiten und Auftrieb bei unverankerten Tankbauwerken.

(3) Zur Bewertung des dynamischen Verhaltens unter Erdbebeneinwirkungen darf die Flüssigkeit als inkompressibel angesehen werden.

(4) Stahltanks mit oder ohne Stütztragwerke dürfen unter Annahme linear-elastischen Verhaltens nach EN 1993-1-6:—<sup>7</sup>, 2.2, berechnet werden. Bei Modellbildung der Tankwand sollten die Modellbildungsregeln nach EN 1993-1-6:—<sup>7</sup>, 5.2, angewendet werden.

(5) Tankbauwerke aus Stahlbeton und Spannbetonfertigteilen mit oder ohne Stütztragwerke dürfen unter Annahme linear-elastischen Verhaltens nach EN 1992-1-1:—<sup>8</sup> berechnet werden.

(6) Auswirkungen von Boden/Bauwerk-Interaktion sollten nach EN 1998-5:—<sup>4</sup>, Abschnitt 8, in Bezug auf die Art der Gründung berücksichtigt werden.

(7) Die Masse der Flüssigkeit sollte nach EN 1991-1-1:—<sup>20</sup>, Anhang A, unter Verwendung der festgelegten Flüssigkeitsmassen  $\gamma_l$  bestimmt werden. Ist die jeweilige Flüssigkeit nicht in EN 1991-1-1:—<sup>20</sup>, Anhang A, angegeben, sollte das Flüssigkeitsgewicht zuverlässigen Quellen entnommen werden oder darf anhand von Werkstoffprüfungen bestimmt werden.

ANMERKUNG Der Eigentümer oder andere Projektparteien können den Wert der Masse der Flüssigkeit angeben.

(8) Die dynamischen Auswirkungen sollten für den auf Grundlage der Betriebsbedingungen bestimmten Höchstwert des Füllstands berechnet werden. Zwischenwerte des Füllstands dürfen berücksichtigt werden, falls die entsprechenden Schwingungsperioden des leeren oder vollen Tankbauwerks die obere Eckperiode  $T_c$  des angewendeten Antwortspektrums nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 5.2.2.2(1), erreichen.

(9) Tankbauwerke dürfen mit dreidimensionalen Simulationsmodellen für Medium/Bauwerk-Interaktionen berechnet werden, die in der Lage sind, die hydrodynamischen Drücke auf Tankwand und -boden unter Erdbebenerregung, Auswirkungen von Boden/Bauwerk-Interaktionen sowie Gleiten und Auftrieb im Fall unverankerter Tankbauwerke darzustellen.

(10) Die konvektiven, impulsiven und impulsiven flexiblen Auswirkungen von Erdbebeneinwirkungen infolge horizontaler und seismischer Einwirkungen dürfen gesondert mit dynamischen Berechnungsmodellen berechnet werden, bei denen die hydrodynamischen Auswirkungen der Flüssigkeit durch zusätzliche Bauwerksmassen auf der Tankwand berücksichtigt werden.

(11) Das Berechnungsmodell für Tankbauwerke unter horizontalen Erdbebeneinwirkungen darf durch Feder-Masse-Modelle dargestellt werden, welche das hydrodynamische Verhalten durch impulsive starre, impulsive flexible und konvektive Massen mit entsprechenden Hebelarmen beschreiben (Bild 6.1).

(12) Das Berechnungsmodell für Tankbauwerke unter vertikalen Erdbebeneinwirkungen sollte das impulsive starre Verhalten durch die gesamte Flüssigkeitsmasse darstellen, die starr mit dem Tankboden verbunden ist, und das impulsive flexible Verhalten mit der gesamten Flüssigkeitsmasse, die durch eine Feder mit dem Tankboden verbunden ist.

(13) Starre Tankbauwerke dürfen ohne Berücksichtigung der flexiblen impulsiven Schwingungsformen in horizontaler und vertikaler Richtung berechnet werden.

(14) Auswirkungen der Massenträgheit von Tankwand, Dach und nichttragenden Bauteilen sollten für starre und flexible Tankbauwerke berücksichtigt werden.

(15) Gleiten und Auftrieb von unverankerten Tankbauwerken dürfen in den Berechnungsmodellen durch Kontaktformulierungen oder nichtlineare Federn berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Die Erdbebenlasten werden mit den Bezeichnungen und der Legende in Bild 6.1 definiert.

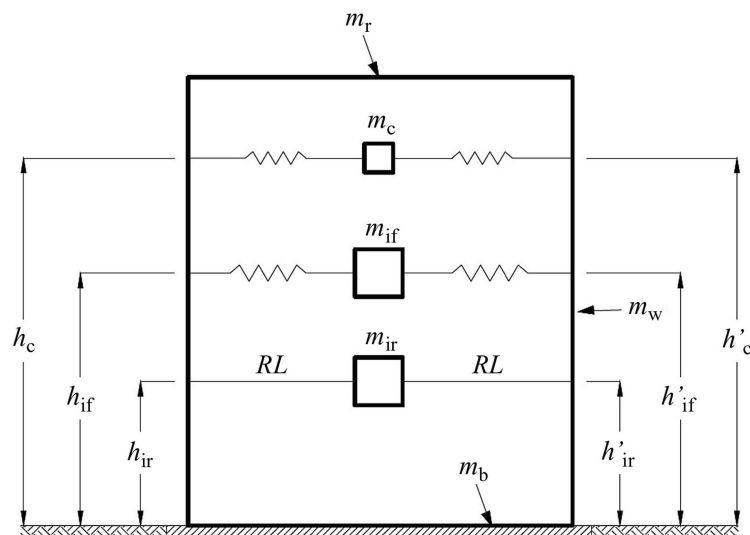


**Bild 6.1 — Feder-Masse-Modell und Bezeichnungen für Tankbauwerke unter horizontalen Erdbebeneinwirkungen**

### Legende

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $RL$                          | starrer Verbinder                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| $m_l$                         | Gesamtmasse der Flüssigkeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $m_w, m_b, m_r$               | Massen von Tankwand, Tankboden und Tankdach                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $m_{ir}, m_{if}, m_c$         | äquivalente impulsive starre, impulsive flexible und konvektive Massen wie in 6.4.1.4 für vertikale zylindrische Tankbauwerke und in 6.5.1.4 für vertikale rechteckige Tankbauwerke definiert                                                                                                                                                                                       |
| $h_{ir}, h_{if}, h_c$         | äquivalente Hebelpunkte ohne Berücksichtigung des Bodendrucks wie in 6.4.1.4 für vertikale zylindrische Tankbauwerke und in 6.5.1.4 für vertikale rechteckige Tankbauwerke definiert                                                                                                                                                                                                |
| $h'_{ir}, h'_{if}, h'_c$      | äquivalente Hebelpunkte unter Berücksichtigung des Bodendrucks wie in 6.4.1.4 für vertikale zylindrische Tankbauwerke und in 6.5.1.4 für vertikale rechteckige Tankbauwerke definiert                                                                                                                                                                                               |
| $T_{ir,h}, T_{if,h}, T_{con}$ | erste Eigenschwingungsperioden der impulsiven starren, impulsiven flexiblen und konvektiven Schwingungsformen wie in 6.4.1.3 für vertikale zylindrische Tankbauwerke und in 6.5.1.3 für vertikale rechteckige Tankbauwerke definiert                                                                                                                                                |
| $T_{ir,v}, T_{if,v}$          | erste Eigenschwingungsperioden der impulsiven starren und impulsiven flexiblen Schwingungsformen in vertikaler Richtung wie in 6.4.1.3 für vertikale zylindrische Tankbauwerke und in 6.5.1.3 für vertikale rechteckige Tankbauwerke definiert                                                                                                                                      |
| $S_r(T_{ir,h})$               | Ordinate des reduzierten Spektrums in horizontaler Richtung bei Schwingungsperiode $T_{ir,h}$ nach EN 1998-1-1:— <sup>2</sup> , 6.4.1(5), unter Verwendung des in 6.3.3 angegebenen Verhaltensbeiwertes                                                                                                                                                                             |
| $S_{rv}(T_{ir,v})$            | Ordinate des reduzierten Spektrums in vertikaler Richtung bei Schwingungsperiode $T_{ir,v}$ nach EN 1998-1-1:— <sup>2</sup> , 6.4.1(6), unter Verwendung des in 6.3.3 angegebenen Verhaltensbeiwertes                                                                                                                                                                               |
| $S_e(T_{con})$                | spektrale Beschleunigung, ermittelt aus einem horizontalen elastischen Antwortspektrum nach EN 1998-1-1:— <sup>2</sup> , 5.2.2.2(1), entsprechend der konvektiven Schwingungsperiode $T_{con}$ und dem Dämpfungswert der Flüssigkeit von 0,5 % [6.3.2(5)]; für konvektive Schwingungsperioden von mehr als 4,0 s sollte EN 1998-1-1:— <sup>2</sup> , 5.2.2.2(13), angewendet werden |
| $S_r(T_{if,h})$               | Ordinate des reduzierten Spektrums in horizontaler Richtung bei Schwingungsperiode $T_{if,h}$ nach EN 1998-1-1:— <sup>2</sup> , 6.4.1(5), unter Verwendung des in 6.3.3 angegebenen Verhaltensbeiwertes                                                                                                                                                                             |
| $S_{rv}(T_{if,v})$            | Ordinate des reduzierten Spektrums in vertikaler Richtung bei Schwingungsperiode $T_{if,v}$ nach EN 1998-1-1:— <sup>2</sup> , 6.4.1(6), unter Verwendung des in 6.3.3 angegebenen Verhaltensbeiwertes                                                                                                                                                                               |

**ANMERKUNG** Nur die ersten Grundschwingungsperioden werden im Rahmen des vorgeschlagenen kraftbasierten Ansatzes in dieser Norm berücksichtigt.

### 6.3.2 Statische Berechnung

(1) Außer bei Anwendung von (2) oder (3) sollten oberirdische und aufgeständerte Tankbauwerke mit oder ohne Stütztragwerke anhand des kräftebasierten Ansatzes mit den in 6.3.1 festgelegten Berechnungsmodellen berechnet werden. Die dynamischen Auswirkungen der konvektiven und impulsiven Schwingungsformen sollten durch äquivalente statische Druckverteilungen auf Tankwand und -boden beschrieben werden.

(2) Oberirdische Tankbauwerke und aufgeständerte Tankbauwerke mit Stütztragwerken dürfen mit nichtlinearen Ansätzen nach EN 1993-1-6:—<sup>7</sup>, 2.2, unter Anwendung nichtlinearer Antwortverlaufs-berechnung sowie der Anwendungsregeln nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.6, berechnet werden.

ANMERKUNG Nichtlineare statische Berechnung von Tankbauwerken mit oder ohne Stütztragwerke wird nicht durch diese Norm abgedeckt.

(3) Die Stütztragwerke von aufgeständerten Tankbauwerken dürfen mittels nichtlinearer statischer Berechnung oder nichtlinearer Antwortverlaufs-berechnung nach EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.5 und EN 1998-1-1:—<sup>2</sup>, 6.6, berechnet werden.

(4) Bei Durchführung nichtlinearer Antwortverlaufs-berechnung dürfen die Dämpfungswerte nach a) und b) verwendet werden:

a)  $\xi = 2 \%$  für Tankbauwerke aus genietetem/geschraubtem und geschweißtem Stahl.

b)  $\xi = 5 \%$  für Tankbauwerke aus Stahlbeton.

c)  $\xi = 2 \%$  für Tankbauwerke aus Spannbetonfertigteilen.

(5) Der Wert von  $\xi = 0,5 \%$  für den Dämpfungswert von Wasser und anderen Flüssigkeiten darf, sofern nicht anders bestimmt, bei Schwappschwingungsformen angewendet werden.

### 6.3.3 Verhaltensbeiwerte

#### 6.3.3.1 Verhaltensbeiwert für die horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung

##### 6.3.3.1.1 Oberirdische Tankbauwerke

(1) Die Verhaltensbeiwertkomponenten für Tankbauwerke der Klasse DC1 sollten entsprechend a) und b) angewendet werden:

a) Tankbauwerke aus genietetem/geschraubtem und geschweißtem Stahl:  $q_R = 1,0$ ,  $q_D = 1,0$ ,  $q_S = 1,2$ ;

b) Tankbauwerke aus Stahlbeton oder Spannbetonfertigteilen:  $q_R = 1,0$ ,  $q_D = 1,0$ ,  $q_S = 1,5$ .

##### 6.3.3.1.2 Stütztragwerke von aufgeständerten Tankbauwerken

(1) Die Verhaltensbeiwerte für DC1, DC2 und DC3 für aufgeständerte Tankbauwerke mit ihren Stütztragwerken sollten entsprechend den maßgebenden Teilen von EN 1998-1-2:—<sup>3</sup> angewendet werden.

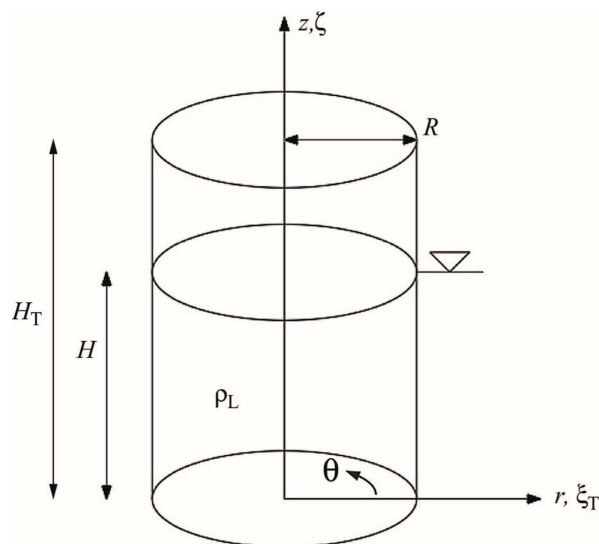
#### 6.3.3.2 Verhaltensbeiwert für die vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung

(1) Der Verhaltensbeiwert  $q_v$  für das Tankbauwerk und vorhandene Stütztragwerke sollte als  $\min(q, 1,5)$  angewendet werden, wobei  $q$  der Verhaltensbeiwert für die nach 6.3.3.1.1 auf das Tankbauwerk angewendete horizontale Komponente der Erdbebeneinwirkung ist.

## 6.4 Erdbebenlasten entsprechend dem kraftbasierten Ansatz für vertikale zylindrische Tankbauwerke

### 6.4.1 Oberirdische verankerte Tankbauwerke

ANMERKUNG Die Erdbebenlasten werden mit den Bezeichnungen in Bild 6.2 definiert.



#### Legende

|                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| $H$            | Füllhöhe                              |
| $H_T$          | Tankhöhe                              |
| $R$            | Radius                                |
| $\xi_T = r/R$  | dimensionsloser Radius                |
| $\zeta = z/H$  | dimensionslose Höhe                   |
| $\theta$       | Umfangswinkel                         |
| $\gamma = H/R$ | Verhältnis von Füllhöhe zu Tankradius |

**Bild 6.2 — Bezeichnungen für vertikale zylindrische Tankbauwerke**

#### 6.4.1.1 Gesamt-Basisdruckkraft, Umsturzmoment und vertikale Reaktionskraft am Tankboden

##### 6.4.1.1.1 Impulsive starre Auflagerreaktionen

(1) Die größte impulsive starre Basisdruckkraft  $F_{b,ir,h}$ , die impulsive starre vertikale Reaktionskraft  $F_{b,ir,v}$ , das impulsive starre Moment unmittelbar oberhalb der Bodenplatte  $M_{W,ir,h}$  bzw. das größte starre impulsive Moment unterhalb der Bodenplatte  $M_{G,ir,h}$ , einschließlich der Basisdruckkomponente, dürfen unter Verwendung von Gleichung (6.1) bis Gleichung (6.4) berechnet werden.

$$F_{b,ir,h} = m_{ir} S_r(T_{ir,h}) \quad (6.1)$$

$$F_{b,ir,v} = m_l S_{rv}(T_{ir,v}) \quad (6.2)$$

$$M_{W,ir,h} = F_{b,ir,h} h_{ir} \quad (6.3)$$

$$M_{G,ir,h} = F_{b,ir,h} h'_{ir} \quad (6.4)$$

(2) Die impulsiven starren Auflagerreaktionen dürfen als Integrale aus den in 6.4.1.2 angegebenen Druckfunktionen unter Verwendung von Gleichung (6.5) bis Gleichung (6.8) berechnet werden.

ANMERKUNG In diesem speziellen Fall sind diese Gleichungen genauer als Gleichung (6.1) bis Gleichung (6.4).

$$F_{b,ir,h} = C_{F,ir,h} \Gamma_{ir,h} m_l S_r(T_{ir,h}) \quad (6.5)$$

$$F_{b,ir,v} = \Gamma_{ir,v} \rho_L H S_{rv}(T_{ir,v}) \pi R^2 \quad (6.6)$$

$$M_{W,ir,h} = C_{MW,ir,h} \Gamma_{ir,h} m_l H S_r(T_{ir,h}) \quad (6.7)$$

$$M_{G,ir,h} = C_{M,ir,h} \Gamma_{ir,h} \pi R^4 \rho_L S_r(T_{ir,h}) \quad (6.8)$$

Dabei ist

- |                 |                                                                                                                |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_{F,ir,h}$    | der Koeffizient der impulsiven starren Basisschubkraft nach Anhang A, Tabelle A.7;                             |
| $C_{MW,ir,h}$   | der Koeffizient des impulsiven starren Umsturzmoments oberhalb der Bodenplatte nach Anhang A, Tabelle A.7;     |
| $C_{M,ir,h}$    | der Koeffizient des impulsiven starren Umsturzmoments auf der Bodenplatte nach Anhang A, Tabelle A.7;          |
| $\Gamma_{ir,h}$ | der Anteilsfaktor der impulsiven starren Druckschwingungsform nach Anhang A, Tabelle A.7;                      |
| $\Gamma_{ir,v}$ | der Anteilsfaktor der impulsiven starren Druckschwingungsform in vertikaler Richtung:<br>$\Gamma_{ir,v} = 1$ ; |
| $T_{ir,h}$      | die Periode der impulsiven starren Schwingungsform in horizontaler Richtung nach 6.4.1.3.2;                    |
| $T_{ir,v}$      | die Periode der impulsiven starren Schwingungsform in vertikaler Richtung nach 6.4.1.3.3.                      |

#### **6.4.1.1.2 Konvektive Auflagerreaktionen**

(1) Die konvektive Basisschubkraft  $F_{b,c}$ , das konvektive Moment unmittelbar oberhalb der Bodenplatte  $M_{W,c}$  bzw. das konvektive Moment am Boden  $M_{G,c}$ , einschließlich der Basisdruckkomponente infolge der ersten Schwappschwingungsform, dürfen unter Verwendung von Gleichung (6.9) bis Gleichung (6.11) berechnet werden.

$$F_{b,c} = m_c S_e(T_{con}) \quad (6.9)$$

$$M_{W,c} = F_{b,c} h_c \quad (6.10)$$

$$M_{G,c} = F_{b,c} h'_c \quad (6.11)$$

(2) Die konvektiven Auflagerreaktionen dürfen als Integrale aus den in 6.4.1.2 angegebenen Druckfunktionen unter Verwendung von Gleichung (6.12) bis Gleichung (6.14) berechnet werden.

ANMERKUNG In diesem speziellen Fall sind diese Gleichungen genauer als Gleichung (6.9) bis Gleichung (6.11).

$$F_{b,c} = C_{F,c} \Gamma_c m_l S_e(T_{con}) \quad (6.12)$$

$$M_{W,c} = C_{MW,c} \Gamma_c m_l H S_e(T_{con}) \quad (6.13)$$

$$M_{G,c} = C_{M,c} \Gamma_c \pi R^4 \rho_L S_e(T_{con}) \quad (6.14)$$

Dabei ist

- |            |                                                                               |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $\Gamma_c$ | der Anteilsfaktor der konvektiven Druckkomponente nach Anhang A, Tabelle A.7; |
| $C_{F,c}$  | der Koeffizient der konvektiven Basisschubkraft nach Anhang A, Tabelle A.7;   |

- $C_{MW,c}$  der Koeffizient des konvektiven Umsturzmoments oberhalb der Bodenplatte nach Anhang A, Tabelle A.7;
- $C_{M,c}$  der Koeffizient des konvektiven Umsturzmoments auf der Bodenplatte nach Anhang A, Tabelle A.7;
- $T_{con}$  die Periode der konvektiven Schwingungsform nach 6.4.1.3.1.

#### 6.4.1.1.3 Impulsive flexible Auflagerreaktionen

(1) Die impulsive flexible horizontale Basisschubkraft  $F_{b,if,h}$ , die impulsive flexible vertikale Reaktionskraft  $F_{b,if,v}$ , das impulsive flexible Moment unmittelbar oberhalb der Bodenplatte  $M_{W,if,h}$  bzw. das impulsive flexible Moment unterhalb der Bodenplatte  $M_{G,if,h}$ , einschließlich der Basisdruckkomponente, sollten unter Verwendung von Gleichung (6.15) bis Gleichung (6.18) berechnet werden.

$$F_{b,if,h} = C_{F,if,h} F_{if,h} m_l (S_r(T_{if,h}) - S_r(T_{ir,h})) \quad (6.15)$$

$$F_{b,if,v} = \frac{8}{\pi^2} \beta_c(\gamma) H \rho_L S_{rv}(T_{if,v}) \pi R^2 \quad (6.16)$$

$$M_{W,if,h} = C_{MW,if,h} F_{if,h} m_l H (S_r(T_{if,h}) - S_r(T_{ir,h})) \quad (6.17)$$

$$M_{G,if,h} = C_{M,if,h} F_{if,h} m_L \frac{R^2}{H} (S_r(T_{if,h}) - S_r(T_{ir,h})) \quad (6.18)$$

Dabei ist

- $C_{F,if,h}$  der dimensionslose Koeffizient der impulsiven flexiblen Basisschubkraft nach Anhang, Tabelle A.7;
- $C_{MW,if,h}$  der Koeffizient des impulsiven flexiblen Umsturzmoments oberhalb der Bodenplatte nach Anhang, Tabelle A.7;
- $C_{M,if,h}$  der Koeffizient des impulsiven flexiblen Umsturzmoments auf der Bodenplatte nach Anhang A, Tabelle A.7;
- $\beta_c(\gamma)$  der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Auswirkung infolge Einspannung nach Anhang A, Tabelle A.5;
- $F_{if,h}$  der Anteilsfaktor der impulsiven flexiblen horizontalen Schwingungsform nach Anhang A, Tabelle A.7;
- $T_{if,h}$  die Periode der impulsiven flexiblen Schwingungsform in horizontaler Richtung nach 6.4.1.3.4;
- $T_{if,v}$  die Periode der impulsiven flexiblen Schwingungsform in vertikaler Richtung nach 6.4.1.3.5. Die größte Spektralbeschleunigung  $S_{rv}(T_{if,v})$  im Bereich der konstanten Beschleunigung darf verwendet werden, wenn die Periode  $T_{if,v}$  nicht explizit berechnet wird.

#### 6.4.1.1.4 Auflagerreaktionen für starre Tankbauwerke infolge der Auswirkungen von Massenträgheit

(1) Die horizontale Basisschubkraft  $F_{b,inr,h}$ , die vertikale Reaktionskraft  $F_{b,in,v}$  und das Moment oberhalb der Bodenplatte  $M_{W,inr,h}$  infolge der Auswirkungen von Trägheit in Bezug auf Tankwand, Dach und nichttragende Bauteile darf mit den Höhen der Schwerpunkte von Tankwand  $h_w$  und Dach  $h_r$ , der Schwingungsperiode  $T_{ir,h}$  (6.4.1.3.2) und der Schwingungsperiode  $T_{ir,v}$  (6.4.1.3.3) unter Verwendung von Gleichung (6.19) bis Gleichung (6.21) berechnet werden.

$$F_{b, \text{inr}, h} = (m_w + m_r) S_r(T_{ir, h}) \quad (6.19)$$

$$F_{b, \text{inr}, v} = (m_w + m_r) S_r(T_{ir, v}) \quad (6.20)$$

$$M_{W, \text{inr}, h} = (m_w h_w + m_r h_r) S_r(T_{ir, h}) \quad (6.21)$$

#### **6.4.1.1.5 Auflagerreaktionen für flexible Tankbauwerke infolge der Auswirkungen von Massenträgheit**

(1) Die horizontale Basisschubkraft  $F_{b, \text{inf}, h}$ , die vertikale Reaktionskraft  $F_{b, \text{inf}, v}$  und das Moment oberhalb der Bodenplatte  $M_{W, \text{inf}, h}$  infolge der Auswirkungen von Trägheit in Bezug auf Tankwand, Dach und nichttragende Bauteile darf mit den Höhen der Schwerpunkte von Tankdach  $h_r$ , Hebelarm  $h_w$ , berechnet als zwei Drittel der Tankhöhe  $H_T$ , Schwingungsperiode  $T_{if, h}$  (6.4.1.3.4) und Schwingungsperiode  $T_{if, v}$  (6.4.1.3.5) unter Verwendung von Gleichung (6.22) bis Gleichung (6.24) berechnet werden.

$$F_{b, \text{inf}, h} = (m_w + m_r) (S_r(T_{if, h}) - S_r(T_{ir, h})) \quad (6.22)$$

$$F_{b, \text{inf}, v} = (m_w + m_r) S_r(T_{if, v}) \quad (6.23)$$

$$M_{W, \text{inf}, h} = (m_w h_w + m_r h_r) (S_r(T_{if, h}) - S_r(T_{ir, h})) \quad (6.24)$$

#### **6.4.1.2 Erdbebendrucke auf Tankwand und -boden**

##### **6.4.1.2.1 Impulsive starre Druckkomponente für horizontale Erdbebeneinwirkungen**

(1) Die impulsive starre Druckfunktion  $p_{ir, h}$  auf der Tankwand darf nach Gleichung (6.25) berechnet werden.

$$p_{ir, h}(\xi_T = 1, \zeta, \theta, T_{ir, h}) = C_{ir, h}(\zeta, \gamma) \Gamma_{ir, h} \rho_L R \cos(\theta) S_r(T_{ir, h}) \quad (6.25)$$

Dabei ist

$C_{ir, h}(\zeta, \gamma)$  die dimensionslose impulsive starre Druckfunktion nach Anhang A, Tabelle A.2;

$\Gamma_{ir, h}$  der Anteilsfaktor der impulsiven starren Druckkomponente nach Anhang A, Tabelle A.7;

$T_{ir, h}$  die Periode der impulsiven starren Schwingungsform in horizontaler Richtung nach 6.4.1.3.2.

(2) Die impulsive starre Druckfunktion  $p_{ir, h}$  auf dem Tankboden darf nach Gleichung (6.25) mit  $\zeta = 0$  berechnet werden.

##### **6.4.1.2.2 Impulsive starre Druckkomponente für vertikale Erdbebeneinwirkungen**

(1) Die impulsive starre Druckfunktion  $p_{ir, v}$  auf der Tankwand darf nach Gleichung (6.26) berechnet werden.

$$p_{ir, v}(\zeta, T_{ir, v}) = \Gamma_{ir, v} \rho_L [H (1 - \zeta)] S_{rv}(T_{ir, v}) \quad (6.26)$$

Dabei ist

$\Gamma_{ir, v}$  der Anteilsfaktor des impulsiven starren Drucks in vertikaler Richtung:  $\Gamma_{ir, v} = 1$ ;

$T_{ir, v}$  die Periode der impulsiven starren Schwingungsform in vertikaler Richtung nach 6.4.1.3.3.

(2) Der impulsive starre Druck auf den Tankboden darf nach Gleichung (6.26) mit  $\zeta = 0$  berechnet werden.

#### 6.4.1.2.3 Konvektive Druckkomponente für horizontale Erdbebeneinwirkungen

(1) Die konvektive Druckfunktion  $p_c$  auf der Tankwand darf nach Gleichung (6.27) berechnet werden.

$$p_c(\xi_T = 1, \zeta, \theta, T_{\text{con}}) = C_c(\zeta, \gamma) \Gamma_c \rho_L R \cos(\theta) S_e(T_{\text{con}}) \quad (6.27)$$

Dabei ist

- $C_c(\zeta, \gamma)$  die dimensionslose konvektive Druckfunktion nach Anhang A, Tabelle A.1;
- $\Gamma_c$  der Anteilsfaktor der konvektiven Druckkomponente nach Anhang A, Tabelle A.7;
- $T_{\text{con}}$  die Periode der konvektiven Schwingungsform nach 6.4.1.3.1.

(2) Die konvektive Druckfunktion  $p_c$  auf dem Tankboden darf nach Gleichung (6.27) mit  $\zeta = 0$  berechnet werden.

#### 6.4.1.2.4 Impulsive flexible Druckkomponente für horizontale Erdbebeneinwirkungen

(1) Die impulsive flexible Druckkomponente  $p_{\text{if,h}}$  auf der Tankwand darf nach Gleichung (6.28) berechnet werden.

$$p_{\text{if,h}}(\xi_T = 1, \theta, \zeta, T_{\text{if,h}}) = C_{\text{if,h}}(\zeta, \gamma) \Gamma_{\text{if,h}} \rho_L R \cos(\theta) (S_r(T_{\text{if,h}}) - S_r(T_{\text{ir,h}})) \quad (6.28)$$

Dabei ist

- $C_{\text{if,h}}(\zeta, \gamma)$  die dimensionslose impulsive flexible Druckfunktion nach Anhang A, Tabelle A.3;
- $\Gamma_{\text{if,h}}$  der Anteilsfaktor der impulsiven flexiblen horizontalen Schwingungsform nach Anhang A, Tabelle A.7;
- $T_{\text{if,h}}$  die Periode der impulsiven flexiblen Schwingungsform in horizontaler Richtung nach 6.4.1.3.4.

(2) Die impulsive flexible Druckfunktion  $p_{\text{if,h}}$  auf dem Tankboden darf nach Gleichung (6.28) mit  $\zeta = 0$  berechnet werden.

#### 6.4.1.2.5 Impulsive flexible Druckkomponente für vertikale Erdbebeneinwirkungen

(1) Die impulsive flexible Druckkomponente  $p_{\text{if,v}}$  auf der Tankwand darf nach Gleichung (6.29) berechnet werden.

$$p_{\text{if,v}}(\xi_T = 1, \zeta, T_{\text{if,v}}) = C_{\text{if,v}}(\zeta, \gamma) \Gamma_{\text{if,v}} \rho_L R S_{\text{rv}}(T_{\text{if,v}}) \quad (6.29)$$

Dabei ist

- $C_{\text{if,v}}(\zeta, \gamma)$  die dimensionslose impulsive flexible Druckfunktion nach Anhang A, Tabelle A.4;
- $\Gamma_{\text{if,v}}$  der Anteilsfaktor der impulsiven flexiblen vertikalen Schwingungsform nach Anhang A, Tabelle A.6;
- $T_{\text{if,v}}$  die Periode der impulsiven flexiblen Schwingungsform in vertikaler Richtung nach 6.4.1.3.5. Die größte Spektralbeschleunigung  $S_{\text{rv}}(T_{\text{if,v}})$  im Bereich der konstanten Beschleunigung darf verwendet werden, wenn die Schwingungsperiode  $T_{\text{if,v}}$  nicht explizit berechnet wird.

(2) Die impulsive flexible Druckfunktion  $p_{\text{if,v}}$  auf dem Tankboden darf nach Gleichung (6.29) mit  $\zeta = 0$  berechnet werden.

#### **6.4.1.2.6 Auswirkungen von Massenträgheit infolge der Tankmasse bei flexiblen Tankbauwerken**

(1) Die Auswirkungen von Massenträgheit in Bezug auf Tankwand, Dach und nichttragende Bauteile dürfen in der Berechnung des impulsiven flexiblen hydrodynamischen Drucks berücksichtigt werden, indem die horizontalen  $p_{if,h}$  (6.4.1.2.4) und vertikalen  $p_{if,v}$  (6.4.1.2.5) impulsiven flexiblen Druckkomponenten mit den Erhöhungsfaktoren  $I_{if,h}$ ,  $I_{if,v}$  erhöht werden. Die Faktoren dürfen mit den Schwingungsperioden  $T_{if,h}$  (6.4.1.3.4) und  $T_{if,v}$  (6.4.1.3.5) sowie den Basisschubkräften  $F_{b,if,h}$  [Gleichung (6.15)] und  $F_{b,if,v}$  [Gleichung (6.16)] nach Gleichung (6.30) und Gleichung (6.31) berechnet werden.

$$I_{if,h} = 1 + \frac{m_w + m_r}{\frac{F_{b,if,h}}{S_r(T_{if,h})}} \quad (6.30)$$

$$I_{if,v} = 1 + \frac{m_w + m_r}{\frac{F_{b,if,v}}{S_r(T_{if,v})}} \quad (6.31)$$

(2) Die Auswirkungen von Trägheit bei dünnwandigen Stahltanks dürfen vernachlässigt werden.

#### **6.4.1.2.7 Auswirkungen von Massenträgheit infolge der Tankmasse bei starren Tankbauwerken**

(1) Die Auswirkungen von Massenträgheit in Bezug auf Tankwand, Dach und nichttragende Bauteile sollten zu den horizontalen und vertikalen impulsiven starren hydrodynamischen Drücken addiert werden.

(2) Die vertikalen und horizontalen Auswirkungen von Massenträgheit dürfen mit den Schwingungsperioden  $T_{ir,h}$  (6.4.1.3.2) und  $T_{ir,v}$  (6.4.1.3.3) durch Aufbringen eines gleichmäßigen Drucks auf Tankwand und -dach in Richtung der Erdbebeneinwirkung nach Gleichung (6.32) und Gleichung (6.33) berechnet werden.

$$p_{inr,h} = \rho_{sw} s_w S_r(T_{ir,h}) \quad (6.32)$$

$$p_{inr,v} = \rho_{sw} s_w S_{rv}(T_{ir,v}) \quad (6.33)$$

Dabei ist

$\rho_{sw}$  die Dichte von Tankwand oder -dach;

$s_w$  die gleichmäßige Dicke der Tankwand oder die mittlere Dicke im Fall von gestufter Waddickenänderung entlang der Tankhöhe.

#### **6.4.1.3 Grundswingungsperioden**

##### **6.4.1.3.1 Konvektive Schwingungsform**

(1) Die erste Eigenschwingungsperiode  $T_{con}$  der konvektiven Schwingungsform darf nach Gleichung (6.34) berechnet werden.

$$T_{con} = \frac{2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}}{\sqrt{1,841 \tanh\left(\frac{1,841H}{R}\right)}} \quad (6.34)$$

#### 6.4.1.3.2 Impulsive starre Schwingungsform in horizontaler Richtung

(1) Im Fall von Tankbauwerken ohne Berücksichtigung der Boden/Bauwerk-Interaktion sollte die Periode  $T_{ir,h}$  der impulsiven starren Schwingungsform gleich null gesetzt werden.

(2) Die Periode  $T_{ir,h}$  der impulsiven starren Schwingungsform des Tank/Gründung-Systems, einschließlich Boden/Bauwerk-Interaktion, darf nach Anhang B, B.3, berechnet werden.

#### 6.4.1.3.3 Impulsive starre Schwingungsform in vertikaler Richtung

(1) Im Fall von starren Tankbauwerken ohne Berücksichtigung der Boden/Bauwerk-Interaktion sollte die Periode  $T_{ir,v}$  der vertikalen impulsiven starren Schwingungsform gleich null gesetzt werden.

(2) Die Periode  $T_{ir,v}$  der vertikalen impulsiven starren Schwingungsform des Tank/Gründung-Systems, einschließlich Boden/Bauwerk-Interaktion, darf nach Anhang B, B.4, berechnet werden.

#### 6.4.1.3.4 Impulsive flexible Schwingungsform in horizontaler Richtung

(1) Im Fall von flexiblen Tankbauwerken ohne Berücksichtigung der Boden/Bauwerk-Interaktion sollte die Periode  $T_{if,v}$  der impulsiven flexiblen Schwingungsform mit dem Elastizitätsmodul  $E$  der Tankwand und dem Korrekturfaktor nach Anhang A, Tabelle A.8, unter Verwendung von Gleichung (6.35) berechnet werden.

$$T_{if,h} = 2R F_h(\gamma) \sqrt{\frac{\rho_L H}{E s_w \left( \zeta = \frac{1}{3} \right)}} \quad (6.35)$$

(2) Die Periode  $T_{if,h}$  der impulsiven flexiblen Schwingungsform des Tank/Gründung-Systems, einschließlich Boden/Bauwerk-Interaktion, darf nach Anhang B, B.5, berechnet werden.

#### 6.4.1.3.5 Impulsiver flexibler Schwingungseigenform in vertikaler Richtung

(1) Im Fall von flexiblen Tankbauwerken ohne Berücksichtigung der Boden/Bauwerk-Interaktion sollte die Periode  $T_{if,v}$  der impulsiven flexiblen vertikalen Schwingungsform mit der Poissonzahl  $\nu$  des Tankwerkstoffs und dem Korrekturfaktor  $F_v(\gamma)$  nach Anhang A, Tabelle A.9, unter Verwendung von Gleichung (6.36) berechnet werden.

$$T_{if,v} = 2R F_v(\gamma) \sqrt{\frac{\rho_L H (1 - \nu^2)}{E s_w \left( \zeta = \frac{1}{3} \right)}} \quad (6.36)$$

(2) Die Periode  $T_{if,v}$  der impulsiven flexiblen Schwingungsform des Tank/Gründung-Systems, einschließlich Boden/Bauwerk-Interaktion, darf nach Anhang B, B.6, berechnet werden.

#### 6.4.1.4 Impulsive starre und konvektive Massen und Hebelarme

(1) Die impulsive starre Masse  $m_{ir}$  sowie die entsprechenden Hebelarme  $h_{ir}$  und  $h'_{ir}$  für Tankbauwerke aus geschweißtem und genietetem/geschraubtem Stahl dürfen nach entweder a) oder b) berechnet werden:

a) bei  $\gamma \leq 1,5$  unter Verwendung von Gleichung (6.37) bis Gleichung (6.39).

$$\frac{m_{ir}}{m_l} = \frac{\tanh\left(\frac{\sqrt{3}}{\gamma}\right)}{\frac{\sqrt{3}}{\gamma}} \quad (6.37)$$