

DIN EN 16681

ICS 53.080

Einsprüche bis 2014-01-15

Entwurf**Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl –
Verstellbare Palettenregale –
Leitsätze für die erdbebensichere Gestaltung;
Deutsche Fassung prEN 16681:2013**

Steel static storage systems –
Adjustable pallet racking systems –
Principles for seismic design;
German version prEN 16681:2013

Systèmes de stockage statiques en acier –
Systèmes de rayonnages à palettes réglables –
Principes applicables au calcul parasismique;
Version allemande prEN 16681:2013

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2013-11-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naebm@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Eisen-, Blech- und Metallwaren (NAEBM) im DIN (Hausanschrift: Gothaer Str. 27, 40880 Ratingen).

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 79 Seiten

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

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Dieses Dokument beinhaltet die Deutsche Fassung des vom Technischen Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ (Sekretariat: UNI, Italien) des Europäischen Komitees für Normung (CEN) ausgearbeiteten Normentwurfs prEN 16681:2013.

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

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

Systèmes de stockage statiques en acier — Systèmes de rayonnage à palettes réglables — Principes applicables au calcul parasismique

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

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

Inhalt

Seite

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 zu EN 16681	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	9
5 Leistungsanforderungen und Konformitätskriterien	10
5.1 Anwendbarkeit	10
5.2 Leistungsanforderungen	10
5.2.1 Anforderung der Einsturzsicherheit	10
5.2.2 Anforderung der Schadensbegrenzung	11
5.2.3 Bewegung der Ladeeinheiten	11
6 Baugrundbeschaffenheit und Erdbebeneinwirkungen	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Dämpfung	12
6.3 Bedeutungsbeiwert	12
6.4 Horizontale Komponente der Erdbebeneinwirkung	13
6.5 Vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung	13
6.6 Bemessung der Bodenverschiebung	14
6.7 Regale in Stockwerken	14
7 Berechnungsmethoden	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Begrenzung der Vertikallast bezogen auf die kritische Euler-Last	14
7.3 Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung	15
7.4 Berechnungsverfahren	15
7.4.1 Effekte 2. Ordnung	15
7.4.2 Querkraftberechnungsmethode (LFMA)	17
7.4.3 Modale Antwortspektrum-Analyse (MRSA)	19
7.4.4 Großverschiebungsanalysemethode (LDMA)	19
7.4.5 Kombination der Effekte aufgrund der Komponenten der Erdbebeneinwirkung	19
7.4.6 Verschiebungsberechnung	20
7.5 Bemessungsparameter für die seismische Berechnung	20
7.5.1 Allgemeines	20
7.5.2 Bemessungsspektrum - Änderungsfaktoren	20
7.5.3 Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwert	21
7.5.4 Gestaltung des seismischen Gewichts der Ladeeinheit	22
7.5.5 Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeeinheit	22
7.5.6 Sonstige seismische Gewichte	23
7.5.7 Gewicht der seismischen Massen	23
7.5.8 Position des Schwerpunkts der Ladeeinheit	24
7.5.9 Positionierungstoleranz	25
7.5.10 Kriterien für konstruktive Regelmäßigkeit	25
7.6 Annahmen zur Modellbildung für die statische Berechnung	26

7.6.1	Teilmodelle	26
7.6.2	Verteilung der Massen	26
7.6.3	Spezifische Modellabbildungsanforderungen bei der Berechnung	27
7.6.4	Momentenausgleichsverfahren am Fuß der Stütze wegen Bodenverhaltens	28
8	Besondere Regeln	30
8.1	Bemessungskonzepte.....	30
8.1.1	Allgemeines	30
8.1.2	Material	30
8.1.3	Tragwerkstypen und Verhaltensbeiwerte	31
8.1.4	Kriterien für konstruktive Regelmäßigkeit.....	32
8.1.5	Layout Regelmäßigkeit	37
8.1.6	Vorschriften für die Bemessung niedrig-dissipativer Konstruktionen.....	37
8.1.7	Auslegungsregeln für dissipative Konstruktionen	38
8.1.8	Verankerungsbedingungen.....	38
8.2	Erdbebenresistente Konstruktionen	39
8.3	Konstruktionstypen und Verhaltensbeiwert.....	39
8.3.1	Ständerrahmen	39
8.3.2	Momenten widerstehende Rahmen	41
8.3.3	Regale mit Vertikalverbänden in Ganglängsrichtung.....	42
9	Erdbebenberechnung und -auslegung	44
9.1	Einwirkungen	44
9.1.1	Einwirkungen, die gleichzeitig mit dem Erdbeben zu berücksichtigen sind	44
9.1.2	Einwirkungen, die nicht gleichzeitig mit dem Erdbeben zu berücksichtigen sind.....	45
9.2	Sicherheitsprüfungen	45
9.2.1	Grenzzustände.....	45
9.2.2	Bewegungen der Ladeeinheiten	47
9.3	Gestaltung der Palettenträger.....	47
9.3.1	Einwirkungen auf Palettenträger	47
9.3.2	Knicklänge in der Horizontalebene	49
9.3.3	Berichtigungsfaktor für Horizontalbiegung.....	50
9.3.4	Knicklängenbeiwert in der Vertikalebene	50
9.3.5	Prüfung der Trärgestaltung.....	50
9.3.6	Prüfung des Trägers mit verschobener Ladeeinheit	51
Anhang A (informativ)	Analysemethoden einschließlich Effekte 2. Ordnung	52
A.1	Allgemeines	52
A.2	Beispiel 1	52
A.3	Beispiel 2.....	53
A.4	Beispiel 3.....	53
A.5	Referenzergebnisse	54
Anhang B (normativ)	Ermittlung des Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwerts	57
B.1	Allgemeines	57
B.2	Zweck der Prüfung	57
B.3	Prüfanordnung.....	57
B.4	Prüfmethode	58
B.4.1	Prüfmethode 1	58
B.4.2	Prüfmethode 2	58
B.5	Ableitung der Ergebnisse	59
B.5.1	Prüfmethode 1	59
B.5.2	Prüfmethode 2	59
B.5.3	Auswertung	59
Anhang C (informativ)	Grundlagen der Modellabbildung der Ladeeinheitsmassen.....	62
C.1	Allgemeines	62
C.1.1	Ganglängsrichtung.....	62
C.1.2	Gangquerrichtung	63
Anhang D (informativ)	Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Einflusses des Palettenschwerpunkts auf die Trägerebene	65

D.1	Allgemeines	65
D.1.1	Vereinfachtes Verfahren für die Gesamtsystemanalyse	65
D.1.2	Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung des Palettenträgers	66
Anhang E (informativ) Grundlagen für die Gestaltung von Regalen in Stockwerken		67
E.1	Allgemeines	67
E.2	Masse auf dem Regal, die in den Methoden 1 und 2 zu berücksichtigen ist.....	67
E.2.1	Methode 1	67
E.2.2	Methode 2	68
E.2.3	Methode 3	68
E.3	Vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung	68
Anhang F (informativ) Zusätzliche Ausführungsregeln für dissipative Elemente (Konzept B)		69
F.1	Allgemeines	69
F.2	Verbindungen, die zur Energiedissipation beitragen	69
F.3	Momenten widerstehende Rahmen	69
F.4	Anforderungen an horizontalen Verbände.....	69
Anhang G (informativ) Prüfverfahren für die Träger-Stütze Verbindungen bei dissipativer Bemessung (Konzept B)		70
G.1	Biegeprüfung am Trägeranschluss	70
G.1.1	Prüfanordnung	70
G.1.2	Monotone Prüfung	70
G.1.3	Zyklische Belastungsprüfung	70
G.2	Biegeversuch an den Bodenbefestigungen.....	71
G.2.1	Prüfanordnung	71
G.2.2	Zyklischer Belastungstest	72
Anhang H (informativ) Stabilitätsbewertung gelagerter Waren		73
H.1	Empfohlenes Höhe-Breite Verhältnis der Ladeeinheit.....	73
H.2	Paletten-Kippprüfung	73
H.3	Ständerrahmen von Endfeldern	74
Anhang I (informativ) Auszutauschende Daten zwischen dem Planer / Endbenutzer und dem Regallieferanten		75
I.1	Information, die der Planer / Endbenutzer dem Regallieferanten liefern muss	75
I.2	Information, die der Regallieferant dem Planer / Endbenutzer liefern muss	75
Anhang J (normativ) Zusätzliche Regeln zu EN 15635		76
J.1	Anforderung der Schadensbegrenzung: Schadensbewertung nach einem Erdbeben.....	76
J.2	Rutschen der Ladeeinheit	76
J.3	Herunterfallen der Ladeeinheit.....	76
J.4	Schaukeln und Umkippen der Ladeeinheit	76
J.5	Verantwortung des Anwenders	76
Anhang K (informativ) Zusätzliche Regeln zu EN 15629		77
K.1	Kategorie der Lagerhaus-Umgebungsbedingungen.....	77

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16681:2013) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

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:

- 1) kontinuierlich gelochte Stützen;
- 2) einhakende Anschlüsse;
- 3) Konstruktionsteile für Regale bestehen üblicherweise aus dünnwandigen, kaltgeformten Bauelementen.

In Bezug auf die Beladung ist das Eigengewicht der Regalkonstruktion normalerweise sehr niedrig und 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.

- Ladeeinheiten werden durch die Regalkonstruktion generell nur vertikal gestützt und in ihrer Position gehalten, wenn sie im Falle von Trägheitseinwirkungen nur durch Reibung 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 niedrig und haben zur Dissipation der Energie durch Reibung beigetragen, oder sehr stark mit Bewegung der Paletten, die ihr Herunterfallen zwischen den Trägern oder außerhalb des Regals in den Gang hervorrufen können. Aus diesem Grunde hat die Reibung zwischen Palette und Palettenträger sowie die Eigendämpfung in der Ladeeinheit einen wesentlichen Einfluss auf die dynamische Antwort des Regals und beeinflusst die Gesamtheit der Trägheitseinwirkungen.

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

Diese Europäische Norm behandelt alle relevanten und speziellen Fragen der erdbebensicheren Gestaltung 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, ist es für Lagersysteme notwendig, die für konventionelle Stahlkonstruktionen geltenden allgemeinen Grundlagen und technischen Anforderungen anzupassen, um die Besonderheiten von Regallagern zu berücksichtigen, damit das geforderte Sicherheitsniveau erreicht wird.

Auch die Analysemethoden und Planungsanforderungen müssen sich mit den Besonderheiten von Regalkonstruktionen befassen.

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

Dies und die Notwendigkeit für harmonisierte Konstruktionsbestimmungen waren die Gründe, dass 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 als Europäische Normen (EN) bzw. als Arbeitsgruppenaktivitäten (WG = Arbeitsgruppe) bestehen.

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 Konstruktionen aus Stahl und Aluminium“ und CEN/TC 149 „Kraftbetriebene Lagereinrichtungen“.

0.4 Zusatzinformation, spezifisch zu EN 16681

Diese Norm ist vorgesehen zur Verwendung in Verbindung mit EN 1998-1:2004, *Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Allgemeine Regeln, seismische Einwirkungen und Regeln für Bauwerke* und EN 15512, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl – Verstellbare Palettenregale – Grundlagen der statischen Gestaltung* und verwandte Normen.

EN 1998-1:2004 ist der erste von 6 Teilen; sie legt die Konstruktionsrichtlinien fest, vorgesehen für Bauwerke, die aus klassischen Materialien einschließlich Stahl hergestellt sind.

EN 15512 ist die Referenz-Norm für die Konstruktion von Regalsystemen und -bauteilen. Sie behandelt die Grundsätze der EN 1990, Eurocode 0, und EN 1993, Eurocode 3, für verstellbare Palettenregale und sie ist auch bei von Erdbeben hervorgerufenen Einwirkungen anzuwenden.

1 Anwendungsbereich

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

Diese Europäische Norm enthält Leitlinien für die Konstruktion von Hochregal-Silos in Erdbebengebieten, soweit die Anforderungen nicht in der 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 Gestaltung 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).

EN 1990 (alle Teile), *Eurocode 0 — Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

EN 1998-1:2004, *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 Gestaltung*

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

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

ECSS-45:1986, Recommended testing procedure for assessing the behaviour of structural steel elements under cyclic loads

3 Begriffe

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

3.1
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.

3.2
seismisches Gewicht
Gewichtswert einer Masse, zugelassen in erdbebensicherer Gestaltung, zur Berechnung der Erdbebeneinwirkung

3.3
Lager-Sicherheitsbeauftragter
Person, verantwortlich für die Sicherheit der Lagereinrichtungen (PVSL) nach EN 15635

[QUELLE: EN 15635:2008, Begriff 3.18]

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Zwecke dieses Dokuments dürfen eine Reihe folgender Symbole mit tiefer gestellten, dahinter stehenden Zeichen verwendet werden. Zusätzliche Symbole und tiefer gestellte Zeichen werden definiert, da wo sie erstmalig auftreten.

$A_{E,d}$	Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung für die Referenz-Wiederkehrperiode
a_{gR}	Bemessung der Bodenbeschleunigung (PGA) für die Referenz-Wiederkehrperiode von 475 Jahren
β	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
ζ	viskoser Dämpfungskoeffizient, ausgedrückt als Prozentsatz der aperiodischen Dämpfung
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
θ	Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung
θ_i	Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung zwischen den Ebenen i und $i+1$
$F_{b,Rd}$	Tragfähigkeit geschraubter Anschlüsse
f_k	charakteristische Materialfestigkeit
$F_{v,Rd}$	Scherfestigkeit der Schraube
G_i	ständige Last
G_k	charakteristischer Wert ständiger Lasten (Totlasten)
g	Schwerkraft-Beschleunigung
γ_l	Bedeutungsbeiwert
γ_M	Teilfaktor des Materials
h_i	Höhe zwischen Stockwerken oberhalb von Stockwerk i
K	Knicklängenfaktor
K_D	effektiver Spektrum-Änderungsfaktor
L	Trägerlänge
λ	Berechnungsfaktor der Erdbebenschubkraft in der LFMA
$\bar{\lambda}$	dimensionslose Schlankheit
μ_S	Reibungsbeiwert von Ladeinheit-Träger
$P_{cr,E}$	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
$Q_{k,i}$	charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung i
$Q_{P,max}$	vorgegebenes Gewicht der Ladeinheit (siehe EN 15629, 6.7.1)
$Q_{P, rated}$	Gewichts-Sollwert der Ladeinheit 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).
R_d	Bemessungswiderstand des Elements
R_F	Regalfüllgrad-Reduktionsfaktor
S	Erbodenparameter
$S_d(T)$	y-Koordinate des Bemessungsspektrums (normalisiert mit g)
$S_{d, mod}(T)$	y-Koordinate des veränderten Bemessungsspektrums für Regale (normalisiert mit g)
$S_e(T)$	y-Koordinate des elastischen Spektrums (normalisiert mit g)
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 Einwirkungen
$W_{E,tot}$	Gesamtgewicht der seismischen Masse des Regals
$W_{E,UL}$	seismisches Bemessungsgewicht der Ladeinheit, das in der Erdbebenberechnung zu betrachten ist
$\psi_{2,i}$	Kombinationswert für veränderliche Einwirkungen

5 Leistungsanforderungen und Konformitätskriterien

5.1 Anwendbarkeit

Nicht erdbebensichere Gestaltung muss EN 15512 einhalten. Der Verweis auf Prüfungen und Qualitätskontrollen der Bauteile und Materialien basiert auf EN 15512.

Bei sehr niedriger Erdbebenhäufigkeit müssen Regalkonstruktionen nicht für Erdbeben ausgelegt sein (siehe auch EN 1998-1:2004, 3.2.1, (5)P).

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

ANMERKUNG Es wird empfohlen, Fälle als sehr niedrige Erdbebenhäufigkeit anzusehen, bei denen entweder die bemessene Bodenbeschleunigung eines Typ A Bodens, ηa_{gR} , nicht größer als $0,04 g$ ($0,39 \text{ m/s}^2$) ist, oder dessen Ergebnis $\eta a_{gR} S$ nicht größer als $0,05 g$ ($0,49 \text{ m/s}^2$) 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.

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

5.2.2 Anforderung der Schadensbegrenzung

In dieser Norm ist keine spezifische Gestaltungsanforderung vorgegeben.

Nach einem seismischen Ereignis mit einer Bodenbeschleunigung größer als $0,50 \gamma a_{gR} S$ oder $0,50 a_{gR} S$, je nachdem was geringer ist, muss der PVSL (Person, verantwortlich für die Sicherheit der Lagereinrichtungen wie in EN 15635 festgelegt), eine vollständige Prüfung der Integrität der Regalkonstruktion veranlassen. Die Bewertung des Schadensumfangs der Bauteile ist Pflicht, bevor das Regal für die erneute Nutzung freigegeben wird.

Die Bewegung gelagerter Ladeeinheiten stellt keinen Schaden dar.

ANMERKUNG Die Erdbebenstärke ist über öffentlich zugängliche Information erhältlich.

Der Wert von $0,50 \gamma a_{gR} S \leq 0,50 a_{gR} S$ ist vom Regallieferanten im Benutzerhandbuch anzugeben.

5.2.3 Bewegung der Ladeeinheiten

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.

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

Folgen solcher Phänomene sind:

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

Der Veränderung der seismischen Antwort der Konstruktion ist in dieser Vorschrift 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 Berechnung sind in 7.5.2 und 7.5.5 aufgeführt.

6 Baugrundbeschaffenheit und Erdbebeneinwirkungen

6.1 Allgemeines

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

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

6.2 Dämpfung

Falls nicht anders vorgegeben, muss für Regalkonstruktionen das viskose Dämpfungsverhältnis ζ angenommen werden, ausgedrückt als Prozentsatz der kritischen Dämpfung:

$$\zeta = 3\%$$

6.3 Bedeutungsbeiwert

Bedeutungsbeiwerten sind anzuwenden, die nicht kleiner sind als in Tabelle 1 definiert. Der Planer ist auch für die Auswahl der Wichtigkeitsklasse und die Gestaltung der Lebensdauer des Regals verantwortlich.

ANMERKUNG Die Bemessungslebensdauer von mindestens 30 Jahren bezieht sich nur auf die erdbebensichere Konstruktion und unterscheidet sich von der normalen, statischen Bemessungslebensdauer von mindestens 10 Jahren, wie in EN 15512 beschrieben.

ANMERKUNG Aus wirtschaftlichen oder strategischen Gründen spezifiziert der Auftraggeber einen höheren Bedeutungsbeiwert. Normalerweise ist der Bedeutungsbeiwert für das Regal nicht größer als der Bedeutungsbeiwert, der für den Teil des Gebäudes vorgegeben ist, in dem sich das Regal befindet.

Tabelle 1 — Bedeutungsbeiwerte für Regale

Bedeutungs- kategorie	Beschreibung	Bedeutungsbeiwert	
		bemessene Lebensdauer 30 Jahre	bemessene Lebensdauer 50 Jahre
I	Lagerhäuser mit vollständig automatisierten Lagerbetrieb	0,67	0,8
II	Standard Lagerhausbedingungen, einschließlich Abholbereiche	0,84	1,0
III	Jede Art von Regalen mit beliebigem Zugang für Privatkunden	k.A.	1,2
IV	Gefahrgutlager (Lagerung von Gefahrgut bedarf der Genehmigung nationaler Behörden) Strategische Einrichtungen	k.A.	1,4

Der Vorgabewert für ein konventionelles Lagergestell ist 30 Jahre in den Kategorien I und II, und 50 Jahre für Hochregal-Silos.

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

ANMERKUNG Bedeutungskategorie I: 20% Wahrscheinlichkeit einer größeren Erdbebeneinwirkung in 30 und 50 Jahren.
 Bedeutungskategorie II: 10% Wahrscheinlichkeit einer größeren Erdbebeneinwirkung in 30 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 Horizontale Komponente der Erdbebeneinwirkung

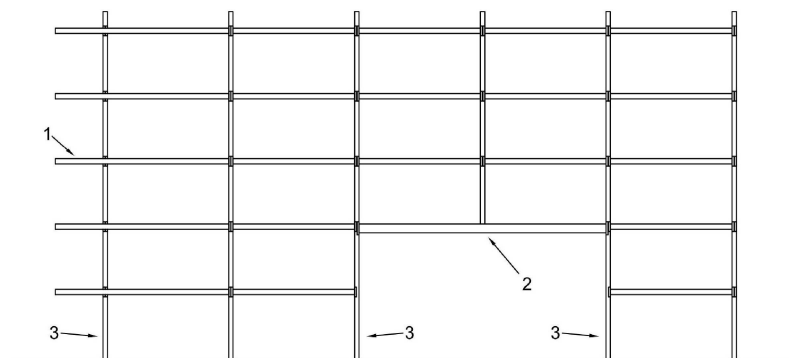
Die horizontale Komponente der Erdbebeneinwirkung ist nach EN 1998-1 zu berechnen.

6.5 Vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung

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

Die vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung ist nur in folgenden relevanten Fällen zu berücksichtigen:

- a) freitragende Ausleger,
- b) Träger stützende Pfosten (zum Beispiel in Kommissioniertunneln),
- c) mit ihnen direkt verbundene Unterstützungselemente oder Unterbauten.



Legende

- 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 vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung zu bemessen sind

6.6 Bemessung der Bodenverschiebung

Die Bemessung der 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 gegeben.

7 Berechnungsmethoden

7.1 Allgemeines

Die Referenzmethode zur Berechnung von Erdbebenauswirkungen auf Regalkonstruktionen ist die modale Antwortspektrumanalyse. Diese wird mittels eines linearelastischen Modells der Konstruktion und dem modifizierten Bemessungsspektrum $S_{d,mod}(T)$ nach 7.5.1 durchgeführt, sowie mit dem Bemessungsspektrum für die vertikale Komponente nach 6.5, wenn zutreffend.

7.2 Begrenzung der Vertikallast bezogen auf die kritische Euler-Last

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

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

Dabei ist:

P_E gesamte Schwerkraftbelastung des Regals in der erdbebensicheren Bemessungssituation

$P_{cr,E}$ 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:

- θ_i Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung im Grundmodus im Stockwerk i
- $P_{E,i}$ Gesamt-Schwerkraftbelastung in und oberhalb des betrachteten Stockwerks, in erdbebensicherer Bemessungssituation
- $d_{r,i}$ bemessene gegenseitige Stockwerksverschiebung, bewertet als Abweichung der durchschnittlichen seitlichen Verschiebungen am oberen und unteren Ende des Stockwerks, unter Beachtung und nach Berechnung nach 7.4.6 anhand der linearelastischen Analyse 1. Ordnung
- $V_{E,i}$ gesamter seismischer Stockwerkschub des betrachteten Stockwerks i
- h_i Höhe zwischen Stockwerken oberhalb des betrachteten Stockwerks i
- θ Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung im Grundmodus

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

Alternativ kann der Empfindlichkeitsbeiwert der gegenseitigen Stockwerksverschiebung θ wie folgt berechnet werden:

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

Dabei ist:

- P_E Gesamt-Schwerkraftbelastung des Regals in erdbebensicherer Bemessungssituation
- $P_{cr,E}$ kritische Euler-Last
- q_d Faktor des Verschiebungsverhaltens

ANMERKUNG 1 Die Gesamt-Schwerkraftbelastung P_E ist bestimmbar aus dem Sollwert der Ladeeinheiten $Q_{p, rated}$ und dem in 7.5.4 definierten Regalfüllfaktor R_F .

ANMERKUNG 2 Für die Definition von q_d - siehe EN 1998.

7.4 Berechnungsverfahren

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

Andere Berechnungsmethoden dürfen nach EN 1998-1 benutzt werden.

7.4.1 Effekte 2. Ordnung

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

Effekte 2. Ordnung sind bei niedrig-dissipativen Konzepten nach 7.4.1.1 und bei dissipativen Konzepten nach 7.4.1.2 zu berücksichtigen.

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

Es sind Berechnungsmethoden anzuwenden, 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.

ANMERKUNG 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.

7.4.1.2 Dissipatives Konzept (Verhaltensbeiwert $q > 2$)

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 $\theta > \theta_2$ ist, ist die Pushover Analyse nach EN 1998-1 oder die Großverschiebungsanalyse, beschrieben in 7.4.4 (Großverschiebungsanalysemethode - LDMA), anzuwenden.

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

Die Zeitverlaufsrechnung ist nach EN 1998-1 vorzunehmen.

Folgende Werte dürfen angenommen werden:

$$\theta_1 = 0,3$$

$$\theta_2 = 0,5$$

Tabelle 2.a — Zusammenfassung der Berechnungsmethoden für niedrig-dissipatives Tragverhalten

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

Tabelle 2.b — Zusammenfassung der Berechnungsmethoden für dissipatives Tragverhalten

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

Dabei ist:

LFMA – Querkraftberechnungsmethode (7.4.2)

MRSA – Modale Antwortspektrum-Analyse (7.4.3)

LDMA – Großverschiebungsberechnungsmethode (7.4.4)

7.4.2 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 Konstruktionen als erfüllt, entweder:

- Steifigkeit und Masse im Aufriss sind regelmäßig bei Grundschwingdauer T_1 in den zwei orthogonalen Hauptrichtungen kleiner als folgende Werte:

$$T_1 \leq 4 \times T_C$$

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

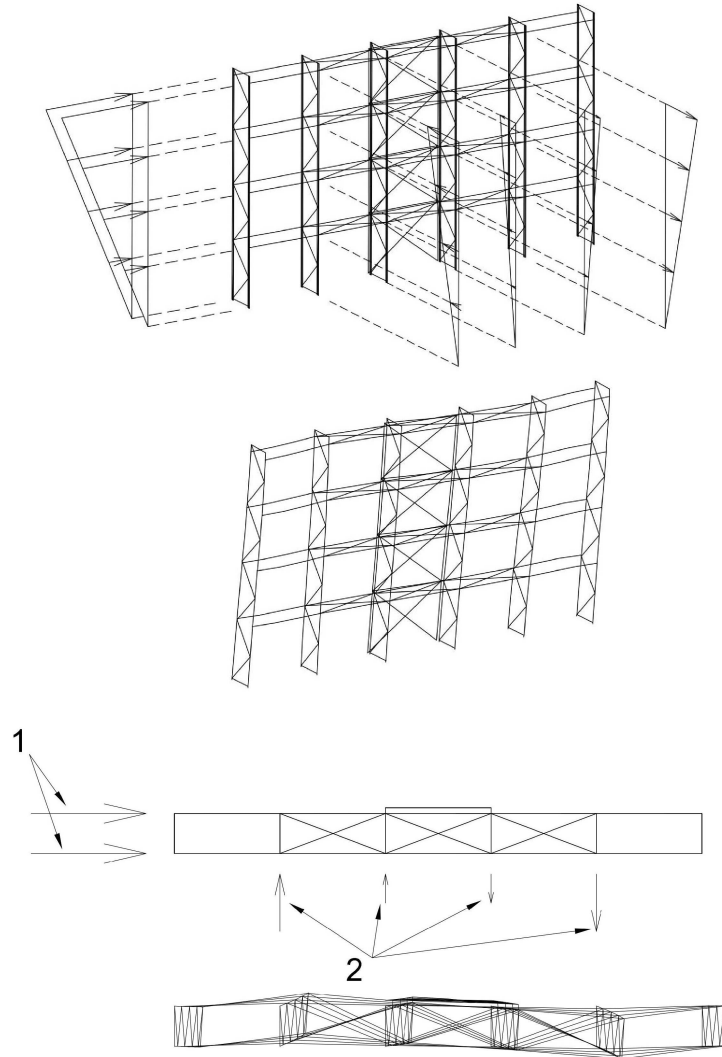
Dabei ist T_C der obere Grenzwert der konstanten, spektralen Beschleunigungsverzweigung des Bemessungsspektrums, definiert in EN 1998-1 sowie in relevanten nationalen Normen, oder

- die zur Grunddauer gehörige modale Masse ist größer als 90% der Gesamtmasse.

Siehe 8.1.4 zur Regelmäßigkeit.

Für Konstruktionen, deren Aufriss unregelmäßig ist, muss das System der angewandten Querkräfte homothetisch sein zur dreidimensionalen, fundamental häufigsten Form, einschließlich der Torsionskomponente.

ANMERKUNG Die Resultante des auf Tragwerke angewandten Kräftesystems ergibt die gleiche 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

Die für Bauwerke typischen vereinfachten Formeln, die in verschiedenen Vorschriften und Normen zur Berechnung der Grunddauer vorgeschlagen werden, 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:

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

T_1 Grundswingungsdauer für Translationsbewegung in der betrachteten Richtung

$W_{E,tot}$ 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 Grunddauer nicht berechnet ist, ist der Maximalwert des Bemessungsspektrums anzunehmen.

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

7.4.3 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.

7.4.4 Großverschiebungsanalysemethode (LDMA)

Wenn die Großverschiebungsanalyse 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 ist, ist der Zielknoten.
- 2) Das Muster der Horizontalkräfte wird bestimmt mittels einer Verteilung, die der modalen Form des Grundmodus in jede der zwei Hauptrichtungen entspricht.
- 3) Als erstes sind die Vertikallasten auf das Tragwerk anzusetzen, und danach die Horizontalkräfte zu erhöhen, bis der Zielknoten 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.

7.4.5 Kombination der Effekte aufgrund der Komponenten der Erdbebeneinwirkung

Die horizontale und die vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung müssen nach EN 1998-1 generell zusammen betrachtet werden.

Das allgemeine, auf Regalkonstruktionen anwendbare Verfahren ist:

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

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

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

Dabei ist:

„+“ bedeutet „zu kombinieren mit“

E_{Edx} = Beanspruchung aufgrund der Anwendung seismischer Einwirkung in der horizontalen x-Achse des Tragwerks

E_{Edy} = Beanspruchung aufgrund der Anwendung der gleichen seismischen Einwirkung in der orthogonalen horizontalen y-Achse des Tragwerks

E_{Edz} = Beanspruchung infolge der Anwendung der vertikalen Komponente der bemessenen Erdbebeneinwirkung (falls zutreffend)

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

7.4.6 Verschiebungsberechnung

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

ANMERKUNG Für die Bewertung der Verschiebungen, wird der untere Grenzwert β in der Definition des Bemessungsspektrums $S_d(T)$ ignoriert.

7.5 Bemessungsparameter für die seismische Berechnung

7.5.1 Allgemeines

Die erdbebensichere Gestaltung von Regalen muss mit folgendem geänderten Bemessungsspektrum durchgeführt werden:

$$S_{d,mod}(T) = K_D \cdot S_d(T) \quad (7)$$

Dabei ist:

$S_d(T)$ das Referenzbemessungsspektrum, definiert in EN 1998-1

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

$$K_D = 1 - P_{E,prod} / P_E \cdot (1 - E_{D1} \cdot E_{D3}) \quad (8)$$

und:

P_E das Gesamtgewicht des Regals in der seismischen Bemessungssituation (einschließlich Eigengewicht, ruhende Belastung, Nutzlast in der Erdbebensituation und Gewicht der eingelagerten Produkte)

$P_{E,prod}$ das gesamte, auf dem Regal gelagerte Produktgewicht in der Erdbebenbemessungssituation.

$K_D = E_{D1} \cdot E_{D3}$ kann übernommen 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 (herrschende 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:

μ_S der Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwert, beschrieben in 7.5.3

T_1 die Grundswingdauer 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 mit der viskosen Dämpfung wie in 6.2 festgelegt.

Wenn Paletten 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:

$$E_{D3} = 0,67$$

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

7.5.3 Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwert

Die Auswirkungen der Ladeeinheit-Träger Wechselbeziehung sind in dem Palette-Träger Reibungsbeiwert μ_S beschrieben.

Abhängig von der Art der Prüfung muss der Referenzwert μ_S durch die Beiwerte $C_{\mu L}$ und $C_{\mu H}$ berichtigt werden, um Ober- und Untergrenze der statistischen Verteilung festzulegen.

E_{D1} ist mit dem Referenzwert des Reibungsbeiwerts zu bewerten.

Die Berechnung des Rutschens der Ladeeinheit (siehe 9.2.2 für ungünstige Auswirkungen des Rutschens) ist, unter Berücksichtigung der Beschleunigung auf jeder Ebene, mittels des geminderten Reibungsbeiwerts $C_{\mu L} \cdot \mu_S$ durchzuführen.

Lokale Überprüfungen der Effekte von Erdbebeneinwirkungen auf Träger in der Horizontalebene sind unter Einbeziehung der horizontalen, durch Reibung begrenzten Einwirkung, errechnet auf der Basis des Reibungsbeiwerts $C_{\mu H} \cdot \mu_S$, multipliziert mit dem Nenngewicht der Ladeeinheit (siehe 9.2.2 für günstige Effekte des Rutschens), durchzuführen.

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

Falls keine Tests durchgeführt werden, sind $C_{\mu L} = 0,67$ und $C_{\mu H} = 1,50$ anzunehmen, und die empfohlenen Palette-Träger Reibungsbeiwerte sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Empfohlene Referenzwerte für Palette-Träger Reibungsbeiwert

Material in direktem Kontakt	Umgebung	Referenzwert für Palette-Träger Reibungsbeiwert μ_s
Stahlträger – alle Beschichtungsarten Holzpalette	Normale Lagerhausbedingungen	0,37
Stahlträger – alle Beschichtungsarten Plastik- und Stahlpaletten	Normale Lagerhausbedingungen	0,15
ANMERKUNG Normale Lagerhausbedingungen sind in EN 15629 definiert		

Bei allen anderen Voraussetzungen ist der Ladeeinheit-Träger Beiwert durch Tests, unter Berücksichtigung der Lagerhausbedingungen des Lagerbetreibers festzulegen.

7.5.4 Gestaltung des seismischen Gewichts der Ladeeinheit

Das bemessene Gewicht der Ladeeinheit $W_{E,UL}$, das für die horizontale Erdbebeneinwirkung zu beachten ist, wird wie folgt bestimmt:

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

Dabei ist:

R_F = 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} = Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeeinheit (siehe 7.5.5)

$Q_{P, \text{rated}}$ = Sollwert des Gewichts der Ladeeinheiten für das Fach, Ständerrahmen oder 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, sind folgende Werte zu beachten:

$$R_F = 1,0$$

7.5.5 Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeeinheit

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

Soweit nicht anders vorgegeben, sind die Werte E_{D2} in Tabelle 4 zu berücksichtigen, in Abhängigkeit vom Palettentyp und der Art der gelagerten Güter in den vorgegebenen Produktklassen.