

**DIN EN 16681**

ICS 53.080

**Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl –  
Verstellbare Palettenregale –  
Leitsätze für die erdbebensichere Bemessung;  
Deutsche Fassung EN 16681:2016**

Steel static storage systems –  
Adjustable pallet racking systems –  
Principles for seismic design;  
German version EN 16681:2016

Systèmes de stockage statique en acier –  
Systèmes de rayonnages à tablettes ajustables –  
Principes pour le calcul parasismique;  
Version allemande EN 16681:2016

Gesamtumfang 87 Seiten

DIN-Normenausschuss Eisen-, Blech- und Metallwaren (NAEBM)

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument enthält sicherheitstechnische Festlegungen im Sinne des Gesetzes über die Neuordnung des Geräte- und Produktsicherheitsrechts (Produktsicherheitsgesetz — ProdSG). Sofern die Norm vom Ausschuss für Produktsicherheit ermittelt und deren Fundstelle von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben worden ist, wird bei verstellbaren Palettenregalen, die nach dieser Norm hergestellt werden, vermutet, dass sie den betreffenden Anforderungen an Sicherheit und Gesundheit von Personen genügen.

Dieses Dokument (EN 16681:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“, dessen Sekretariat von UNI (Italien) gehalten wird, erarbeitet.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 020-00-17 AA „Statische Regale aus Stahl“ im DIN-Normenausschuss Eisen-, Blech- und Metallwaren (NAEBM), der auch die Deutsche Fassung erstellt hat.

Deutsche Fassung

Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl —  
Verstellbare Palettenregale —  
Leitsätze für die erdbebensichere Bemessung

Steel static storage systems —  
Adjustable pallet racking systems —  
Principles for seismic design

Systèmes de stockage statique en acier —  
Systèmes de rayonnages à tablettes ajustables —  
Principes pour le calcul parasismique

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. April 2016 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                           | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort.....                                                                 | 5     |
| 0 Einleitung.....                                                                         | 6     |
| 0.1 Auswirkungen von Erdbebeneinwirkungen auf Regalsysteme .....                          | 6     |
| 0.2 Bedarf an EN-Normen für Regale und Fachbodenregale in Ergänzung zu den Eurocodes..... | 6     |
| 0.3 Zusammenarbeit .....                                                                  | 7     |
| 0.4 Zusatzinformation, spezifisch für EN 16681 .....                                      | 7     |
| 1 Anwendungsbereich.....                                                                  | 8     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                            | 8     |
| 3 Begriffe .....                                                                          | 9     |
| 4 Symbole und Abkürzungen .....                                                           | 10    |
| 4.1 Symbole .....                                                                         | 10    |
| 4.2 Abkürzungen .....                                                                     | 13    |
| 5 Leistungsanforderungen und Konformitätskriterien.....                                   | 13    |
| 5.1 Anwendbarkeit .....                                                                   | 13    |
| 5.2 Leistungsanforderungen.....                                                           | 13    |
| 5.2.1 Anforderung der Einsturzsicherheit.....                                             | 13    |
| 5.2.2 Anforderung der Schadensbegrenzung .....                                            | 13    |
| 5.2.3 Bewegung der Ladeeinheiten.....                                                     | 13    |
| 6 Bodenbeschaffenheit und Erdbebeneinwirkungen .....                                      | 14    |
| 6.1 Allgemeines.....                                                                      | 14    |
| 6.2 Dämpfung.....                                                                         | 14    |
| 6.3 Bedeutungsbeiwert $\gamma_1$ .....                                                    | 14    |
| 6.4 Horizontalkomponente der Erdbebeneinwirkung .....                                     | 15    |
| 6.5 Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung .....                                       | 15    |
| 6.6 Bemessungs-Bodenverschiebung .....                                                    | 16    |
| 6.7 Regale in Stockwerken .....                                                           | 16    |
| 7 Berechnungsmethoden .....                                                               | 16    |
| 7.1 Allgemeines.....                                                                      | 16    |
| 7.2 Begrenzung der Vertikallast bezogen auf die kritische Euler-Last.....                 | 16    |
| 7.3 Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung .....                | 17    |
| 7.4 Berechnungsverfahren.....                                                             | 18    |
| 7.4.1 Allgemeines.....                                                                    | 18    |
| 7.4.2 Effekte 2. Ordnung .....                                                            | 18    |
| 7.4.3 Querkraftberechnungsmethode (LFMA) .....                                            | 19    |
| 7.4.4 Modale Antwortspektrum-Analyse (MRSA) .....                                         | 21    |
| 7.4.5 Großverschiebungsberechnungsmethode (LDMA) .....                                    | 21    |
| 7.4.6 Kombination der Effekte aufgrund der Komponenten der Erdbebeneinwirkung .....       | 22    |
| 7.4.7 Verschiebungsberechnung.....                                                        | 22    |
| 7.5 Bemessungsparameter für die seismische Berechnung.....                                | 22    |
| 7.5.1 Allgemeines.....                                                                    | 22    |
| 7.5.2 Bemessungsspektrum - Änderungsfaktoren.....                                         | 23    |
| 7.5.3 Ladeinheit-Träger-Reibungsbeiwerte .....                                            | 24    |
| 7.5.4 Bemessung des seismischen Gewichts der Ladeinheit .....                             | 24    |
| 7.5.5 Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeinheit.....                                 | 25    |

|        |                                                                                                                                    |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.5.6  | Sonstige seismische Gewichte .....                                                                                                 | 25 |
| 7.5.7  | Gewicht der seismischen Massen.....                                                                                                | 26 |
| 7.5.8  | Position des Schwerpunkts der Ladeinheit.....                                                                                      | 26 |
| 7.5.9  | Positionierungstoleranzen.....                                                                                                     | 28 |
| 7.5.10 | Kriterien für konstruktive Regelmäßigkeit .....                                                                                    | 28 |
| 7.6    | Annahmen zur Modellbildung für die statische Berechnung.....                                                                       | 29 |
| 7.6.1  | Teilmodelle .....                                                                                                                  | 29 |
| 7.6.2  | Verteilung der Massen .....                                                                                                        | 29 |
| 7.6.3  | Spezifische Modellabbildungsanforderungen bei der Berechnung.....                                                                  | 30 |
| 7.6.4  | Momentenausgleichsverfahren am Fuß der Stütze wegen Bodenverhaltens .....                                                          | 31 |
| 8      | Besondere Regeln.....                                                                                                              | 32 |
| 8.1    | Bemessungskonzepte .....                                                                                                           | 32 |
| 8.1.1  | Allgemeines.....                                                                                                                   | 32 |
| 8.1.2  | Material .....                                                                                                                     | 33 |
| 8.1.3  | Tragwerksysteme.....                                                                                                               | 33 |
| 8.1.4  | Regelmäßigkeitskriterien .....                                                                                                     | 34 |
| 8.1.5  | Nicht ausgesteifte Regale .....                                                                                                    | 39 |
| 8.1.6  | Vorschriften für die Bemessung niedrig-dissipativer Tragwerke .....                                                                | 40 |
| 8.1.7  | Auslegungsregeln für dissipative Tragwerke .....                                                                                   | 41 |
| 8.1.8  | Verankerungsbedingungen.....                                                                                                       | 41 |
| 8.2    | Erdbebenresistente Konstruktionen .....                                                                                            | 42 |
| 8.3    | Tragwerktypen und Verhaltensbeiwert .....                                                                                          | 42 |
| 8.3.1  | Ständerrahmen .....                                                                                                                | 42 |
| 8.3.2  | Momenten widerstehende Rahmen .....                                                                                                | 44 |
| 8.3.3  | Regale mit Vertikalverbänden in Ganglängsrichtung .....                                                                            | 46 |
| 9      | Erdbebenberechnung und -auslegung.....                                                                                             | 48 |
| 9.1    | Einwirkungen .....                                                                                                                 | 48 |
| 9.1.1  | Einwirkungen, die gleichzeitig mit dem Erdbeben zu berücksichtigen sind .....                                                      | 48 |
| 9.1.2  | Einwirkungen, die nicht gleichzeitig mit dem Erdbeben zu berücksichtigen sind .....                                                | 49 |
| 9.2    | Sicherheitsprüfungen .....                                                                                                         | 49 |
| 9.2.1  | Äußerste Grenzzustände .....                                                                                                       | 49 |
| 9.2.2  | Bewegungen der Ladeeinheiten .....                                                                                                 | 50 |
| 9.3    | Bemessung der Palettenträger .....                                                                                                 | 51 |
| 9.3.1  | Einwirkungen auf Palettenträger .....                                                                                              | 51 |
| 9.3.2  | Knicklänge in der Horizontalebene.....                                                                                             | 53 |
| 9.3.3  | Berichtigungsbeiwert für Horizontalbiegung.....                                                                                    | 53 |
| 9.3.4  | Knicklängenbeiwert in der Vertikalebene.....                                                                                       | 54 |
| 9.3.5  | Prüfung der Trägerbemessung.....                                                                                                   | 54 |
|        | Anhang A (informativ) Analysemethoden einschließlich Effekten 2. Ordnung .....                                                     | 55 |
|        | Anhang B (normativ) Ermittlung des Ladeinheit-Träger-Reibungsbeiwerts .....                                                        | 62 |
|        | Anhang C (informativ) Grundlagen der Modellabbildung der Massen der Ladeeinheiten.....                                             | 68 |
|        | Anhang D (informativ) Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Einflusses des<br>Palettenschwerpunktes auf die Trägerebene ..... | 71 |
|        | Anhang E (informativ) Grundlagen für die Bemessung stockwerkunterstützter Regale.....                                              | 72 |
|        | Anhang F (normativ) Zusätzliche Ausführungsregeln für dissipative Elemente (Konzept B) .....                                       | 74 |
|        | Anhang G (normativ) Prüfverfahren für Träger-Stütze-Verbindungen bei dissipativer<br>Bemessung (Konzept B) .....                   | 75 |
|        | Anhang H (informativ) Stabilitätsbewertung der Ladeinheit .....                                                                    | 78 |
|        | Anhang I (informativ) Zwischen dem Planer/Endbenutzer und dem Regallieferanten<br>auszutauschende Daten .....                      | 80 |

Anhang J (normativ) Zusätzliche Regeln zu EN 15635.....81

Anhang K (informativ) Zusätzliche Regeln zu EN 15629 – Kategorie der Lagerhausumgebungsbedingungen .....82

Anhang L (informativ) A-Abweichungen .....83

Literaturhinweise .....85

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (EN 16681:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2016 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## **0 Einleitung**

### **0.1 Auswirkungen von Erdbebeneinwirkungen auf Regalsysteme**

Regalsysteme sind tragende Konstruktionen zur Ein- und Auslagerung von Gütern in Lagern. Die zu lagern- den Güter sind üblicherweise auf Paletten oder in Gitterboxen untergebracht.

Regalsysteme sind aus Stahlbauteilen errichtet. Auch wenn die Bauteile standardisiert sind, sind sie nur für den jeweiligen Hersteller Standard. Diese Bauteile unterscheiden sich von herkömmlichen Konstruktionen aus Stützen und Trägern durch folgende Merkmale:

- a) kontinuierlich gelochte Stützen;
- b) einhakende Anschlüsse;
- c) Konstruktionsteile für Regale bestehen üblicherweise aus dünnwandigen, kaltgeformten Bauelementen.

In Bezug auf die Beladung ist das Eigengewicht der Regalkonstruktion normalerweise sehr niedrig oder unerheblich hinsichtlich der Gesamtmasse, wohingegen in einem typischen Bauwerk der Anteil von Eigenlast und ruhender Belastung viel größer ist.

Beschaffenheit und Verteilung der in Regalsystemen gelagerten Güter haben sehr starken Einfluss auf die Antwort und Sicherheit der Konstruktion bei seismischen Einwirkungen. Das bedeutet:

- Ladeeinheiten werden durch die Regalkonstruktion generell nur vertikal gestützt und nur durch Reibung in ihrer Position gehalten, wenn sie durch Trägheitseinwirkungen belastet werden.
- Ladeeinheiten sind generell Unterbauten mit unterschiedlichen dynamischen Eigenschaften bezogen auf Schwingungszahl und Dämpfung, und ihr Verhalten beeinflusst die Antwort des Systems.

Bei wirklichen Erdbeben oder einem auf Rütteltischen simulierten Erdbeben wurden Bewegungen von Paletten auf Palettenträgern beobachtet. Diese waren entweder sehr gering und haben zur Dissipation der Energie durch Reibung beigetragen, oder sehr stark mit Bewegung der Paletten, die ihr Herunterfallen durch Zwischenräume zwischen den Trägern oder vom Regal herunter in den Gang hervorriefen. Aus diesem Grund haben die Reibung zwischen Palette und Palettenträger sowie die Eigendämpfung in der Ladeeinheit einen wesentlichen Einfluss auf die dynamische Antwort des Regals, und sie beeinflussen die Gesamtheit der Trägheitseinwirkungen.

Ebenso ist die Sicherheit der Installation hinsichtlich Bewegung und letztendlichem Herunterfallen der Paletten einer geeigneten Prüfung zu unterziehen.

Diese Europäische Norm behandelt alle relevanten und speziellen Aspekte der erdbebensicheren Bemessung von Regalsystemen auf der Basis der Kriterien der EN 1998-1:2004, Eurocode 8.

### **0.2 Bedarf an EN-Normen für Regale und Fachbodenregale in Ergänzung zu den Eurocodes**

Obwohl die grundlegende technische Beschreibung eines Erdbebens für sämtliche Konstruktionen die gleiche ist, müssen die für konventionelle Stahlkonstruktionen geltenden allgemeinen Grundlagen und technischen Anforderungen für Lagersysteme angepasst werden, um die Besonderheiten von Regalsystemen zu berücksichtigen, damit das geforderte Sicherheitsniveau erreicht wird.

Auch die Analysemethoden und Planungsanforderungen müssen die Besonderheiten von Regalkonstruktionen erfassen.

Der Aufgabenbereich von CEN/TC 344 besteht darin, Europäische Normen zu Spezifikation, Konstruktionsmethoden, Herstellgenauigkeit und Leitlinien für den Anwender zwecks sicherer Benutzung von ortsfesten Regalsystemen aus Stahl zur Verfügung zu stellen.

Dies und die Notwendigkeit für harmonisierte Bemessungsbestimmungen waren die Gründe, aus denen die europäische Regalvereinigung ERF/FEM Regale und Fachbodenregale die Initiative im Auftrag von CEN/TC 344 ergriffen hat. CEN/TC 344 arbeitet zurzeit an der Erstellung mehrerer Europäischer Normen für bestimmte Regaltypen und individuelle Anwendungen, die in den Europäischen Normen (EN) bzw. als Arbeitsgruppenaktivitäten (WG = Arbeitsgruppe) vorkommen.

### **0.3 Zusammenarbeit**

Das Technische Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ unterhält Verbindungen zu CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“, CEN/TC 135 „Ausführung von Tragwerken aus Stahl und Aluminium“ und CEN/TC 149 „Motorisch betriebene Lagereinrichtungen“.

### **0.4 Zusatzinformation, spezifisch für EN 16681**

Diese Europäische Norm ist für die Verwendung in Verbindung mit EN 1998-1 und EN 15512 und verwandten Normen vorgesehen.

EN 1998-1 ist der erste von 6 Teilen; er legt die Bemessungsrichtlinien fest, die für Bauwerke vorgesehen sind, die aus klassischen Materialien einschließlich Stahl errichtet werden.

EN 15512 ist die Referenz-Norm für die Konstruktion von Regalsystemen und -bauteilen. Sie behandelt die Grundsätze von EN 1990, Eurocode, und Normenreihe EN 1993, Eurocode 3, für verstellbare Palettenregale, und sie ist auch bei von Erdbeben hervorgerufenen Einwirkungen anzuwenden.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die Bemessungsanforderungen für alle Typen von verstellbaren Palettenregalsystemen aus Stahlbauteilen fest, die für die Lagerung von Ladeeinheiten vorgesehen und Erdbebeneinwirkungen ausgesetzt sind.

Diese Europäische Norm gibt auch Leitlinien für die Konstruktion von Hochregal-Silos in Erdbebengebieten, soweit die Anforderungen nicht in der Normenreihe EN 1998 erfasst sind.

Diese Europäische Norm gilt nicht für andere Arten von Lagereinrichtungen. Diese Europäische Norm gilt insbesondere nicht für verfahrbare Systeme, Einfahr-, Durchfahr- und Kragarmregale oder ortsfeste Fachbodenregalsysteme aus Stahl.

Diese Europäische Norm gilt nicht für die Bemessung seismisch isolierter Regalkonstruktionen.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).<sup>1)</sup>

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1990 (alle Teile), *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1998-1:2004<sup>2)</sup> *Eurocode 8 — Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben — Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten*

EN 15512:2009, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Grundlagen der statischen Bemessung*

EN 15620, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Grenzübergreifungen, Verformungen und Freiräume*

EN 15629:2008, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Spezifikation von Lagereinrichtungen*

EN 15635:2008, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Anwendung und Wartung von Lagereinrichtungen*

EN 15878:2010, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Begriffe*

ETAG-001-Reihe, *Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalldübel zur Verankerung im Beton*

---

<sup>1)</sup> Zusätzliche Regeln zu bestehenden Normen, die sich speziell auf die Anwendung bei Erdbeben beziehen, sind in folgenden Anhängen eingeschlossen:

- Anhang I „Zwischen dem Planer/Endbenutzer und dem Regallieferanten auszutauschende Daten“ als Ergänzung zu EN 15629:2008
- Anhang J „Zusätzliche Regeln zu EN 15635“ als Ergänzung zu EN 15635:2008
- Anhang K „Zusätzliche Regeln zu EN 15629“ als Ergänzung zu EN 15629:2008

<sup>2)</sup> Dieses Dokument ist betroffen von der Änderung EN 1998-1:2004/A1:2013

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 15878:2010 und EN 1998-1:2004 und die folgenden Begriffe:

#### 3.1

##### **zugehörige Masse**

Teil der Gesamtmasse des Tragwerks, der das seismische Verhalten eines Konstruktionsteils oder der analysierten Unterkonstruktion beeinflusst

#### 3.2

##### **Gleichmäßigkeit der Masse**

Im Aufriss: Situation, in der die Masse der individuellen Belastungsstufe konstant bleibt oder stetig abnimmt, ohne abrupte Veränderungen vom Boden bis zur Spitze des Gerüsts aufzuweisen

Im Grundriss: Situation, in der die Masse im Hinblick auf das Querkräften widerstehende System ohne erhebliche horizontale Exzentrizität verteilt wird

#### 3.3

##### **Haupttrichtungen**

Ganglängsrichtung und Gangquerrichtung eines Regals

[QUELLE: EN 15878:2010, Begriffe 3.2.14 und 3.2.15; modifiziert – inhaltlich ist der hier definierte Begriff an die beiden ursprünglichen Begriffe angelehnt]

#### 3.4

##### **PVSL**

Person, verantwortlich für die Sicherheit der Lagereinrichtungen

[QUELLE: EN 15635:2008, Begriff 3.18]

#### 3.5

##### **Regalfüllgrad-Reduktionsfaktor**

$R_F$

statistischer Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit, dass sich zum Zeitpunkt des berechneten Erdbebens nicht alle Paletten im Regal befinden und voll beladen sind

#### 3.6

##### **seismisches Gewicht**

bei erdbebensicherer Bemessung zugelassener Gewichtswert einer Masse zur Berechnung der Erdbebeneinwirkung

#### 3.7

##### **Planer**

Person oder Firma, die dem Lieferanten eine detaillierte Spezifikation der Anforderungen des Endbenutzers zur Verfügung stellt

[QUELLE: EN 15629:2008, Begriff 3.23]

## 4 Symbole und Abkürzungen

### 4.1 Symbole

Für die Zwecke dieses Dokuments darf eine Reihe der folgenden Symbole mit üblichen tiefgestellten Indizes verwendet werden, die später beschrieben werden. Zusätzliche Symbole und tiefgestellte Indizes werden an der Stelle festgelegt, an der sie erstmalig auftreten.

|                        |                                                                                                          |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{E,d}$              | Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung für die Referenz-Wiederkehrperiode                                 |
| $a_g$                  | bemessene Bodenbeschleunigung eines Bodens vom Typ A                                                     |
| $a_{gR}$               | Bemessung der Bodenbeschleunigung (PGA) für die Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren                |
| $b$                    | Abstand zwischen den Stützenachsen                                                                       |
| $\beta$                | Faktor für Untergrenze des Bemessungsspektrums                                                           |
| $C_{\mu L}; C_{\mu H}$ | Berichtigungsfaktor für den Reibungsbeiwert zwischen Ladeinheit und Träger (obere und untere Grenzwerte) |
| $d_{r,i}$              | Bemessungswert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung oberhalb von Stockwerk $i$                       |
| $\xi$                  | viskoses Dämpfungsverhältnis, ausgedrückt als Prozentsatz der kritischen Dämpfung                        |
| $e_i$                  | Höhe des Schwerpunkts der Ladeinheit in Ebene $i$                                                        |
| $E$                    | Elastizitätsmodul des Materials                                                                          |
| $E_d$                  | Wert des Effektes der Bemessungseinwirkung                                                               |
| $E_{D1}$               | Bemessungsspektrum-Änderungsfaktor                                                                       |
| $E_{D2}$               | Palettengewicht-Änderungsfaktor                                                                          |
| $E_{D3}$               | Bemessungsspektrum-Änderungsfaktor                                                                       |
| $E_{Edx}$              | Effekt aufgrund des Ansetzens der Erdbebeneinwirkung entlang der horizontalen Achse x                    |
| $E_{Edy}$              | Effekt aufgrund des Ansetzens der Erdbebeneinwirkung entlang der horizontalen Achse y                    |
| $E_{Edz}$              | Effekt aufgrund des Ansetzens der Erdbebeneinwirkung entlang der vertikalen Achse z                      |
| $\theta$               | Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung                                         |
| $\theta_i$             | Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung zwischen den Ebenen $i$ und $i+1$       |
| $\theta_p$             | Rotationskapazität des Trägerendanschlusses                                                              |
| $F_{b,Rd}$             | Tragfähigkeit geschraubter Anschlüsse                                                                    |
| $f_k$                  | charakteristische Materialfestigkeit                                                                     |
| $F_{E,i}$              | horizontale Kraft auf Ebene $i$ des Regals                                                               |
| $F_{v,Rd}$             | Scherfestigkeit der Schraube                                                                             |
| $\Phi_K$               | Rotation an $M_K$ , sowohl positiv als auch negativ                                                      |

|                   |                                                                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $G_i$             | ständige Last                                                                                            |
| $G_{k,i}$         | charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung                                                         |
| $g$               | Schwerkraft-Beschleunigung                                                                               |
| $\gamma_I$        | Bedeutungsbeiwert                                                                                        |
| $\gamma_M$        | Materialfaktor                                                                                           |
| $\gamma_f$        | Lastfaktor                                                                                               |
| $\eta$            | Dämpfungskorrekturfaktor                                                                                 |
| $H$               | Höhe des Rahmenaussteifungsabstands oder der Abstand vom Boden zur ersten Horizontalen                   |
| $H/b$             | Höhe-Mindestbreite-Verhältnis der Ladeinheit                                                             |
| $h_i$             | Höhe zwischen Stockwerken oberhalb von Stockwerk $i$                                                     |
| $H_i$             | horizontale Einwirkung auf die Ladeinheit in Ebene $i$ ;                                                 |
| $I$               | Trägheitsmoment der Stütze                                                                               |
| $k_s$             | auf die Anzahl der Prüfungen bezogener Koeffizient                                                       |
| $K$               | Knicklängenfaktor                                                                                        |
| $K_D$             | effektiver Spektrum-Änderungsfaktor                                                                      |
| $L$               | Trägerlänge                                                                                              |
| $\lambda$         | Berechnungsfaktor der Erdbebenschubkraft in der LFMA                                                     |
| $\bar{\lambda}$   | dimensionslose Schlankheit (EN 15512 und EN 1993-1)                                                      |
| $M_k$             | aus den monotonen Prüfungen erhaltene charakteristische Biegefestigkeit, sowohl positiv als auch negativ |
| $\mu_m$           | aus Prüfungen ermittelter Mittelwert des Ladeinheit-Träger-Reibungsbeiwerts                              |
| $\mu_{ni}$        | Einzelprüfergebnis des Ladeinheit-Träger-Reibungsbeiwerts                                                |
| $N_{Rd}$          | axiale Festigkeit eines Trägers                                                                          |
| $\Delta N_{base}$ | zusätzliche vertikale Kraft am Fuß der Stützen                                                           |
| $\Delta N_i$      | zusätzliche vertikale Kraft am Träger-Stütze-Schnittpunkt                                                |
| $\mu_s$           | Ladeinheit-Träger- Reibungsbeiwert                                                                       |
| $P_c$             | konstante, nach unten gerichtete Belastung bei der Biegeprüfung                                          |
| $P_{cr,E}$        | kritische Euler-Last                                                                                     |
| $P_E$             | Gesamtschwerkraftbelastung in erdbebensicherer Bemessungssituation                                       |
| $P_{E,i}$         | Gesamtschwerkraftbelastung in und oberhalb von Stockwerk $i$ in erdbebensicherer Bemessungssituation     |

|                 |                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_{E,prod}$    | gesamtes Produktgewicht auf dem Regal                                                                                                                                                              |
| $q$             | Verhaltensbeiwert                                                                                                                                                                                  |
| $q_d$           | Beiwert für Verschiebungsverhalten                                                                                                                                                                 |
| $q_{rack}$      | Verhaltensfaktor des Regals                                                                                                                                                                        |
| $Q_{k,i}$       | charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung                                                                                                                                            |
| $Q_{P,max}$     | vorgegebenes Gewicht der Ladeeinheit (siehe EN 15629, 6.7.1)                                                                                                                                       |
| $Q_{P,rated}$   | Gewichts-Sollwert der Ladeeinheiten für das Fach, den Ständerrahmen oder die Gesamtkonstruktion in Ganglängsrichtung (siehe EN 15512) wie vom Planer festgelegt (siehe auch EN 15629:2008, 6.7.1). |
| $Q_{P,rated i}$ | vorgegebenes Gewicht des auf der Ebene $i$ gelagerten Produkts unter seismischen Bedingungen                                                                                                       |
| $R_d$           | Bemessungswiderstand des Elements                                                                                                                                                                  |
| $R_F$           | Regalfüllgrad-Reduktionsfaktor                                                                                                                                                                     |
| $s$             | Standardabweichung einer Anzahl Prüfergebnisse                                                                                                                                                     |
| $S$             | Erdbodenparameter                                                                                                                                                                                  |
| $S_a$           | in EN 1998-1:2005, 4.3.5.2 definierter seismischer Beiwert für die Berechnung von nicht tragenden Bauteilen                                                                                        |
| $S_d(T)$        | y-Koordinate des Bemessungsspektrums (normalisiert mit $g$ )                                                                                                                                       |
| $S_{d,mod}(T)$  | y-Koordinate des modifizierten Bemessungsspektrums für Regale (normalisiert mit $g$ )                                                                                                              |
| $S_e(T)$        | y-Koordinate des elastischen Spektrums (normalisiert mit $g$ )                                                                                                                                     |
| $T$             | Schwingdauer                                                                                                                                                                                       |
| $T_1$           | Grundschwingdauer                                                                                                                                                                                  |
| $T_B, T_C$      | Grenzwerte der konstanten spektralen Beschleunigungsverzweigung                                                                                                                                    |
| $T_D$           | Periodenwert, der den Beginn des konstanten Verschiebungsbereichs des Spektrums definiert                                                                                                          |
| $V_E$           | seismische Basisschubkraft                                                                                                                                                                         |
| $V_{E,i}$       | gesamter seismischer Stockwerkschub im betrachteten Stockwerk $i$                                                                                                                                  |
| $W_E$           | Gewicht der in der Analyse betrachteten seismischen Masse                                                                                                                                          |
| $W_{E,G}$       | Gewicht der ständigen Lasten                                                                                                                                                                       |
| $W_{E,Q}$       | Gewicht der veränderlichen Lasten                                                                                                                                                                  |
| $W_{E,tot}$     | Gesamtgewicht der seismischen Masse des Regals                                                                                                                                                     |
| $W_{E,UL}$      | seismisches Bemessungsgewicht der Ladeeinheit, das in der Erdbebenberechnung zu berücksichtigen ist                                                                                                |
| $\psi_{2,i}$    | Kombinationsfaktor für veränderliche Einwirkungen                                                                                                                                                  |
| $Z$             | Abstand zwischen Bodenebene und der Befestigungsebene des Regals                                                                                                                                   |

## 4.2 Abkürzungen

LFMA    Querkraftberechnungsmethode (en: Lateral Force Method of Analysis)

MRSA    Modale Antwortspektrum-Analyse (en: Modal Response Spectrum Analysis)

LDMA    Großverschiebungsberechnungsmethode (en: Large Displacement Method of Analysis)

## 5 Leistungsanforderungen und Konformitätskriterien

### 5.1 Anwendbarkeit

Nicht erdbebensichere Bemessungen sind nach EN 15512 auszuführen. Die Verweisung auf Prüfungen und Qualitätskontrollen der Bauteile und Materialien basiert auf EN 15512.

Bei sehr niedriger Erdbebenhäufigkeit ist es nicht erforderlich, dass Regalkonstruktionen für Erdbeben ausgelegt sind (siehe auch EN 1998-1:2004, 3.2.1, (5)P).

Nationale Vorschriften sind einzuhalten, um die allgemeinen Bedingungen für die Anwendbarkeit einer erdbebensicheren Bemessung festzulegen.

Es wird empfohlen, Fälle als solche mit sehr niedriger Erdbebenhäufigkeit anzusehen, bei denen entweder die bemessene Bodenbeschleunigung eines Bodens vom Typ A,  $\gamma_1 a_{gR}$ , nicht größer als  $0,04 g$  ist, oder bei denen das Produkt aus  $\gamma_1 a_{gR} S$  nicht größer als  $0,05 g$  ist.

### 5.2 Leistungsanforderungen

#### 5.2.1 Anforderung der Einsturzsicherheit

Die Regalkonstruktion muss so ausgelegt und konstruiert sein, dass sie der bemessenen, seismischen Einwirkung standhält, ohne stellenweise oder komplett einzustürzen, und ihre Standsicherheit und verbleibende Tragfähigkeit nach dem Erdbebenereignis beibehält.

Äußerste Grenzzustände sind solche, die mit dem Einsturz oder anderen Formen des Versagens der Konstruktion einhergehen, welche die Sicherheit von Personen gefährden können.

Es ist nachzuprüfen, dass das Tragsystem die vorgegebene Festigkeit und Verformbarkeit aufweist.

#### 5.2.2 Anforderung der Schadensbegrenzung

In dieser Europäischen Norm ist keine spezifische Bemessungsanforderung vorgegeben. Die Bewegung gelagerter Ladeeinheiten stellt keinen Schaden dar.

ANMERKUNG    Ein Hinweis erfolgt auf Anhang J (normativ) zur Prüfung auf Intaktheit nach einem Erdbeben.

#### 5.2.3 Bewegung der Ladeeinheiten

Die Bewegung von Ladeeinheiten muss, sofern zutreffend, in der Bemessung berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1    Seismische Beschleunigungen können ein Rutschen der Paletten auf den Trägern verursachen, wenn horizontale Trägheitskräfte auf die Palette die statische Reibungskraft zwischen Palette und Träger überschreiten.

Bei Versuchen im Maßstab 1:1 wurde nachgewiesen, dass dieser Effekt aufgrund der statischen Verstärkung der seismischen Kräfte auf der höchsten Lagerebene bei niedrigen Bodenbeschleunigungswerten (leichten Erdbeben) bei Holz- oder Kunststoffpaletten auf lackierten oder verzinkten Stahl-Trägern auftritt.

Folgen solcher Phänomene sind die Verringerung der seismischen Einwirkungen auf das Regal aufgrund Energiedissipation und Begrenzung der horizontalen Einwirkung, die von der Palette auf das Regal übertragen werden kann, und die Gefahr herunterfallender Ladeeinheiten, die einen lokal begrenzten oder kompletten Einsturz des Regals hervorrufen oder Personen verletzen können.

ANMERKUNG 2 Der Veränderung der seismischen Antwort des Tragwerks ist in dieser Europäischen Norm mithilfe von drei Faktoren Rechnung getragen, die die Wirkung charakteristischer Phänomene der Regalkonstruktion berechnen, wie die Energiedissipation durch Palette-Träger-Reibung, Dämpfung durch Bewegung gelagerter Waren, Elastizität der Palette und andere:

- $E_{D1}$  und  $E_{D3}$  sind die Faktoren für die Änderung des Bemessungsspektrums,
- $E_{D2}$  ist der Änderungsfaktor für Masse.

Der PVSL muss die Risiken durch Verrutschen von Ladeeinheiten und das mögliche Herunterfallen aus dem Regal bewerten.

Die Leitfäden für diese Bewertung sind in 9.2.2 aufgeführt.

## **6 Bodenbeschaffenheit und Erdbebeneinwirkungen**

### **6.1 Allgemeines**

Eine Erdbebenbewegung der Erdoberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt ist in EN 1998-1 und den dazu gehörigen nationalen Anhängen definiert.

Wenn die Eigenschaften des Bodens nicht mit ausreichenden Einzelheiten bekannt sind, um die örtlichen Bodenverhältnisse zu bestimmen, wird Boden vom Typ D angenommen.

### **6.2 Dämpfung**

Falls nicht anders vorgegeben, muss das viskose Dämpfungsverhältnis  $\xi$  der unbelasteten Stahlregalkonstruktion, ausgedrückt als Prozentsatz der kritischen Dämpfung, angenommen werden als gleich zu:

$$\xi = 3 \%$$

ANMERKUNG Das Dämpfungsverhältnis des beladenen Regalsystems unter Betriebsbedingungen ist höher und in der Berechnung durch  $E_{D3}$  berücksichtigt (siehe 7.5.2).

### **6.3 Bedeutungsbeiwert $\gamma_i$**

Bedeutungsbeiwerte sind anzuwenden, die nicht kleiner sind als in Tabelle 1 definiert. Der Planer ist für die Auswahl der Bedeutungskategorie und der Bemessungslebensdauer des Regals verantwortlich.

ANMERKUNG 1 Die Bemessungslebensdauer von mindestens 30 Jahren bezieht sich nur auf die erdbebensichere Konstruktion und unterscheidet sich von der üblichen, statischen Bemessungslebensdauer von mindestens 10 Jahren, die in EN 15512 angegeben ist.

Höhere Bedeutungsbeiwerte können spezifiziert werden. Sofern nicht anders gefordert, ist es nicht erforderlich, dass der Bedeutungsbeiwert für das Regal größer ist als der Bedeutungsbeiwert, der für den Teil des Gebäudes vorgegeben ist, in dem sich das Regal befindet.

**Tabelle 1 — Bedeutungsbeiwerte für Regale**

| Bedeutungs-<br>kategorie | Beschreibung                                                                                                        | Bedeutungsbeiwert $\gamma_i$           |                                        |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|                          |                                                                                                                     | Bemessungslebens-<br>dauer<br>30 Jahre | Bemessungs-<br>lebensdauer<br>50 Jahre |
| I                        | Lagerhäuser mit vollständig automatisiertem Lagerbetrieb                                                            | 0,67                                   | 0,8                                    |
| II                       | Standard-Lagerhausbedingungen einschließlich Abholbereiche                                                          | 0,84                                   | 1,0                                    |
| III                      | Jede Art von Regal mit beliebigem Zugang für Privatkunden                                                           | k. A.                                  | 1,2                                    |
| IV                       | Gefahrgutlager<br>(Lagerung von Gefahrgut bedarf der Genehmigung nationaler Behörden)<br>Strategische Einrichtungen | k. A.                                  | 1,4                                    |

Der Vorgabewert für ein konventionelles Lagergestell muss 30 Jahre in den Kategorien I und II sowie 50 Jahre für Hochregal-Silos betragen.

Soweit nationale Vorschriften eine andere Lebensdauerbemessung vorschreiben, ist dies zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Bedeutungskategorie I: 20 %-Wahrscheinlichkeit einer größeren Erdbebeneinwirkung in 30 Jahren und 50 Jahren.  
Bedeutungskategorie II: 10 %-Wahrscheinlichkeit einer größeren Erdbebeneinwirkung in 30 Jahren und 50 Jahren.  
Bedeutungskategorie III: 5,8 %-Wahrscheinlichkeit einer größeren Erdbebeneinwirkung in 50 Jahren.  
Bedeutungskategorie IV: 3,65 %-Wahrscheinlichkeit einer größeren Erdbebeneinwirkung in 50 Jahren.

#### 6.4 Horizontalkomponente der Erdbebeneinwirkung

Die Horizontalkomponente der Erdbebeneinwirkung ist nach EN 1998-1 zu berechnen.

#### 6.5 Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung

Die Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung ist nach EN 1998-1 zu berechnen.

Die Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung braucht nur in folgenden relevanten Fällen berücksichtigt zu werden, wie in Bild 1 dargestellt:

- freitragende Ausleger;
- Träger stützende Pfosten (zum Beispiel in Kommissioniertunneln);
- Elemente oder Unterbauten, die Ausleger stützen oder durch Träger gestützt werden.



- 1 freitragender Ausleger
- 2 Träger stützende Pfosten (zum Beispiel in Kommissioniertunneln)
- 3 mit ihnen direkt verbundene Unterstützungselemente oder Unterbauten

**Bild 1 — Elemente, die für die Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung zu bemessen sind**

## 6.6 Bemessungs-Bodenverschiebung

Die Bemessungs-Bodenverschiebung ist nach EN 1998-1 zu berechnen.

## 6.7 Regale in Stockwerken

Die Auslegung von Regalen in Stockwerken ist auf der Basis eines realistischen Modells vorzunehmen, einschließlich der Konstruktion, auf die das Regal aufgestellt wird.

Andernfalls können Antwortspektren, einschließlich des Effektes der dynamischen Antwort der tragenden Konstruktion und ihre Wechselwirkung mit dem gestützten Regal, verwendet werden; Leitlinien werden im Anhang E (informativ) gegeben.

## 7 Berechnungsmethoden

## 7.1 Allgemeines

Die Referenzmethode zur Berechnung von Erdbebenauswirkungen auf Regalkonstruktionen ist die Modale Antwortspektrum-Analyse. Diese muss mithilfe eines linearelastischen Modells der Konstruktion und des modifizierten Bemessungsspektrums  $S_{d,mod}(T)$  nach 7.5.1 sowie des Bemessungsspektrums für die Vertikalkomponente nach 6.5, wenn zutreffend, durchgeführt werden.

## 7.2 Begrenzung der Vertikallast bezogen auf die kritische Euler-Last

In allen Fällen, in denen  $\gamma a_{gR} S \geq 0,1 \text{ g}$  ist (oder ein anderer im nationalen Anhang zu EN 1998-1 oder in nationalen Vorschriften vorgeschriebener Wert), muss die folgende Begrenzung eingehalten werden:

$$P_E / P_{cr-E} \leq 0,5$$

Dabei ist

$P_E$  die Gesamt-Schwerkraftbelastung des Regals in der erdbebensicheren Bemessungssituation;

$P_{cr,E}$  die kritische Euler-Last.

$P_{cr,E}$  erhält man entweder durch Knickanalyse oder Annäherung nach EN 15512:2009, Anhänge B, C und G.

### 7.3 Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung

Die Anforderung, Effekte 2. Ordnung zu berücksichtigen, bezieht sich auf den Höchstwert des Empfindlichkeitsbeiwerts der gegenseitigen Stockwerksverschiebung, definiert wie folgt:

$$\theta_i = (P_{E,i} d_{r,i}) / (V_{E,i} h_i) \quad (1)$$

$$\theta = \max[\theta_i]$$

Dabei ist

$\theta_i$  der Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung bei Grundschiwingung im Stockwerk  $i$ ;

$P_{E,i}$  die Gesamt-Schwerkraftbelastung oberhalb des betrachteten Stockwerks in erdbebensicherer Bemessungssituation;

$d_{r,i}$  die bemessene gegenseitige Stockwerksverschiebung, bewertet als Abweichung der durchschnittlichen seitlichen Verschiebungen am oberen und unteren Ende des betrachteten Stockwerks, berechnet anhand der linearelastischen Analyse I. Ordnung nach 7.4.7;

$V_{E,i}$  der gesamte seismische Stockwerkschub des betrachteten Stockwerks  $i$ ;

$h_i$  die Höhe zwischen Stockwerken oberhalb des betrachteten Stockwerks  $i$ ;

$\theta$  der Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung bei Grundschiwingung.

Alternativ kann der Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung  $\theta$  wie folgt berechnet werden:

$$\theta = q_d \times P_E / P_{cr,E} \quad (2)$$

Dabei ist

$P_E$  die Gesamt-Schwerkraftbelastung des Regals in erdbebensicherer Bemessungssituation;

$P_{cr,E}$  die kritische Euler-Last;

$q_d$  der Faktor des Verschiebungsverhaltens.

ANMERKUNG 1 Die Gesamt-Schwerkraftbelastung in Erdbebenregionen  $P_E$  wird aus dem Sollwert der Ladeeinheiten  $Q_{p, rated}$  und dem in 7.5.4 definierten Regalfüllgrad-Reduktionsfaktor  $R_F$  ermittelt.

ANMERKUNG 2 Für die Definition von  $q_d$  siehe Normenreihe EN 1998.

## 7.4 Berechnungsverfahren

### 7.4.1 Allgemeines

Die nachfolgend beschriebenen Verfahren sind anzuwenden (siehe Tabellen 2 und 3).

Andere Berechnungsmethoden dürfen nach EN 1998-1 benutzt werden.

### 7.4.2 Effekte 2. Ordnung

#### 7.4.2.1 Allgemeines

Wenn  $\theta \leq 0,1$  ist, können Effekte 2. Ordnung vernachlässigt werden.

Effekte 2. Ordnung sind bei niedrig-dissipativen Konzepten nach 7.4.2.2 und bei dissipativen Konzepten nach 7.4.2.3 zu berücksichtigen.

#### 7.4.2.2 Niedrig-dissipatives Konzept (Verhaltensbeiwert $q \leq 2$ )

Es sind Berechnungsmethoden anzuwenden, die Effekte 2. Ordnung direkt berücksichtigen (siehe Anhang A). Die anwendbaren Berechnungsmethoden sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Alternativ können diese durch Annäherung einbezogen werden, indem man die Effekte der Erdbebeneinwirkung, die in der Berechnung 1. Ordnung ermittelt wurden, mit dem Faktor  $1/(1-\theta)$  multipliziert.

Die Erweiterung um Effekte 2. Ordnung mit dem Faktor  $1/(1-\theta)$  ist generell konservativ; sie wird nicht empfohlen, falls Ergebnisse  $\theta > 0,3$  tendenziell zu konservativ sind.

#### 7.4.2.3 Dissipatives Konzept (Verhaltensbeiwert $q > 2$ )

Die anwendbaren Berechnungsmethoden für das dissipative Konzept sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Wenn  $\theta \leq \theta_1$  ist, sollten Berechnungsmethoden angewandt werden, die Effekte 2. Ordnung direkt berücksichtigen (siehe Anhang A).

Alternativ können diese durch Annäherung einbezogen werden, indem man die Effekte der Erdbebeneinwirkung, die in der Berechnung 1. Ordnung ermittelt wurden, mit dem Faktor  $1/(1-\theta)$  multipliziert.

Wenn  $\theta \leq \theta_2$  ist, ist die Pushover-Berechnung nach EN 1998-1 oder die Großverschiebungsberechnung nach Festlegung in 7.4.5 (Großverschiebungsberechnungsmethode - LDMA) anzuwenden.

Wenn  $\theta > \theta_2$  ist, ist eine Zeitverlaufsanalyse inklusive großer Verschiebungen und eines nicht-linearen Verhaltens der Materialien und Anschlüsse durchzuführen.

Die Zeitverlaufsanalyse ist nach EN 1998-1 vorzunehmen.

Folgende Werte dürfen angenommen werden:

$$\theta_1 = 0,3$$

$$\theta_2 = 0,5$$

**Tabelle 2 — Zusammenfassung der Berechnungsmethoden für niedrig-dissipatives Tragverhalten**

| $\theta$                                                                                  | Berechnungsmethode                             | Effekte 2. Ordnung                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $\theta \leq 0,1$                                                                         | LFMA<br>(7.4.3)<br>oder<br><br>MRSA<br>(7.4.4) | vernachlässigbar                                                             |
| $\theta > 0,1$                                                                            |                                                | Sind in der Berechnung direkt<br>oder durch Annäherung zu<br>berücksichtigen |
| ANMERKUNG Für Regale, die im Grundriss und Aufriss unregelmäßig sind, siehe<br>EN 1998-1. |                                                |                                                                              |

**Tabelle 3 — Zusammenfassung der Berechnungsmethoden für dissipatives Tragverhalten**

| $\theta$                                                                                  | Berechnungsmethode                                                                                       | Effekte 2. Ordnung                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $\theta \leq 0,1$                                                                         | LFMA<br>(7.4.3)<br>oder<br>MRSA<br>(7.4.4)                                                               | vernachlässigbar                                                             |
| $\theta \leq \theta_1$                                                                    |                                                                                                          | Sind in der Berechnung direkt<br>oder durch Annäherung zu<br>berücksichtigen |
| $\theta \leq \theta_2$                                                                    | Pushover-Berechnung nach<br>EN 1998-1<br>oder LDMA nach 7.4.5                                            |                                                                              |
| $\theta > \theta_2$                                                                       | Zeitverlaufsanalyse einschließlich geometrischer und<br>materieller Linearitätsabweichung nach EN 1998-1 |                                                                              |
| ANMERKUNG Für Regale, die im Grundriss und Aufriss unregelmäßig sind, siehe<br>EN 1998-1. |                                                                                                          |                                                                              |

### 7.4.3 Querkraftberechnungsmethode (LFMA)

Diese Berechnungsmethode kann angewandt werden, wenn die Antwort nicht maßgeblich durch die Mitwirkung höherer Schwingungsmodi in jede Hauptrichtung beeinflusst wird.

Diese Anforderung gilt für Tragwerke als erfüllt, bei denen entweder:

- Steifigkeit und Masse im Grundriss regelmäßig bei Grundswingdauer  $T_1$  in den zwei orthogonalen Hauptrichtungen kleiner als folgende Werte sind:

$$T_1 \leq 4 \times T_C$$

$$T_1 \leq 2 \text{ s}$$

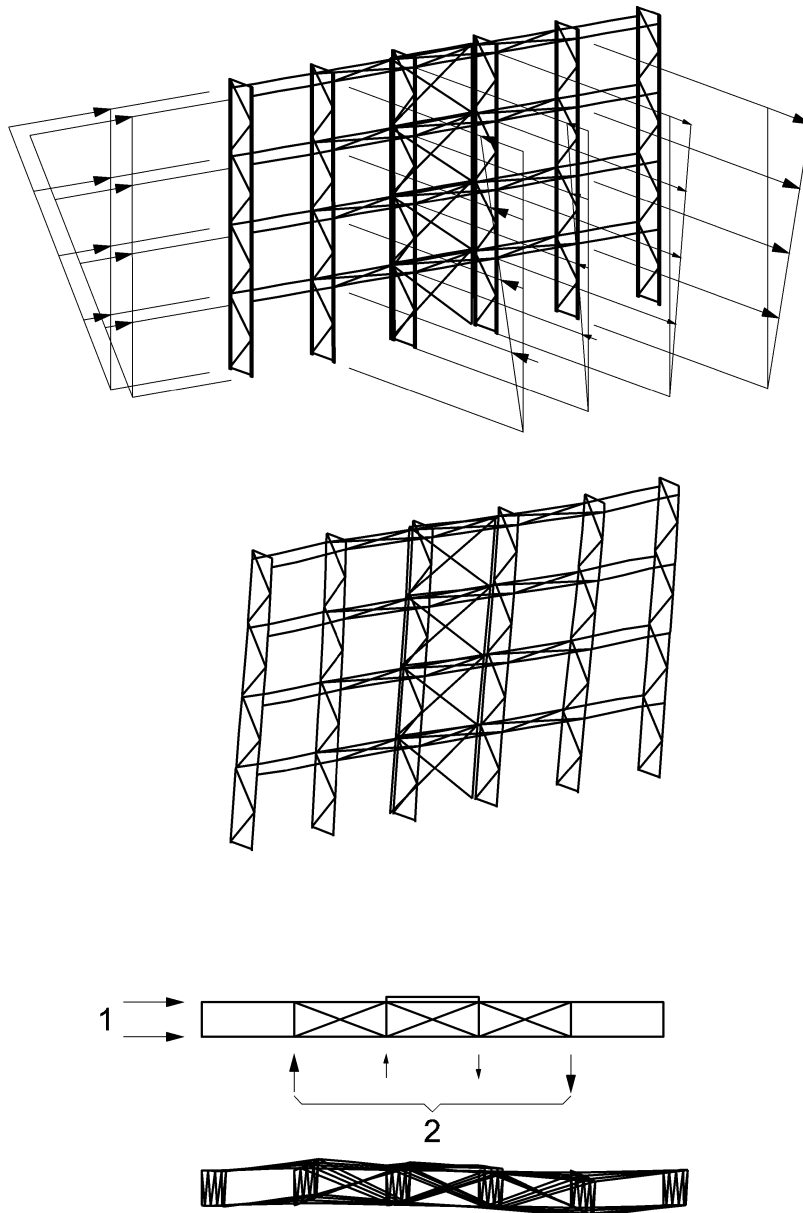
Dabei ist  $T_c$  der obere Grenzwert der konstanten, spektralen Beschleunigungsverzweigung des Bemessungsspektrums, definiert in EN 1998-1 sowie in relevanten nationalen Normen, oder

— die zur Grundschwingdauer gehörige modale Masse größer als 90 % der Gesamtmasse ist.

Siehe 8.1.4 zur Regelmäßigkeit.

Bei Tragwerken, deren Grundriss unregelmäßig ist, muss das System der angewandten Querkräfte homothetisch sein zur dreidimensionalen, fundamental häufigsten Form, einschließlich der Torsionskomponente. Bild 2 zeigt ein Beispiel des Kräftesystems bei einem Regal mit unregelmäßigem Grundriss.

ANMERKUNG Das auf die Konstruktion angewandte Kräftesystem ergibt eine Resultante gleich der Basisschubkraft in die relevante Richtung und eine Null-Resultante in die andere Richtung.



#### Legende

- 1 System der Einwirkungen in Längsrichtung
- 2 System der Einwirkungen in Querrichtung mit Null-Resultante

**Bild 2 — Beispiel des Kräftesystems auf ein Regal mit unregelmäßigem Grundriss**

Vereinfachte Gleichungen zur Berechnung der für Gebäude typischen Grundschwingdauer sind für Regale nicht zulässig.

Die seismische Basisschubkraft  $V_E$  wird für jede Hauptrichtung wie folgt bestimmt:

$$V_E = S_{d,mod}(T_1) \times W_{E,tot} \times \lambda \quad (3)$$

Dabei ist

$S_{d,mod}(T_1)$  die y-Koordinate des modifizierten Bemessungsspektrums, in  $g$  Einheiten, definiert in 7.5.1;

$T_1$  die Grundschwingdauer für Translationsbewegung in der betrachteten Richtung;

$W_{E,tot}$  das Gesamtgewicht der seismischen Masse des Regals;

$\lambda = 0,85$  für Regale mit 3 oder mehr Ladeebenen (Boden ausgenommen) und  $T_1 \leq 2T_c$ ; sonst  $\lambda = 1,0$ .

Wenn die Grundschwingdauer nicht berechnet ist, ist der Maximalwert des Bemessungsspektrums anzunehmen.

Die vertikale Verteilung der seismischen Basisschubkraft muss nach EN 1998-1 erfolgen.

#### 7.4.4 Modale Antwortspektrum-Analyse (MRSA)

Die Steifigkeitsmatrix des Modells darf Bedingungen enthalten, welche die Steifigkeit des Systems aufgrund vertikaler Belastungen verringern.

Bei Tragwerken, welche die Regelmäßigkeitskriterien im Grundriss erfüllen (siehe 8.1.4), kann die Analyse mit zwei ebenen Modellen durchgeführt werden, eines je Hauptrichtung.

Tragwerke, die diese Kriterien nicht erfüllen, müssen mittels eines räumlichen Modells berechnet werden.

Die Methode ist in Übereinstimmung mit EN 1998-1 anzuwenden.

ANMERKUNG In Anhang A sind MRSA-Verfahren aufgeführt, die sekundäre Effekte berücksichtigen.

#### 7.4.5 Großverschiebungsberechnungsmethode (LDMA)

Wenn die Großverschiebungsberechnung durchgeführt wird, ist die Belastungshistorie wie folgt zu definieren:

- 1) Zuerst wird die Zielverschiebung berechnet. Die Zielverschiebung ist die maximale horizontale Verschiebung in der betrachteten Richtung als Ergebnis der MRSA, multipliziert mit dem Verhaltensbeiwert  $q$ ; der Knotenpunkt, an dem die Zielverschiebung berechnet wird, ist der Zielpunkt.
- 2) Das Muster der Horizontalkräfte muss mittels einer Verteilung, die der Grundschwingung in jede der zwei Hauptrichtungen entspricht, bestimmt werden.
- 3) Als erstes sind die Vertikallasten auf das Tragwerk anzusetzen, und danach die Horizontalkräfte zu erhöhen, bis der Zielpunkt eine 1,1-fache Zielverschiebung erreicht; unter dieser Bedingung müssen das Tragwerk und sämtliche Bauteile standfest bleiben.

Das nicht-lineare Verhalten der Materialien und Anschlüsse ist zu berücksichtigen.

#### 7.4.6 Kombination der Effekte aufgrund der Komponenten der Erdbebeneinwirkung

Die Horizontal- und die Vertikalkomponente der Erdbebeneinwirkung müssen nach EN 1998-1 generell zusammen betrachtet werden.

Das allgemeine, auf Regalkonstruktionen anwendbare Verfahren ist:

$$0,30 \times E_{\text{Edx}} „+“ 0,30 \times E_{\text{Edy}} „+“ E_{\text{Edz}} \quad (4)$$

$$E_{\text{Edx}} „+“ 0,30 \times E_{\text{Edy}} „+“ 0,30 \times E_{\text{Edz}} \quad (5)$$

$$0,30 \times E_{\text{Edx}} „+“ E_{\text{Edy}} „+“ 0,30 \times E_{\text{Edz}} \quad (6)$$

Dabei ist:

„+“ bedeutet „zu kombinieren mit“;

$E_{\text{Edx}}$  = Beanspruchung aufgrund der Anwendung seismischer Einwirkung in der x-Hauptachse des Tragwerks;

$E_{\text{Edy}}$  = Beanspruchung aufgrund der Anwendung der gleichen seismischen Einwirkung in der y-Hauptachse des Tragwerks;

$E_{\text{Edz}}$  = Beanspruchung aufgrund der Anwendung der Vertikalkomponente der Erdbebenbemessungseinwirkung (falls zutreffend).

Das Vorzeichen einer jeden Komponente der oben genannten Kombinationen ist als das ungünstigste für die in Betracht kommende Beanspruchung anzunehmen.

#### 7.4.7 Verschiebungsberechnung

Verschiebungen, die durch Erdbeben-Bemessungseinwirkungen hervorgerufen werden, sollten nach EN 1998-1 auf der Basis des nach 7.5.1 modifizierten Spektrums  $S_{\text{d,mod}}(T)$  berechnet werden.

ANMERKUNG Für die Berechnung der Verschiebungen wird der untere Grenzwert  $\beta$  in der Definition des Bemessungsspektrums  $S_{\text{d}}(T)$  ignoriert.

### 7.5 Bemessungsparameter für die seismische Berechnung

#### 7.5.1 Allgemeines

Die erdbebensichere Bemessung von Regalen muss mit folgendem modifizierten Bemessungsspektrum durchgeführt werden:

$$S_{\text{d,mod}} = K_{\text{D}} \times S_{\text{d}}(T) \quad (7)$$

Dabei ist

$S_{\text{d}}(T)$  das Referenzbemessungsspektrum, definiert in EN 1998-1

$E_{\text{D1}}$  und  $E_{\text{D3}}$  die Änderungsfaktoren für das Bemessungsspektrum mit  $E_{\text{D1}} \cdot E_{\text{D3}} \geq 0,4$

$$K_{\text{D}} = 1 - P_{\text{E,prod}} / P_{\text{E}} \times (1 - E_{\text{D1}} \times E_{\text{D3}}) \quad (8)$$

Dabei ist

- $P_E$  das Gesamtgewicht des Regals in der Bemessungssituation für Erdbeben (einschließlich Eigengewicht, ruhender Belastung, Nutzlast in der Erdbebensituation und Gewicht der eingelagerten Produkte)
- $P_{E,prod}$  das gesamte auf dem Regal gelagerte Produktgewicht in der Bemessungssituation für Erdbeben

$K_D = E_{D1} \times E_{D3}$  kann angenommen werden, wenn  $P_{E,prod}$  größer oder gleich 90 % von  $P_E$  ist.

### 7.5.2 Bemessungsspektrum - Änderungsfaktoren

Die Änderungsfaktoren  $E_{D1}$  und  $E_{D3}$  für das Bemessungsspektrum berücksichtigen die Kürzung und Änderung der Ordinate des Bemessungsspektrums.

a)  $E_{D1}$  wird beeinflusst von folgenden Parametern:

- 1) Intensität der seismischen Einwirkung;
- 2) Anzahl der Ladeebenen, Gesamtmasse und Elastizität der Regalkonstruktion, ausgedrückt durch die Schwingdauer (vorherrschende Dauer in betrachteter Richtung);
- 3) maximale Horizontalkraft, die von der Ladeeinheit auf die Träger übertragen werden kann, ausgedrückt durch den Ladeeinheit-Träger-Reibungsbeiwert;

$$E_{D1} = \max [ 0,4; \mu_s / S_e(T_1) + 0,2 ] \leq 1,0 \quad (9)$$

Dabei ist

- $\mu_s$  der Referenzwert zum Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwert nach 7.5.3
- $T_1$  die Grundschiebungsdauer der Regalkonstruktion in der betrachteten Richtung (die Dauer mit der höchsten modalen Beteiligungsmasse in der betrachteten Richtung)
- $S_e(T_1)$  die Ordinate des elastischen Spektrums, definiert in EN 1998-1 (normalisiert durch g) mit der viskosen Dämpfung wie in 6.2 festgelegt.

Wenn Ladeeinheiten auf den Palettenträgern durch beliebige besondere Systeme zurückgehalten werden (zum Beispiel Materialien, welche die Reibung zwischen Palette und Träger erhöhen),  $E_{D1} = 1,0$ .

b)  $E_{D3}$  ist ein Minderungsbeiwert der Erdbebeneinwirkung.

Der Wert von  $E_{D3}$  beträgt 0,80.

ANMERKUNG 1  $E_{D3}$  wird eingesetzt, um andere typische dissipative Erscheinungsformen des dynamischen Verhaltens von Regalkonstruktionen bei Erdbebeneinwirkungen zu berücksichtigen, die in der mathematischen Formulierung dieser Europäischen Norm nicht dargestellt sind, die aber an Regalen, die Erdbeben ausgesetzt waren, und in Tests auf Rütteltischen festgestellt werden.

ANMERKUNG 2 Der Wert für  $E_{D3} = 0,8$  entspricht einem üblichen Dämpfungsverhältnis  $\xi$  von 10 % des beladenen Regals, das die im gesamten System bestehenden dissipativen Mechanismen festlegt.

### 7.5.3 Ladeinheit-Träger-Reibungsbeiwerte

Die folgenden Parameter müssen bei der Berücksichtigung der Auswirkungen der Reibung zwischen Ladeinheit und Träger angewendet werden:

$\mu_S$  Referenzwert für den Reibungsbeiwert

$C_{\mu L}$  Beiwert zur Korrektur der Untergrenzen der statistischen Verteilung von  $\mu_S$

$C_{\mu H}$  Beiwert zur Korrektur der Obergrenzen der statistischen Verteilung von  $\mu_S$

Die Referenzwerte von  $\mu_S$  und die Werte  $C_{\mu L}$  und  $C_{\mu H}$  werden durch Prüfungen nach Anhang B erzielt.

Falls keine Prüfungen durchgeführt werden, sind  $C_{\mu L} = 0,67$  und  $C_{\mu H} = 1,50$  anzunehmen, und die empfohlenen Palette-Träger-Reibungsbeiwerte sind in Tabelle 4 angegeben.

**Tabelle 4 — Empfohlene Referenzwerte für Palette-Träger-Reibungsbeiwert**

| Material in direktem Kontakt                                           | Umgebung                     | Referenzwert für Palette-Träger-Reibungsbeiwert $\mu_S$ |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Stahlträger – alle Beschichtungsarten<br>Holzpalette                   | Normale Lagerhausbedingungen | 0,37                                                    |
| Stahlträger – alle Beschichtungsarten<br>Kunststoff- und Stahlpaletten | Normale Lagerhausbedingungen | 0,15                                                    |
| ANMERKUNG Normale Lagerhausbedingungen sind in EN 15629 definiert.     |                              |                                                         |

Unter allen anderen Bedingungen ist der Ladeinheit-Träger-Beiwert durch Prüfungen unter Berücksichtigung der entsprechenden Lagerhausbedingungen festzulegen.

### 7.5.4 Bemessung des seismischen Gewichts der Ladeinheit

Das Bemessungsgewicht der Ladeinheit  $W_{E,UL}$ , das für die horizontale Erdbebeneinwirkung zu beachten ist, muss wie folgt bestimmt werden:

$$W_{E,UL} = R_F \times E_{D2} \times Q_{P;rated} \quad (10)$$

Dabei ist

$R_F$  der Regalfüllgrad-Reduktionsfaktor bezogen auf die bei einem Erdbeben anzunehmende Ausnutzung des Regals mit eingelagerten Gütern, die vom Planer auf Basis statistischer Auswertungen festzulegen ist: für die Analyse in der Richtung quer zum Gang ist  $R_F = 1,0$  anzunehmen; für die Analyse in Ganglängsrichtung ist  $R_F \geq 0,8$  anzunehmen;

$E_{D2}$  der Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeinheit (siehe 7.5.5);

$Q_{P, rated}$  der Sollwert des Gewichts der Ladeeinheiten für das Fach, den Ständerrahmen oder die Gesamtkonstruktion in Ganglängsrichtung (siehe EN 15512) wie vom Planer festgelegt (siehe auch EN 15629:2008, 6.7.1).

ANMERKUNG  $E_{D2}$  verändert die Dauer und die horizontale Einwirkung.

Wenn nichts anderes vorgegeben ist, ist  $R_F = 1,0$  zu beachten.

### 7.5.5 Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeeinheit

Soweit nicht anders vorgegeben, sind die Werte  $E_{D2}$  in Tabelle 5 in Abhängigkeit vom Typ der Ladeeinheit und der Art der gelagerten Güter in den vorgegebenen Produktklassen zu berücksichtigen.

**Tabelle 5 — Änderungsfaktoren für das Gewicht der Ladeeinheiten**

| Klasse | $E_{D2}$ | Klasse der gelagerten Güter | Beispiel                                                                                                                                                |
|--------|----------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A      | 1,0      | KOMPAKT GEBUNDEN            | Tiefkühlgüter (Kühlhaus)<br>Blechverpackung<br>Coils und Papierrollen                                                                                   |
| B      | 0,8      | LABIL                       | Große Anzahl auf einer Palette gelagerter Stücke, die im Verhältnis zur Palettengröße klein sind, einschließlich durch Stretchfolie stabilisierte Güter |
| C      | 0,7      | LOSE UND UNGEBUNDEN         | Güter, die sich im Container leicht verschieben können, (z. B. Granulate)                                                                               |
| D      | 1,0      | FLÜSSIG                     | Ladeeinheit mit flüssigem Inhalt, der im Behälter schwappen kann                                                                                        |

ANMERKUNG Der Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeeinheit  $E_{D2}$  stellt die Wechselwirkung der gegenseitigen Beeinflussung zwischen Ladeeinheit und Regalkonstruktion dar. Dieser Beiwert beeinflusst die Antwort auf das Erdbeben im Hinblick auf die teilnehmende Masse und Änderung der Schwingungsdauer.

### 7.5.6 Sonstige seismische Gewichte

Alle ständigen Lasten und Nutzlasten, ausgenommen das Gewicht der Ladeeinheit, sind in der seismischen Berechnung zu berücksichtigen.

Siehe EN 15512 zur Definition von:

- a) Eigengewichten:
  - 1) Gewichte von Materialien und Konstruktionen;
  - 2) Gewichte ortsfester Versorgungseinrichtungen.
- b) Mindestbelastungen für Bühnen- und Laufgang.

Siehe EN 15512 zu den Sollwerten.