

DIN EN 16681



ICS 53.080

Entwurf

Einsprüche bis 2016-02-04
Ersatz für
E DIN EN 16681:2013-11

**Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl –
Verstellbare Palettenregale –
Leitsätze für die erdbebensichere Gestaltung;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16681:2015**

Steel static storage systems –
Adjustable pallet racking systems –
Principles for seismic design;
German and English version prEN 16681:2015

Systèmes de stockage statiques en acier –
Systèmes de rayonnages à tablettes ajustables –
Principes pour le calcul parasismique;
Version allemande et anglaise prEN 16681:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-12-04 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 DIN-Normenausschuss Eisen-, Blech- und Metallwaren (NAEBM) (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 167 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 (prEN 16681:2015) 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.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des prEN 16681 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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

Systèmes de stockage en acier — Systèmes de rayonnages à palettes réglables — Principes pour le calcul parasismique

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

ICS:

Deskriptoren

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
0 Einleitung	5
0.1 Auswirkungen von Erdbebeneinwirkungen auf Regalsysteme	5
0.2 Bedarf an EN-Normen für Regale und Fachbodenregale in Ergänzung zu den Eurocodes.....	5
0.3 Zusammenarbeit.....	6
0.4 Zusatzinformation, spezifisch zu EN 16681.....	6
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen.....	8
5 Leistungsanforderungen und Konformitätskriterien.....	11
5.1 Anwendbarkeit.....	11
5.2 Leistungsanforderungen.....	11
5.2.1 Anforderung der Einsturzsicherheit	11
5.2.2 Anforderung der Schadensbegrenzung.....	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.....	16
7.4.1 Allgemeines	16
7.4.2 Effekte 2. Ordnung.....	16
7.4.3 Querkraftberechnungsmethode (LFMA)	18
7.4.4 Modale Antwortspektrum-Analyse (MRSA)	20
7.4.5 Großverschiebungsanalysemethode (LDMA)	20
7.4.6 Kombination der Effekte aufgrund der Komponenten der Erdbebeneinwirkung.....	20
7.4.7 Verschiebungsberechnung.....	21
7.5 Bemessungsparameter für die seismische Berechnung	21
7.5.1 Allgemeines	21
7.5.2 Bemessungsspektrum - Änderungsfaktoren.....	22
7.5.3 Ladeinheit-Träger Reibungsbeiwert.....	22
7.5.4 Gestaltung des seismischen Gewichts der Ladeinheit.....	23
7.5.5 Änderungsfaktor für das Gewicht der Ladeinheit.....	24
7.5.6 Sonstige seismische Gewichte.....	24
7.5.7 Gewicht der seismischen Massen	24
7.5.8 Position des Schwerpunkts der Ladeinheit.....	25

7.5.9	Positionierungstoleranz	26
7.5.10	Kriterien für konstruktive Regelmäßigkeit	26
7.6	Annahmen zur Modellbildung für die statische Berechnung.....	27
7.6.1	Teilmodelle.....	27
7.6.2	Verteilung der Massen.....	27
7.6.3	Spezifische Modellabbildungsanforderungen bei der Berechnung	28
7.6.4	Momentenausgleichsverfahren am Fuß der Stütze wegen Bodenverhaltens	29
8	Besondere Regeln.....	31
8.1	Bemessungskonzepte	31
8.1.1	Allgemeines	31
8.1.2	Material.....	31
8.1.3	Tragwerksysteme.....	32
8.1.4	Regelmäßigkeitskriterien.....	32
8.1.5	Nicht ausgesteifte Regale.....	37
8.1.6	Vorschriften für die Bemessung niedrig-dissipativer Konstruktionen	38
8.1.7	Auslegungsregeln für dissipative Konstruktionen	39
8.1.8	Verankerungsbedingungen	39
8.2	Erdbebenresistente Konstruktionen	40
8.3	Konstruktionstypen und Verhaltensbeiwert.....	41
8.3.1	Ständerrahmen	41
	Anhang A (informativ) Analysemethoden einschließlich Effekte 2. Ordnung.....	54
	Anhang B (normativ) Ermittlung des Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwerts	61
	Anhang C (informativ) Grundlagen der Modellabbildung der Ladeeinheitsmassen	67
	Anhang D (informativ) Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Einflusses des Palettenschwerpunktes auf die Trägerebene.....	70
	Anhang E (informativ) Grundlagen für die Gestaltung von stockwerkunterstützter Regale.....	71
	Anhang F (normativ) Zusätzliche Ausführungsregeln für dissipative Elemente (Konzept B).....	73
	Anhang G (normativ) Prüfverfahren für die Träger-Stütze Verbindungen bei dissipativer Bemessung (Konzept B)	74
	Anhang H (informativ) Stabilitätsbewertung gelagerter Waren.....	77
	Anhang I (informativ) Auszutauschende Daten zwischen dem Planer / Endbenutzer und dem Regallieferanten	79
	Anhang J (informativ) Zusätzliche Regeln zu EN 15635.....	80
	Anhang K (informativ) Zusätzliche Regeln zu EN 15629 – Kategorie der Lagerhausumgebungsbedingungen	81
	Anhang L (informativ) A-Abweichungen	82
	Literaturhinweise.....	84

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16681:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur zweiten 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 lagernden 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 nur durch Reibung in ihrer Position gehalten, wenn sie im 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 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 geeigneten Prüfung zu unterziehen.

Diese Europäische Norm behandelt alle relevanten und speziellen Aspekte 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 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 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 und EN 15512 und verwandten 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 auch 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).¹⁾

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

EN 1990 (alle Teile), *Eurocode — 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 15620, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Grenzabweichungen, 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 Nr. 001, *Guideline for European technical approval of metal anchors for use in concrete*

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

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

3 Begriffe

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

3.1
zugehörige Masse
Teil der Gesamtmasse der Konstruktion, der das seismische Verhalten eines Konstruktionsteils oder der analysierten Unterkonstruktion beeinflusst

3.2
Gleichmäßigkeit der Masse
In Höhenlage: Situation, in der die Masse der individuellen Belastungsstufe konstant bleibt oder stetig abnimmt, ohne abrupte Veränderungen vom Boden bis zur Spitze des Gerüsts aufzuweisen.

Am Boden: Situation, in der die Masse im Hinblick auf das Lateralwiderstandssystem ohne erhebliche horizontale Exzentrizität verteilt wird

3.3
Hauptrichtungen
Hauptrichtungen eines Regals sind die Ganglängsrichtung und die Gangquerrichtung

[QUELLE: EN 15878:2010, Begriffe 3.2.14 und 3.2.15]

3.4
Lager-Sicherheitsbeauftragter
Person, verantwortlich für die Sicherheit der Lagereinrichtungen (PVSL) nach EN 15635

[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
Gewichtswert einer Masse, zugelassen in erdbebensicherer Gestaltung, zur Berechnung der Erdbebeneinwirkung

3.7
Planer
Person oder Firma, die dem Lieferanten eine detaillierte Spezifikation der Anforderungen des Benutzers zur Verfügung stellt

[QUELLE: EN 15629:2008, Begriff 3.23]

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+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_I	Bedeutungsbeiwert
γ_M	Teilfaktor des Materials
γ_f	Lastfaktor
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 Ladeeinheit-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 Ladeeinheit (siehe EN 15629, 6.7.1)
$Q_{p, rated}$	Gewichts-Sollwert der Ladeeinheit 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	Erdbodenparameter
$S_d(T)$	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 Ladeeinheit, das in der Erdbebenberechnung zu betrachten ist
$\psi_{2,i}$	Kombinationswert für veränderliche Einwirkungen

5 Leistungsanforderungen und Konformitätskriterien

5.1 Anwendbarkeit

Nicht erdbebensichere Konstruktionen sind nach EN 15512 auszuführen. 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, γa_{gR} , nicht größer als 0,04 g ist, oder dessen Ergebnis $\gamma a_{gR} S$ 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.

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. Die Bewegung gelagerter Ladeeinheiten stellt keinen Schaden dar.

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

— Bewegung der Ladeeinheiten

Die Bewegung von Ladeeinheiten muss, sofern zutreffend, in der Konstruktion 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 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 die 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 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 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 bezogen auf die unbelastete Stahlkonstruktion angenommen werden, ausgedrückt als Prozentsatz der kritischen Dämpfung. Es ist für Stahlkonstruktionen anzunehmen:

$$\zeta = 3\%$$

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

6.3 Bedeutungsbeiwert

Bedeutungsbeiwerte 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 1 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 2 Höhere Bedeutungsbeiwerte können spezifiziert werden. Sofern nicht anders gefordert, braucht der Bedeutungsbeiwert für das Regal nicht größer als der Bedeutungsbeiwert zu sein, 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 3 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

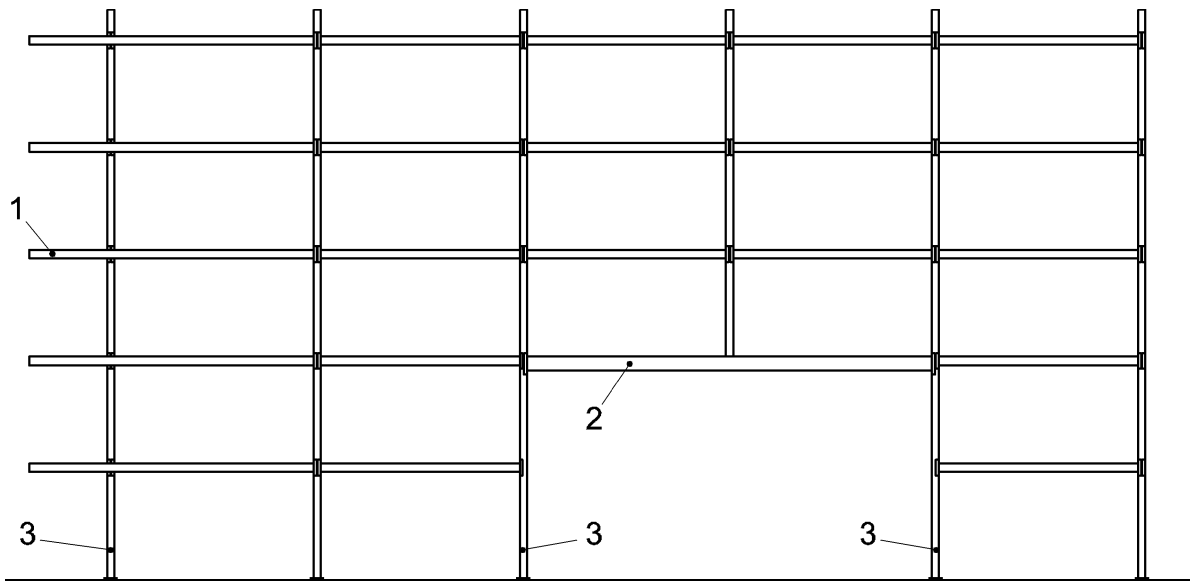
Die horizontale Komponente der Erdbebeneinwirkung ist nach EN 1998-1 zu berechnen.

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, wie in Bild 1 dargestellt:

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



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 (informativ) 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 bei Grundschiwingung 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 I. 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

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 in Erdbebenregionen wird aus dem Sollwert der Ladeeinheiten $Q_{p, rated}$ und dem in 7.5.4 definierten Regalfüllfaktor R_F ermittelt.

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

7.4 Berechnungsverfahren

7.4.1 Allgemeines

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

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.

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.

7.4.2.3 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 Analyse nach EN 1998-1 oder die Großverschiebungsanalyse, beschrieben in 7.4.5 (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 — 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 3 — 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 7.4.5	
$\theta > \theta_2$	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 (7.4.3)

MRSA – Modale Antwortspektrum-Analyse (7.4.4)

LDMA – Großverschiebungsberechnungsmethode (7.4.5)

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 Konstruktionen als erfüllt, bei denen entweder:

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

$$T_1 \leq 4 \times T_c$$

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

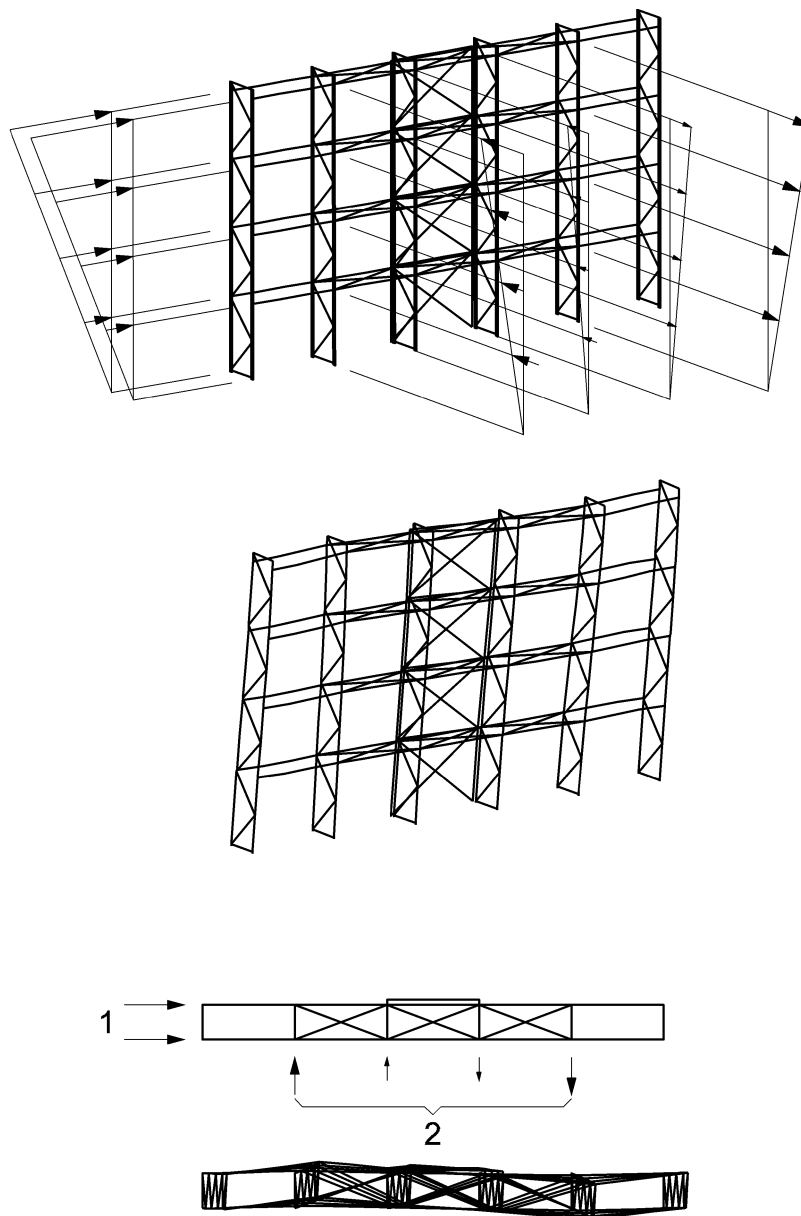
Dabei ist T_c der obere Grenzwert der konstanten, spektralen Beschleunigungsverzweigung des Bemessungsspektrums, definiert in EN 1998-1 sowie in relevanten nationalen Normen, oder

- 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. Bild 2 zeigt ein Beispiel des Kräftesystems auf ein Regal mit unregelmäßigem Grundriss.

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

Für Bauwerke typische vereinfachte Formeln 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 Grundschwingungsdauer 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.

7.4.4 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, welche sekundäre Effekte berücksichtigen.

7.4.5 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.

7.4.6 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 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 bemessene Erdbebeneinwirkungen hervorgerufen werden, sollten nach EN 1998-1, auf der Basis des nach 7.5.1 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 $E_{D1} \cdot E_{D3} \geq 0,4$

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

Dabei ist:

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 Referenzwert zum Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwert, beschrieben in 7.5.3

T_1 die Grundschwingdauer 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 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:

Der Wert von E_{D3} beträgt 0,80

ANMERKUNG 1 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.

ANMERKUNG 2 Der Wert für $E_{D3}=0,8$ entspricht einer üblichen Dämpfungsrate ξ von 10 % des beladenen Regals, welcher die im gesamten System bestehenden dissipativen Mechanismen beschreibt.

7.5.3 Ladeeinheit-Träger Reibungsbeiwert

Die folgenden Parameter müssen bei der Berücksichtigung der Auswirkungen der Ladeeinheit-Träger Wechselbeziehung angewendet werden:

μ_S = Referenzwert für den Reibungsbeiwert

$C_{\mu L}$ = Beiwert zur Korrektur der Untergrenzen der statischen Verteilung von μ_S

$C_{\mu H}$ = Beiwert zur Korrektur der Obergrenzen der statischen Verteilung von μ_S

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 4 angegeben.

Tabelle 4 — 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, muss wie folgt bestimmt werden:

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

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

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

Tabelle 5 — Änderungsfaktoren für das Gewicht der Ladeeinheiten

Klasse	E_{D2}	Klasse der gelagerten Güter	Beispiel
A	1,0	KOMPAKT GEBUNDEN	Tiefkühlgüter (Kühlhaus) Blechverpackung 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 (z. B. Granulate), die sich im Container leicht verschieben können
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 Reaktion 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 für die Definition von:

a) Eigengewichten:

- Gewichte von Materialien und Konstruktionen;
- Gewichte ortsfester Versorgungseinrichtungen.

b) Mindestbelastungen für Bühnen- und Laufgang:

siehe EN 15512 für die Sollwerte von Einwirkungen.

7.5.7 Gewicht der seismischen Massen

Das Gewicht der seismischen Masse W_E wird bestimmt unter Einbeziehung aller vom Regal getragenen permanenten und veränderlichen Lasten.

$$W_E = W_{E,G} + W_{E,Q} + W_{E,UL} \quad (11)$$

Dabei ist:

$W_{E,G} = \sum G_{k,i}$ die ständige Last

$W_{E,Q} = \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$ die veränderliche Einwirkung

$W_{E,UL}$ das seismische Bemessungsgewicht der Ladeeinheit, definiert in 7.5.4

$G_{k,i}$ der charakteristische Wert der ständigen Last

$Q_{k,i}$ der charakteristische Wert der veränderlichen Einwirkung

$\psi_{2,i}$ der Kombinationsfaktor der veränderlichen Einwirkungen, definiert in 9.2.1.1.

7.5.8 Position des Schwerpunkts der Ladeeinheit

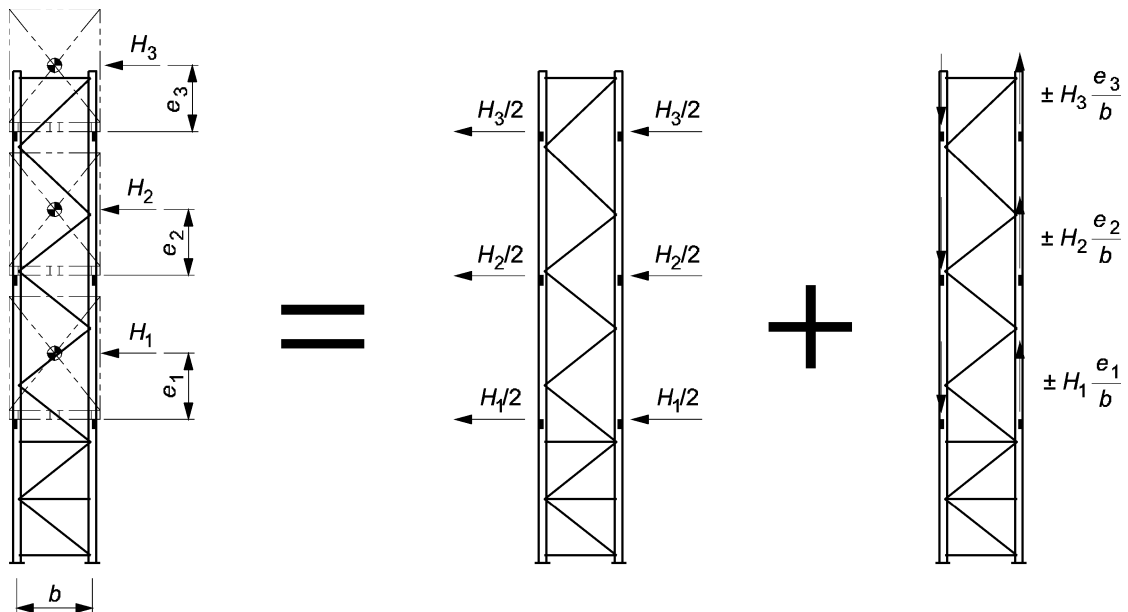
Die Position des Schwerpunkts der Ladeeinheit auf den Trägern ist bei der Berechnung zu berücksichtigen, so wie hier vorgegeben.

1) Quer zur Gangrichtung:

Die Höhe des Schwerpunkts der Ladeeinheit bezogen auf die Träger (vertikale Exzentrizität) muss beachtet werden, wie im folgenden Abschnitt vorgegeben.

Die Massen der Ladeeinheiten sind für die Auswertung der Schwingungsdauer und der seismischen Einwirkung, sowie für die Prüfung der Palettenträger und deren Anschlüsse oberhalb der Trägerebene zu positionieren (auf der Höhe ihres Schwerpunkts).

Im Bild 3 ist die Auswirkung der vertikalen Exzentrizität des Schwerpunkts der Ladeeinheit beispielhaft dargestellt.



Legende

b	Breite des Ständerrahmens
H1, H2, H3	Erdbebeneinwirkung, die auf Ladeeinheiten wirkt
e1, e2, e3	vertikale Exzentrizität des Schwerpunkts der Ladeeinheiten oberhalb der Palettenträger

Bild 3 — Auswirkung der vertikalen Exzentrizität des Schwerpunkts der Ladeeinheit am Modell des Ständerrahmens

ANMERKUNG In Anhang C ist eine Methode zur Berücksichtigung der vertikalen Exzentrizität des Schwerpunktes der Ladeinheit in einem numerischen Modell des Ständerrahmens beschrieben.

Unter gewissen Gegebenheiten ist der hierfür notwendige Rechneraufwand beträchtlich. Eine praktische Alternative den Rechneraufwand zu reduzieren ist es, die Masse auf die Trägerebene zu platzieren und zusätzliche Einwirkungen auf die Träger anzuwenden, wie in Anhang D (informativ) erklärt.

2) Längs zur Gangrichtung:

Im Allgemeinen kann die vertikale Exzentrizität der Ladeinheit in der Berechnung in Ganglängsrichtung vernachlässigt werden, ausgenommen bei Einfeldregalen.

Im Bild 4 ist der Effekt der vertikalen Exzentrizität des Schwerpunkts der Ladeinheit am Modell in Ganglängsrichtung beispielhaft dargestellt; es wird gezeigt, dass die Kippkräfte der Ladeeinheiten in gegensätzlicher Richtung stehen und ihre Auswirkung gleich null ist, abgesehen von den Ständerseiten, deren Auswirkung vernachlässigt werden kann (außer in einzelnen Regalzeilen).

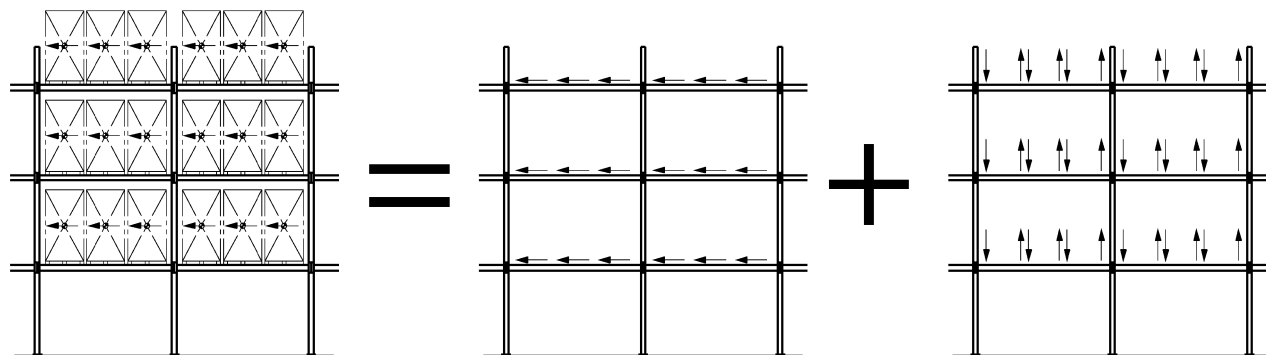


Bild 4 — Auswirkung der vertikalen Exzentrizität des Schwerpunkts der Ladeinheit am Modell in Ganglängsrichtung

7.5.9 Positionierungstoleranz

Die Exzentrizität aufgrund von Beschickungstoleranzen von Ladeeinheiten kann in der erdbebensicheren Gestaltung vernachlässigt werden.

Systematische Exzentrizitäten aufgrund der Regalkonfiguration müssen berücksichtigt werden.

7.5.10 Kriterien für konstruktive Regelmäßigkeit

Zwischen „regelmäßigen“ und „nicht regelmäßigen“ Konstruktionen muss unterschieden werden.

ANMERKUNG Das Konzept der Regelmäßigkeit bezieht sich auf beides, auf die Masse- und die Steifigkeitsverteilung im Grundriss und im Aufriss. Die Kriterien für Palettenregale werden in 8.1.4 angegeben.

Diese Unterscheidung hat Auswirkungen in der seismischen Gestaltung, wie nachfolgend beschrieben:

- auf die statische Berechnung, die entweder mittels eines vereinfachten ebenen oder eines räumlich numerischen Modells ausgeführt werden kann;
- auf die Berechnungsmethode, die entweder ein Querkraftverfahren (Basisschubmethode) oder eine modale Antwortspektrum-Analyse sein kann;
- auf den Wert des Verhaltensbeiwerts q , der für nicht regelmäßigen Aufriss bei Annahme eines dissipativen Verhaltensbeiwerts abzumindern ist, die Reduktion der Verhaltensbeiwerte wird in 8.1.3 angegeben.

Die gewählte Berechnungsmethode muss Tabelle 6 versprochen.

Tabelle 6 — Auswirkungen konstruktiver Regelmäßigkeit auf die Erdbebenanalyse und -Bemessung

Regelmäßigkeit		Zulässige Vereinfachung^a		Verhaltensbeiwert q
Grundriss	Aufriss	Modell	Berechnungsmethode	
Ja	Ja	eben	LFMA oder LDMA für dissipatives Konzept	Referenzwert
Ja	Nein	eben		abgemindert bei dissipativem statischen Verhalten (siehe auch 8.1.3)
Nein	Ja	räumlich	LFMA oder LDMA für dissipatives Konzept	Referenzwert
Nein	Nein	räumlich		abgemindert bei dissipativem statischen Verhalten (siehe auch 8.1.3)
^a Die Referenzmethode ist die Modale Antwortspektrum-Analyse. Siehe auch Anforderungen in 7.4.3.				

7.6 Annahmen zur Modellbildung für die statische Berechnung

7.6.1 Teilmodelle

Es ist zulässig, das Regal als eine Anzahl einzelner Teilkonstruktionen zu betrachten, unter der Voraussetzung, dass folgende Bedingungen erfüllt sind:

- a) Jedes Querkraften widerstehende System ist nach der entsprechenden Erdbebeneinwirkung mit Hilfe von Untervarianten (d. h. Ständerrahmen, vertikale Aussteifung) einzeln zu berechnen;
- b) Jedes Teilsystem ist unter Berücksichtigung aller seismischer Widerstandselemente mit den Massen zu berechnen, die das Verhalten der Teilkonstruktion beeinflussen (d. h. hintere Verstrebung, horizontale Aussteifungen und verbundene Ständerrahmen);
- c) Torsionswirkungen sind zu berücksichtigen, falls relevant.

7.6.2 Verteilung der Massen

Bei der Erdbebenanalyse ist die ungünstigste Beladungskonfiguration zu betrachten.

Mindestens Folgendes ist zu berücksichtigen:

- a) Seismische Einwirkung in Gangquerrichtung:

Die Erdbebenberechnung quer zur Gangrichtung kann an einem isolierten Ständerrahmen durchgeführt werden, der als Subsystem angesehen wird.

Die maßgebende Beladungssituation bei der Gestaltung ist für jedes Bauteil des Ständerrahmens auszuwerten; es ist notwendig, wenigstens folgende Beladungskonfigurationen zu betrachten:

- alle Ebenen mit ihrer spezifischen Last voll beladen,

- alle Ebenen teilweise zu 2/3 mit ihrer spezifischen Last beladen,
- nur die oberste Ebene mit ihrer spezifischen Last beladen.

ANMERKUNG 1 Im Allgemeinen ist die erste Beladungskonfiguration maßgebend für die Gestaltung der Bauteile (Stützen und Ständerrahmenverstrebungen), die zweite und dritte für die Gestaltung der Verankerung (Grundplatten und Ankerschrauben).

ANMERKUNG 2 Prinzipiell werden alle denkbaren Beladungskonfigurationen betrachtet, die zu den bedrohlichsten Belastungszuständen im Rahmen führen können; die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zwischenzustand im Moment des Auftretens des bemessenen Erdbebens besteht, ist gering, so dass es nicht erforderlich ist, weitere Bedingungen zu analysieren.

Der Ständerrahmen darf immer als Masse mit regelmäßigem Aufriss betrachtet werden.

b) Seismische Einwirkung in Ganglängsrichtung:

Die Berechnung in Gangrichtung ist eine Gesamtsystemanalyse und die aussagekräftigste Einwirkung erhält man bei voll beladenem Regal. Dennoch sollte die Verteilung der Massen, welche die Innenkräfte in jedem Bauteil maximieren, auch bei der Prüfung der Anhebung an der Fußplatte der Stütze in ausgesteiften Regalen mit einbezogen werden.

Wenn sich das Teilsystem mit vertikaler Aussteifung nicht an den Endfeldern einer Regalzeile befindet, dann ist es bei der Prüfung der Anhebung zulässig zu berücksichtigen, dass die betroffenen Stützen des Systems mit vertikaler Aussteifung maximal 30% der Schwerkraftbelastung ausgesetzt sind. Dennoch muss die Erdbebeneinwirkung mit voll beladenem Regal bestimmt werden.

7.6.3 Spezifische Modellabbildungsanforderungen bei der Berechnung

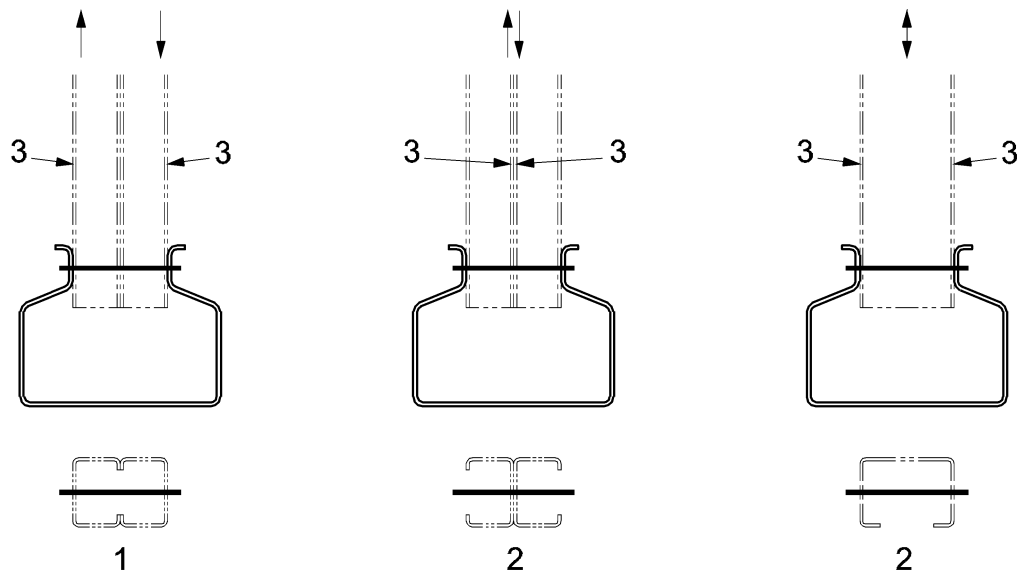
- a) Regeln für die Gesamtsystemanalyse der Regale werden in EN 15512:2009, Abschnitt 10, gegeben;
- b) Wenn nicht anders beschrieben, können Effekte der Exzentrizität der Verbindungen zwischen Diagonalen und Stützen oder von vertikalen Versteifungen nach EN 15512 berücksichtigt werden;
- c) Längs zur Gangrichtung müssen die Steifigkeit der Träger-Stütze Verbindungslaschen und der Bodenanschlüsse (Fußplatten) den Steifigkeitswerten der jeweiligen statischen Belastungsprüfungen nach EN 15512:2009, A.2.4 und A.2.7 entsprechen;

ANMERKUNG 1 Im niedrig-dissipativen Bemessungskonzept ist der Träger-Verbindungslasche Prüfungsbeiwert $\eta \leq 1$ (η wird nach EN 15512:2009, A.2.4.5.1 definiert).

- d) Quer zur Gangrichtung muss die Schubsteifigkeit des Ständerrahmens dem in EN 15512, A.2.8 errechneten Bemessungswert entsprechen. Im Fall asymmetrischer Anschlüsse sind die Auswirkungen der von den Diagonalstreben verursachten Torsion in den Ständerrahmen ausdrücklich bei der Auslegung der Stütze zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Idealerweise übertragen die Verbindungselemente zwischen Stützen und Diagonalstreben die Einwirkung symmetrisch auf die ebene Fläche des Rahmens, ohne Torsion in den Stützen hervorzurufen.

Bild 5 zeigt typische Konfigurationen von Ständerwerkaussteifungen und ihren Einfluss auf die Kraftübertragung in die Stütze.



Legende

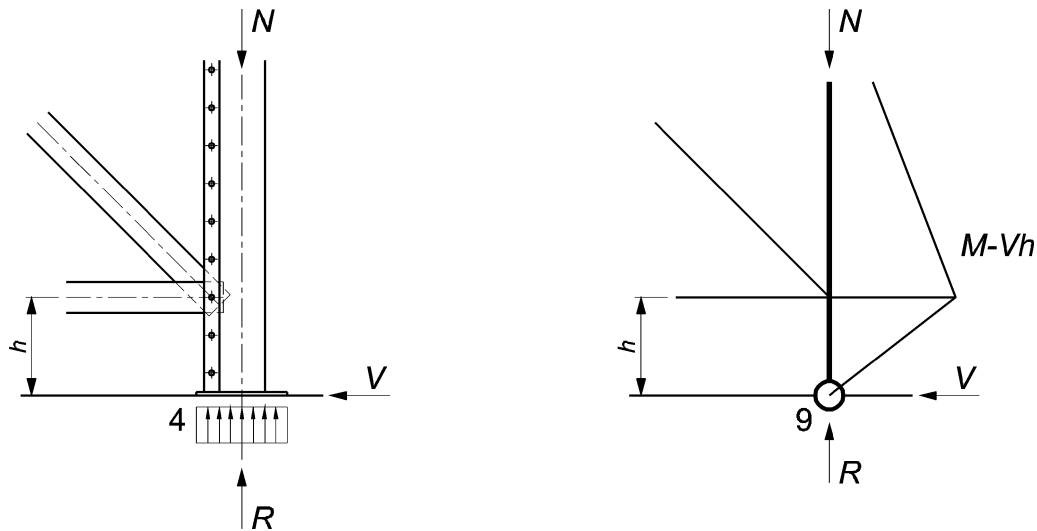
- 1 Stütze mit asymmetrischer Verbindung der Diagonalstreben
(Torsion in der Stütze, erzeugt von den Diagonalstreben)
- 2 Stütze mit symmetrischer Verbindung der Diagonalstreben
(Einwirkung symmetrisch auf die ebene Fläche des Rahmens übertragen, keine Torsion in der Stütze)
- 3 Stege

Bild 5 — Von Ständerwerkaussteifungen auf die Stützen übertragene Einwirkung

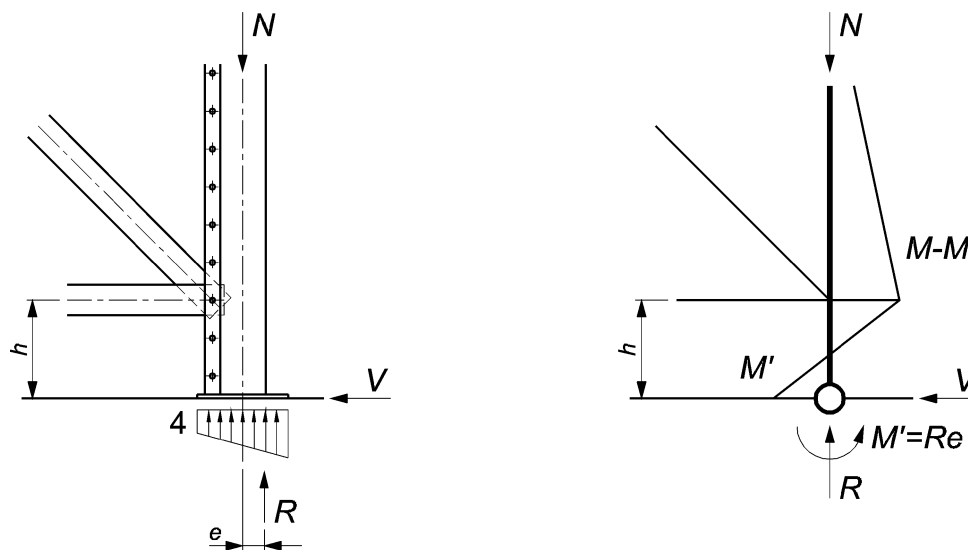
- e) Wenn für Diagonalverbände nur Diagonalen unter Zugspannung verwendet werden, sind nur die wirksam unter Zugspannung stehenden Elemente in der Modellabbildung zu berücksichtigen;
- f) Die Elemente der Modellabbildung müssen mit der Kraftlinie der Horizontalkräfte übereinstimmen;
- g) Vertikale Aussteifungen sind mit entsprechender Exzentrizität zu den Regalelementen im Modell abzubilden und müssen die Verbindungselemente zur Befestigung der vertikalen Aussteifungen am Regal einschließen;
- h) Horizontalverbände sind einschließlich der Steifigkeit ihrer Anschlüsse im Modell abzubilden.

7.6.4 Momentenausgleichsverfahren am Fuß der Stütze wegen Bodenverhaltens

Die Auswirkungen der Exzentrizität der Diagonalverbände am Fuß der Stützen ist ordnungsgemäß im Modell abzubilden und das Biegemoment bei der Gestaltung der Stütze zu berücksichtigen; es ist zulässig, die positiven Effekte des von der Längskraft am Fuß der Stütze erzeugten Biegemoments mit einzubeziehen (siehe Bild 6) unter der Voraussetzung, dass der übernommene Bauplan für die Gestaltung statisch ermittelt wurde.



a - Schema mit zentrierter vertikaler Reaktion



b - Schema mit exzentrischer vertikaler Reaktion

Legende

N	Längsbelastung in der Stütze
V	Schubgegenwirkung am Fuß der Stütze
R	Vertikaler Auflagerdruck am Fuß der Stütze, entspricht der Längsbelastung N
4	Druck auf die Betonfundamentplatte mit der resultierenden N
$M=Vh$	der Höchstwert des von V erzeugten Biegemoments
e	die Exzentrizität des vertikalen Boden-Auflagerdrucks
$M'=Re$	das durch die Exzentrizität erzeugte Biegemoment auf den Längs-Auflagerdruck
$M-M'$	der verringerte Höchstwert des Biegemoments
9	Gelenk
H	vertikale Exzentrizität der ersten Horizontalen

Bild 6 — Auswirkung des von der Längskraft erzeugten Biegemoments auf die Stütze

ANMERKUNG Bei einer Stütze mit flachem Ende wird das Biegemoment am Boden durch die Modellabbildung der Steifigkeit von Stütze-Bodenanschluss quer zur Gangrichtung bestimmt, entsprechend EI/H mit: EI ist die Biegesteifigkeit der Stütze quer zur Gangrichtung und H ist die Höhe des Rahmenseitungsabstands, einschließlich des Abstands vom Boden zur ersten Horizontalen, falls vorhanden.

8 Besondere Regeln

8.1 Bemessungskonzepte

8.1.1 Allgemeines

Erdbebensichere Regale müssen nach einem der folgenden Konzepte bemessen werden:

- a) Niedrig-dissipatives Tragwerksverhalten. Die Effekte seismischer Einwirkungen sind mittels gesamtelastischer Analyse berechnet, ohne relevantes nichtlineares Materialverhalten zu berücksichtigen;
- b) Dissipatives Tragwerksverhalten. Bereiche der Konstruktion können plastischer Verformung ausgesetzt sein (dissipative Bereiche). Diese Eigenschaft wird durch den Verhaltensbeiwert q definiert.

Der Verhaltensbeiwert q hängt vom Tragwerkstyp und der Klassifizierung des Querschnitts des Bauelements ab (siehe EN 1993-1 für Klassifikationsschema).

Tabelle 7 zeigt die Spanne der Referenzwerte für die Verhaltensbeiwerte in Bezug auf das angenommen Bemessungskonzept.

Tabelle 7 — Bemessungskonzepte und Referenzwerte für den Verhaltensbeiwert

Bemessungskonzepte	Spanne der Referenzwerte für den Verhaltensbeiwert q
Konzept A Niedrig-dissipatives Tragwerksverhalten	$q \leq 2$
Konzept B Dissipatives Tragwerksverhalten	$q > 2$

8.1.2 Material

8.1.2.1 Allgemeines

Baustahl muss EN 15512 und EN 1993 entsprechen.

8.1.2.2 Vorschriften für niedrig-dissipatives Bemessungskonzept

Im Gestaltungskonzept A müssen die Materialeigenschaften EN 15512 entsprechen, ohne Zusatzanforderungen.

8.1.2.3 Vorschriften für dissipatives Bemessungskonzept

Im Bemessungskonzept B müssen Materialeigenschaften, wie Streckgrenze und Zähigkeit derart verteilt sein, dass sich in der Konstruktion, da wo beabsichtigt, dissipative Zonen bilden; ein beginnendes Nachgeben wird in dissipativen Zonen erwartet, bevor andere Zonen im Verlauf eines Erdbebens den elastischen Bereich verlassen.

Solche Anforderungen werden als erfüllt angesehen, wenn die Streckgrenze des Stahls in dissipativen Zonen und die Auslegung des Tragwerks den Bedingungen in EN 1998-1 entsprechen.

In der Projektspezifikation muss der Konstrukteur die geforderte Bruchzähigkeit des Stahls und der Schweißstellen und die niedrigste angenommene Betriebstemperatur zusammen mit der Erdbebeneinwirkung benennen. Siehe auch EN 1998-1 sowie nationale Vorschriften.

In den Bereichen, in denen der Konstrukteur Verformbarkeit fordert, müssen die Bauteile die notwendige Festigkeit und Duktilität aufweisen.

Bei Schraubverbindungen erdbebensicherer Konstruktionen ist mindestens Schraubengüteklasse 8.8 zu verwenden.

8.1.3 Tragwerksysteme

Der Referenzwert für den Verhaltensbeiwert q von Regalen ist in 8.3 angegeben.

Für die im Aufriss nicht regelmäßigen Aufbauten, bemessen nach Konzept B (dissipativ), muss der Referenzwert von q um 20% abgemindert sein (siehe 8.1.4 für Regelmäßigkeitskriterien), der q -Wert braucht aber nicht niedriger als 1,5 zu sein.

ANMERKUNG Für die Zwecke dieser Norm werden die folgenden Tragsysteme entsprechend ihres seismischen Verhaltens betrachtet:

a) Momenten widerstehende Rahmen: horizontalen seismischen Kräften wird durch das Biegeverhalten der Bauelemente und Anschlüsse standgehalten. Dissipative Zonen befinden sich hauptsächlich in plastischen Gelenken nahe oder in den Träger-Stütze Anschlüssen, und die Energie wird durch zyklisches Biegen abgeführt;

b) Rahmen mit konzentrischen Verstrebungen, bei denen Bauelemente, die Längskräften ausgesetzt sind, den horizontalen Erdbebeneinwirkungen standhalten. Wenn Konzept B gefolgt wird, befinden sich dissipative Zonen hauptsächlich in den Zugdiagonalen.

Andere Mechanismen der Energiedissipation dürfen, wie in EN 1998-1 beschrieben, berücksichtigt werden.

Der Verhaltensbeiwert q weist die Kapazität der Energiedissipation des Tragwerks aus.

Mit dem Regal verbundene, erdbebensichere Konstruktionen (wie eigenständige Verstrebungen, Rahmen oder Scherwände) sind nach EN 1998-1 oder nationalen Vorschriften auszulegen.

8.1.4 Regelmäßigkeitskriterien

8.1.4.1 Allgemeines

Regelmäßigkeitskriterien für Regale beziehen sich auf beides, die Verteilung von Steifigkeit und Masse im Grundriss und im Aufriss. Für eine regelmäßige Konfiguration sind alle nachfolgenden Kriterien einzuhalten.

Wenn die Träger regelmäßig verteilt sind, ist es zulässig, den Regelmäßigkeitszustand der Masse im Grundriss und im Aufriss für die relevanten Bedingungen der seismischen Bemessung anzunehmen.

ANMERKUNG Bei Lagerregalen ergibt sich das seismische Gewicht in erster Linie aus den eingelagerten Ladeeinheiten und dies heißt, dass es unmöglich ist, die Regelmäßigkeit der Masse für alle denkbaren Palettenkonfigurationen unter Kontrolle zu haben.

Um die Regelmäßigkeit des Tragwerks zu berücksichtigen, müssen sowohl Tragwerkkonfiguration als auch Layout regelmäßig sein (siehe 8.1.4.4).

8.1.4.2 Quer zur Gangrichtung

a) Regelmäßigkeit im Grundriss:

Regale quer zur Gangrichtung können als regelmäßig in Steifigkeit und Masse angesehen werden, wenn Ständerrahmen und Feldbelastungen über die gesamte Regalzeile gleich sind.

Die Flächenanalyse eines isolierten Ständerrahmens unter Berücksichtigung seiner zugehörigen Masse ist in jedem Fall erlaubt.

Wenn Ständerrahmen in Querrichtung konstruktiv miteinander verbunden sind, sind sie zusammen mit ihren Verbindungen zu berechnen;

b) Regelmäßigkeit im Aufriss:

Der Ständerrahmen kann als regelmäßig angesehen werden, wenn:

- Diagonalverbände von der gleichen Art sind. Die Abweichung vom Schema ist auf ein Verhältnis von 2 zwischen Maximal- und Minimalabstandsmaß begrenzt (mit Ausnahme des ersten), und sie gehen ohne Unterbrechung vom Boden bis zur obersten Ladeebene (regelmäßige Steifigkeit), und
- das Verhältnis von Maximal- und Minimalabstand im Aufriss zwischen den Palettenträgern und zwischen Boden und erster Palettenträgerebene kleiner als 2 ist. Wenn die erste Trägerebene näher als 1,2 m zum Boden ist, darf sie von diesem Kriterium ausgeschlossen werden.

8.1.4.3 Längs in Gangrichtung

a) Regelmäßigkeit im Grundriss:

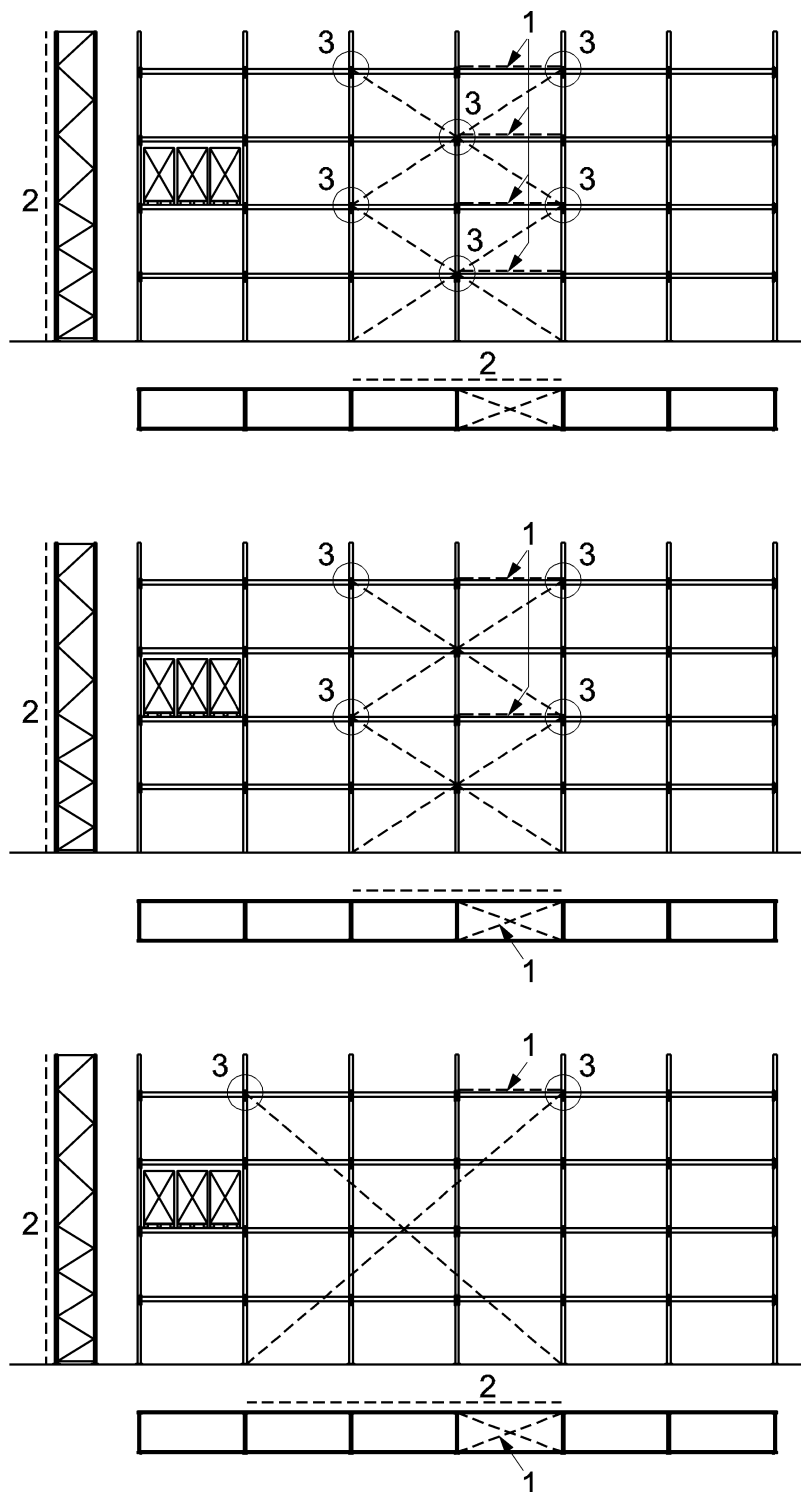
- Regale ohne Aussteifung in Ganglängsrichtung oder mit symmetrischer Aussteifung in der ersten und letzten Reihe der Ständerrahmen besitzen regelmäßige Steifigkeit im Grundriss;
- Einfachregalzeilen mit Rückenverstrebung besitzen keine regelmäßige Steifigkeit im Grundriss; die Bemessungsregeln sind in 8.3.3 vorgegeben;
- Doppelregalzeilen mit einer Rückenverstrebung müssen im Grundriss als nicht regelmäßig betrachtet werden.

ANMERKUNG Grund ist die mögliche asymmetrische Massenverteilung.

b) Regelmäßigkeit im Aufriss:

- Position der Palettenträger. Das Regal kann als regelmäßig angesehen werden, wenn sich die Palettenträger über die gesamte Länge des Gangs auf gleicher Höhe befinden, und das Verhältnis von Maximal- und Minimalhöhe zwischen den Palettenträgern und zwischen Boden und erster Palettenträgerebene kleiner als 2 ist. Wenn die erste Trägerebene weniger als 1,2 m Abstand zum Boden hat, darf sie von diesem Kriterium ausgeschlossen werden:
- Art des Vertikalverbands. Regale mit durchgehendem Vertikalverband, befestigt in gleichmäßigen Abständen vom Boden bis zur obersten Ladeebene, besitzen regelmäßige Steifigkeit im Aufriss. Regale mit teilweiser Aussteifung besitzen keine regelmäßige Steifigkeit im Aufriss.

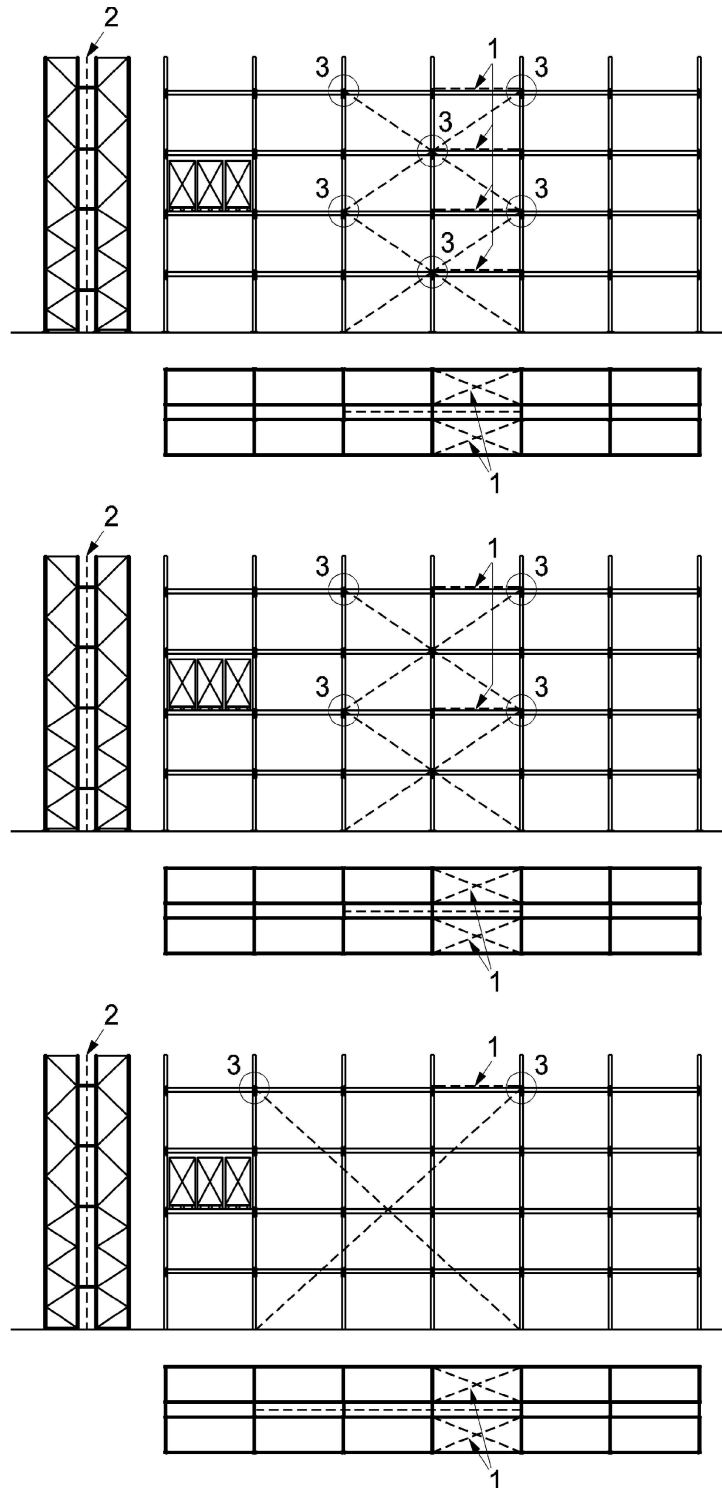
Bild 7 bis 11 zeigen Beispiele für regelmäßige und nicht regelmäßige Regale in Grund- und Aufriss.



Legende

- 1 Horizontalverbände
- 2 Vertikalverband
- 3 mit dem Vertikalverband verbundene Ebenen

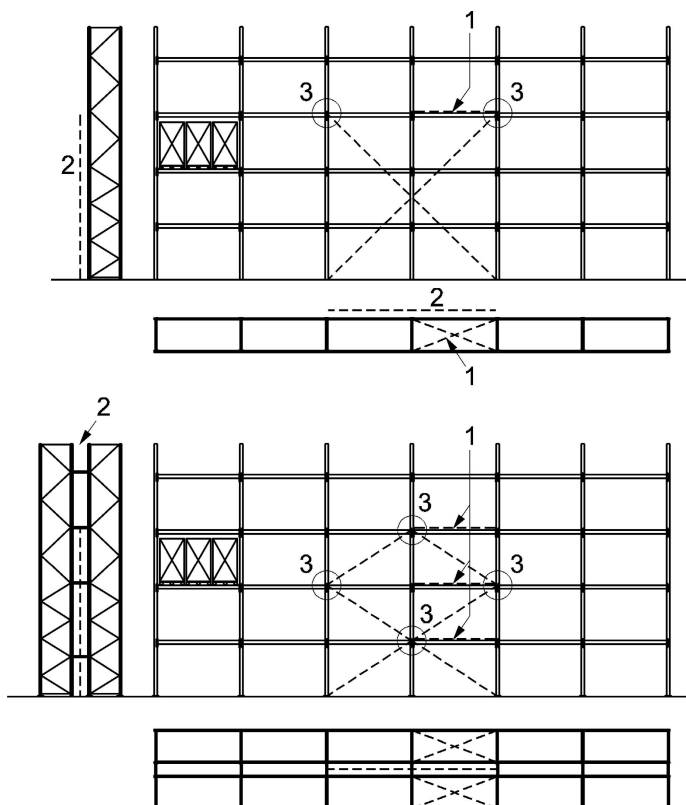
Bild 7 — Regal mit im Grundriss und im Aufriss regelmäßiger Nichtsteifigkeit in Ganglängsrichtung



Legende

- 1 Horizontalverbände
- 2 Vertikalverband
- 3 mit dem Vertikalverband verbundene Ebenen

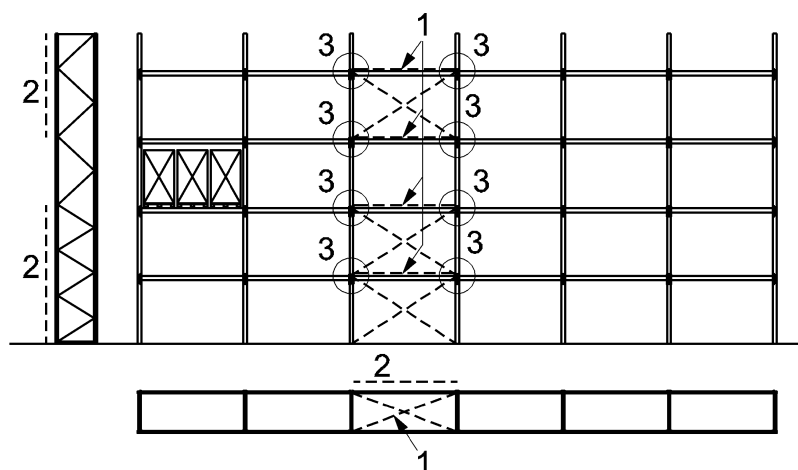
Bild 8 — Regale mit im Grundriss unregelmäßiger und im Aufriss regelmäßiger Masse in Ganglängsrichtung



Legende

- 1 Horizontalverbände
- 2 Vertikalverband
- 3 mit dem Vertikalverband verbundene Ebenen

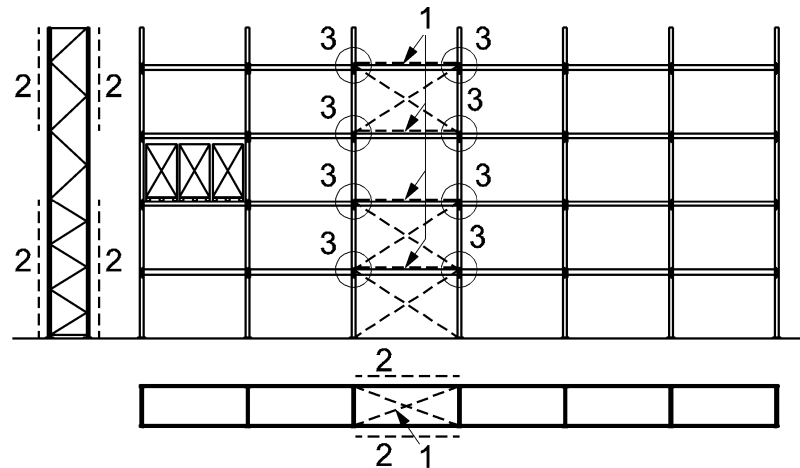
Bild 9 — Regal mit teilweiser Aufsteifung, nicht regelmäßig im Aufriss in Ganglängsrichtung



Legende

- 1 Horizontalverbände
- 2 Vertikalverbände
- 3 mit den Vertikalverbänden verbundene Ebenen

Bild 10 — Ausgesteiftes Regal mit unregelmäßiger Steifigkeit im Grundriss und nicht regelmäßig im Aufriss in Ganglängsrichtung (unterbrochener Vertikalverband)



Legende

- 1 Horizontalverbände
- 2 Vertikalverbände
- 3 mit den Vertikalverbänden verbundene Ebenen

Bild 11 — Ausgesteiftes Regal, regelmäßig im Grundriss und nicht regelmäßig im Aufriss in Ganglängsrichtung (unterbrochener Vertikalverband)

8.1.4.4 Layout Regelmäßigkeit

Regale sind normalerweise als lange Regalzeilen ausgeführt. Parallele Regalzeilen, die statisch voneinander unabhängig sind oder die in Längsrichtung und am oberen Ende der Ständerrahmen durchgehend miteinander verbunden sind, können als regelmäßig angesehen werden. Alle anderen sind nicht regelmäßig.

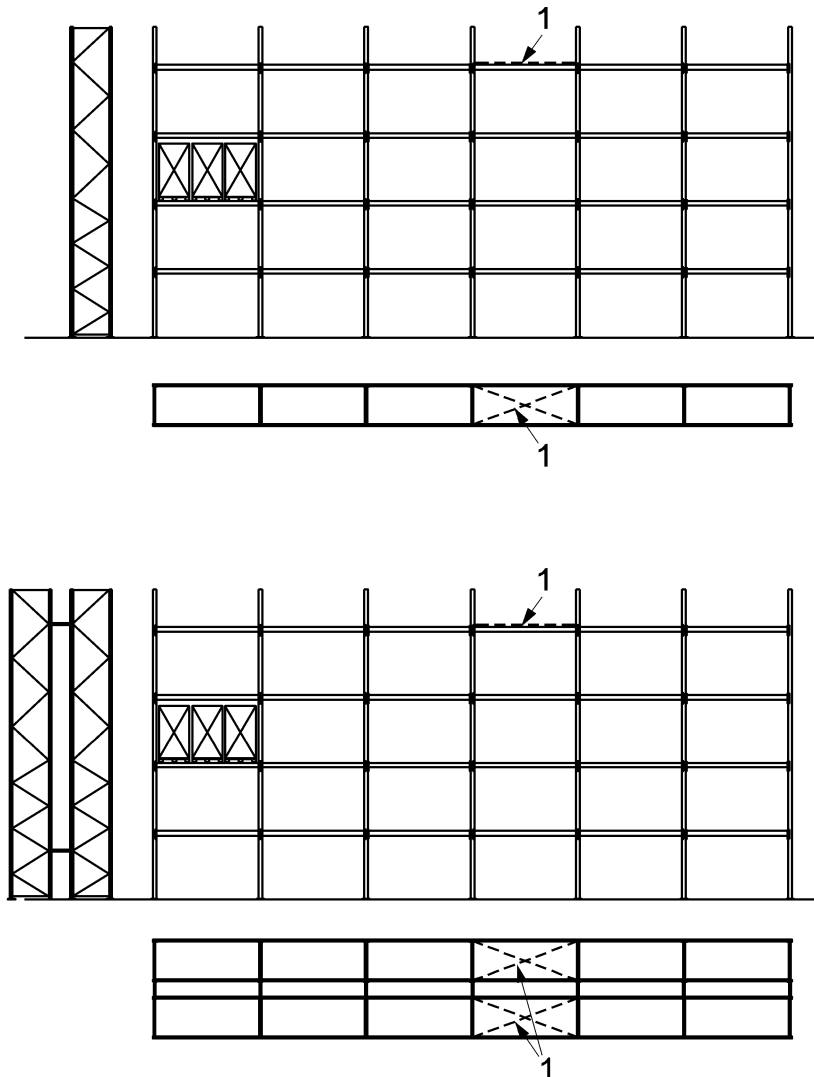
8.1.5 Nicht ausgesteifte Regale

Wenn der Ladeinheit-Träger Reibungsbeiwert μ_S kleiner als 0,1 ist, müssen nicht ausgesteifte Regale in seismischer Bemessung mit Horizontalverbänden ausgestattet sein (siehe auch Bild 12).

Bei Regalen mit fünf oder weniger Trägerebenen genügt es, mindestens alle 10 Felder einen Horizontalverband auf der obersten Trägerebene anzubringen.

Bei Regalen mit mehr als fünf Trägerebenen sind zusätzliche Horizontalverbände erforderlich, jeweils ein Verband je 5 Ebenen und mindestens alle 10 Felder. Horizontalverbände müssen in Regalhöhe gleichmäßig verteilt sein, mit einem Verband in der obersten Ebene.

Horizontalverbände sind nominal zu bemessen, wie in 8.3.3.3 vorgegeben.



Legende

- 1 Horizontalverband

Bild 12 — Regal ohne Aussteifung mit Horizontalverbänden

8.1.6 Vorschriften für die Bemessung niedrig-dissipativer Konstruktionen

- Für Bauelemente, die Teil der erdbebenresistenten Konstruktion sind, gelten die Materialvorschriften in 8.1.2.2;
- Die Festigkeit von Bauelementen und Anschlüssen ist nach den Regeln für elastischen oder plastischen Widerstand nach EN 15512 zu bewerten;
- Schrauben müssen mindestens fest angezogen sein und in Muttern muss eine Art Feststellvorrichtung eingebaut sein;

ANMERKUNG 1 Eine Zahnbundmutter ist zum Beispiel eine geeignete Vorrichtung.

- soweit nicht anders vorgegeben muss der $q > 1,5$ Verhaltensbeiwert nur angesetzt werden, wenn Bauelemente, die zur Erdbeben-Widerstandsfähigkeit der Konstruktion unter Druck- oder Biegebelastung beitragen, eine Querschnittsklassifizierung 1, 2 oder 3 haben;

ANMERKUNG 2 $q > 1,5$ darf verwendet werden, wenn der Bruttoquerschnitt der gelochten Stützen die Anforderungen von EN 1993-1-1 (maximales Breite-Dicke Verhältnis) für die Druckbeanspruchungsklasse 3 erfüllt.

- e) Aussteifungssysteme müssen nach EN 1998-1 ausgeführt sein. Für Regale ist es zulässig, K-, D-, Z-Verbände und X-Verbände ohne horizontale Bauelemente einzusetzen, bei denen der Widerstand gegen horizontale Einwirkungen auf Druck belasteten Diagonalen geleistet wird. Der Verhaltensbeiwert von $q = 1,5$ darf angenommen werden, vorausgesetzt, der bemessene Effekt der Erdbebeneinwirkung auf alle Aussteifungsbauteile und deren Verbindungen ist um den Faktor 1,5 erhöht. Höhere q -Werte dürfen eingesetzt werden, falls durch Test nachgewiesen;
- f) für scherfeste Schraubverbindungen muss die Scherfestigkeit der Schrauben $F_{v,Rd}$ 1,20-mal höher sein als die Tragfähigkeit $F_{b,Rd}$ der verbundenen Profile:

$$F_{v,Rd} / F_{b,Rd} > 1,20 \quad (12)$$

Diese Anforderung braucht nicht angewandt werden, wenn die Festigkeit des Anschlusses q -mal größer ist als die berechnete Schraubenscherung durch die Erdbebeneinwirkung.

8.1.7 Auslegungsregeln für dissipative Konstruktionen

Dissipative Konstruktionen müssen die Auslegungsregeln für Stahlkonstruktionen nach EN 1998-1 erfüllen.

Ergänzende Ausführungsregeln werden in Anhang F (normativ) aufgeführt. Prüfverfahren für Träger-Stützen Verbindungen und Bodenverbindungen werden in Anhang G (normativ) angegeben.

8.1.8 Verankerungsbedingungen

Nachträglich installierte Ankerschrauben müssen nach ETAG-001, Anhang C ausgelegt sein.

In Gebieten mit niedriger Erdbebenhäufigkeit müssen nachträglich installierte, nach dem Konzept niedriger Duktilität ausgelegter Ankerschrauben für Regale, nach ETAG für die Anwendung wie in Tabelle 8 aufgeführt zertifiziert sein.

In Gebieten mit sehr niedriger Erdbebenhäufigkeit muss der Konstrukteur der Fundamentplatte den gerissenen oder ungerissenen Zustand bei nachträglich in den Beton installierten Ankerschrauben bestimmen.

Die Leistungskategorie für nachträglich installierte, nach niedrig dissipativem Konzept bemessene Ankerschrauben für Regale muss ETAG-001, Anhang E entsprechen:

Tabelle 8 — Mindestleistungskategorie nach ETAG 001 für nachträglich installierte Ankerschrauben für Regale, bemessen nach dem niedrig dissipativem Konzept

Erdbebenhäufigkeit		Bedeutungskategorie			
	$a_g \cdot S$	I	II	III	IV
Sehr niedrig ^a	$a_g \cdot S \leq 0,05 g$	ETAG 001 Teil 1 bis Teil 5			
Niedrig ^a	$0,05 g < a_g \cdot S \leq 0,1 g$	ETAG 001 Teil 1 bis Teil 5 für gerissenen Beton		C2 ^b	C2 ^b
	$a_g \cdot S > 0,1 g$	C1 ^b	C1 ^b	C2 ^b	C2 ^b
^a Erdbebenhäufigkeit nach EN1998-1:2005, 3.2.1 ^b Leistungskategorie nach ETAG 001, Anhang E					

Die Leistungskategorie für nachträglich installierte, nach dem Konzept niedriger Duktilität bemessene Ankerschrauben für Regale muss ETAG-001, Anhang E entsprechen.

8.2 Erdbebenresistente Konstruktionen

Wenn ein Regal im Grundriss regelmäßig ist, darf angenommen werden, dass die den Querkräften widerstehenden Systeme in separaten Analysen quer und längs zum Gang betrachtet werden.

Falls eine andere Konstruktion als das Regal dafür ausgerüstet ist, Erdbebeneinwirkungen zu widerstehen, sollte es nach den Kriterien der EN 1998-1 oder der nationalen Vorschriften bemessen sein.

ANMERKUNG Die Systeme der Regalkonstruktion, die seismischen Einwirkungen widerstehen, sind:

- a) Ständerrahmen, in der Richtung quer zum Gang;
- b) in der Richtung längs zum Gang eines der folgenden Systeme;
 - 1) nicht ausgesteifte Rahmen: die Stabilität wird von den Träger-Stütze Verbindungen sichergestellt, ohne Vertikalverbände;
 - 2) eine Einzelreihe von Vertikalverbänden: das Aussteifungssystem besteht aus folgenden Elementen:
 - einer hinter dem rückseitigen Rahmen angebrachte Rückenverstrebung, die eine unabhängige mit dem Regal verbundene Konstruktion sein kann, oder direkt mit dem Regal verbundene Verstrebungselemente
 - Horizontalverbänden, welche die vorne nicht ausgesteifte Reihe der Stützen mit den hinten ausgesteiften Stützen verbinden.

Der Vertikalverband widersteht horizontalen, seismischen Einwirkungen.

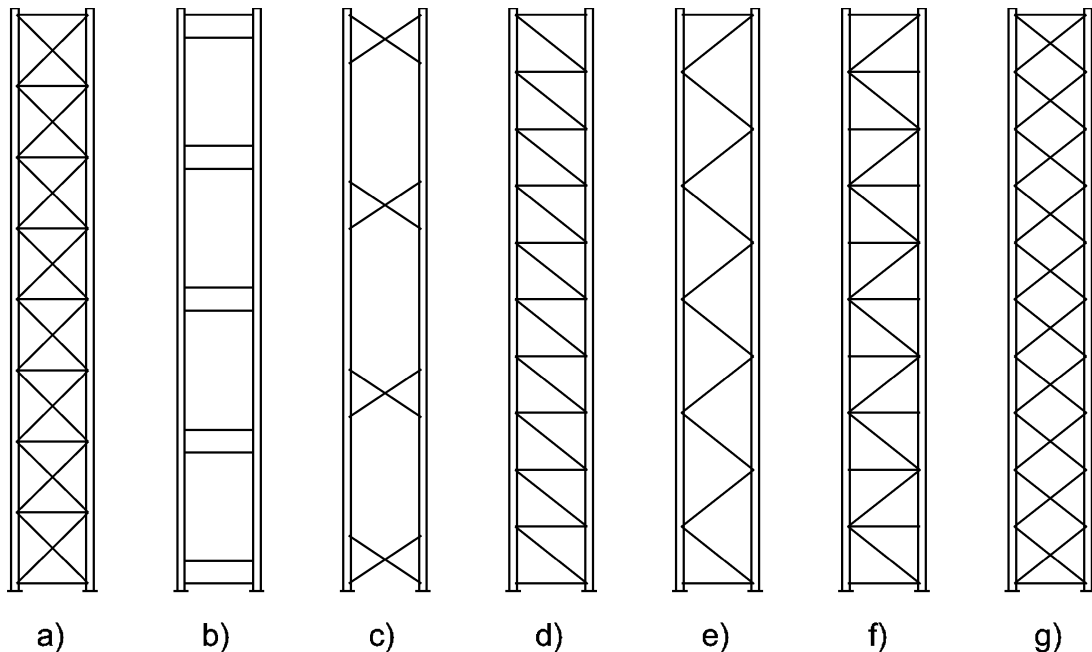
Horizontalverbände und mit den Horizontalverbänden verbundene Ständerrahmen widerstehen dem induzierten Torsionseffekt aufgrund der Exzentrizität der Erdbebeneinwirkung in Bezug auf den Vertikalverband;

- 3) symmetrischer Vertikalverband (jede Stützenreihe ist ausgesteift): Erdbebeneinwirkungen widerstehende Vertikalverbände gibt es in einer begrenzten Anzahl von Feldern in jeder Stützenreihe. Horizontalverbände, die vordere und hintere Stützen verbinden, sind auch vorgesehen nach den Bemessungsregeln für nicht ausgesteifte Regale (siehe 8.1.5).

8.3 Konstruktionstypen und Verhaltensbeiwert

8.3.1 Ständerrahmen

Typische Verstrebanordnungen sind in Bild 13 dargestellt. In Tabelle 9 werden die Erdbebenbemessungsverfahren beschrieben.



Legende

- (a) Rahmen mit X-Verband und horizontalen Elementen
- (b) Mit Bindeblech versehener Rahmen
- (c) Rahmen mit teilweiser Verstrebung
- (d) Rahmen mit Z-Verband
- (e) Rahmen mit D-Verband
- (f) Rahmen mit K-Verband
- (g) Rahmen mit X-Verband

Bild 13 — Anordnungen der Rahmenverstrebung

Nach niedrig-dissipativem Konzept bemessene Rahmen in dem Muster Typ a) mit Diagonalen, die unter Zug- und Druckbelastung stehen (Tabelle 8, (a.3)), müssen einen horizontalen Träger besitzen, der für 50% der horizontalen Schubkraft im Rahmensystem ausgelegt ist.

Tabelle 9 — Erdbebenbemessungsverfahren für Ständerrahmen

Rahmen- typ	Konstruktionstyp	Bemessungs- konzept	Referenz- Verhaltensbeiwert	Sicherheitsbeiwert für Aussteifungselemente und Anschlüsse
a	(a.1) Diagonalverbände mit nur unter Zugbelastung stehenden Diagonalen	Dissipativ	nach EN 1998-1	nach EN 1998-1
	(a.2) Diagonalverband mit nur unter Zugbelastung stehenden Diagonalen	Niedrig- dissipativ	2,0	1,0
	(a.3) Diagonalverband mit unter Zug- und Druckbelastung stehenden Diagonalen	Niedrig- dissipativ	1,5	1,0 oder 1,5 ^a
b	dissipativer, mit Bindeblechen versehener Rahmen kann unter der Voraussetzung verwendet werden, dass die Anforderungen für Momenten widerstehende Rahmen nach EN 1998-1 eingehalten werden; andernfalls kann $q = 1,5$ mit Sicherheitsfaktor 1,5 auf Bindeblech-Stütze Anschlüsse benutzt werden			
c d-e-f-g	Niedrig-dissipativ		1,0 1,5 ^b	1,0 1,5 ^b

^aDie Diagonalen des Schemas a.3 sind für den Sicherheitsfaktor 1,5 ausgelegt, wenn ihr Versagen durch lokale Instabilitätsmechanismen des unter Druckbelastung stehenden Bauteils ausgelöst wird.

^bEin Sicherheitsfaktor von 1,5 wird auf alle Aussteifungselemente und ihre Anschlüsse angewandt (siehe 8.1.6 e), um das Risiko von Versagensmechanismen aufgrund von Sprödigkeit zu verringern.

8.3.2 Momenten widerstehende Rahmen

8.3.2.1 Niedrig-dissipatives Konzept

Ein Wert von mindestens $q=1,5$ kann für die Gesamtanalyse angenommen werden, wenn die Bauteile der Bodenverankerung einschließlich der senkrechten Verankerung mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 1,5 für das mit Hilfe der Analyse berechnete Biegemoment konstruiert wurden. Es ist nicht erforderlich, dass dieser zusätzliche Sicherheitsfaktor für die Konstruktion der Ankerbolzen angewendet wird.

Die Festigkeit der Bodenplatte und ihrer senkrechten Verankerung ist entweder theoretisch oder mit Hilfe von Prüfungen zu berechnen.

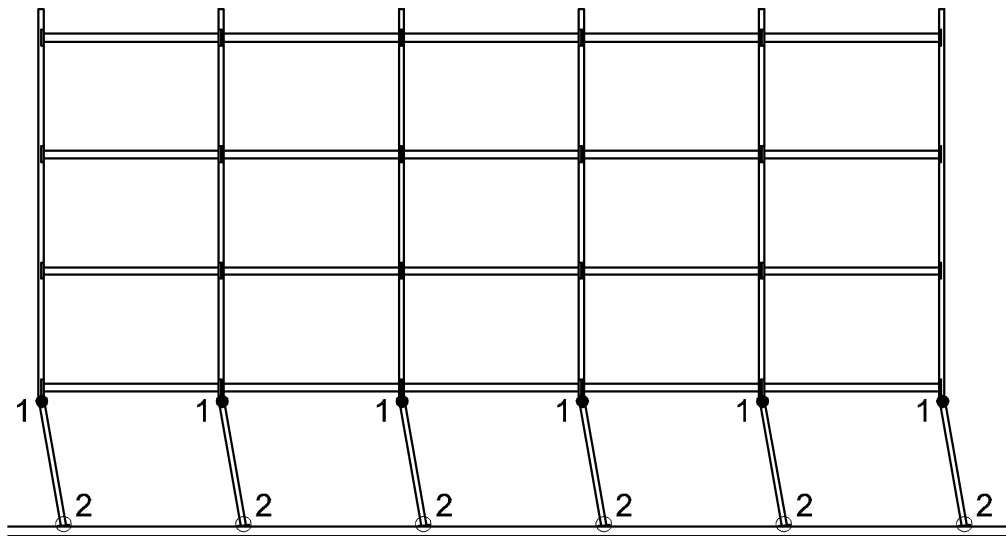
Prüfungen sind nach EN 15512, A.2.7 für Bodenverankerungen mit entsprechender Befestigung, einschließlich Fällen von Druck- und Zugkräften und fehlenden Axialkräften durchzuführen, um die Biegefestigkeit und die Steifigkeit zu bewerten.

Prüfungen der Bodenverankerung unter Druckkräften können auch ohne angebrachte Bodenbefestigungen durchgeführt werden. Um die Auswirkungen auf die Bodenbefestigungen mit einbeziehen, ist in diesem Fall eine zusätzliche Prüfung mit angebrachten Bodenbefestigungen durchzuführen, bei der ein reines Biegemoment (ohne Axialkräfte) aufzubringen ist. Die Biegefestigkeit, die aus dieser Prüfung hervorgeht, kann zur Biegefestigkeit aus den Prüfungen ohne Bodenbefestigungen hinzugefügt werden.

Es ist erlaubt, die abknickbare Bodenverankerung zu betrachten, wenn der Versagensmechanismus des Rahmens nicht vom Typ Soft-Storey ist.

ANMERKUNG Ein Soft-Storey Mechanismus ist ein Versagensmechanismus eines Geschosses, normalerweise des Erdgeschosses, mit eigens entwickelten Kunststoffgelenken an den Stützenenden zusammen mit übermäßigem Geschossschräglauf an diesem Geschoss.

Das folgende Bild stellt einen Soft-Storey Versagensmechanismus dar, der typisch für unverspannte Regale ist.



Legende

- 1 senkrecht Kunststoffgelenk unter der ersten Ebene
- 2 Kunststoffgelenk in den Bodenverankerungen

Bild 14 — Soft-Storey Versagensmechanismus von unverspannten Rahmen

Angeschraubte Bodenplatten für senkrechte Verankerungen mit Befestigungsschrauben in Langlöchern in Krafrichtung oder übergroßen Löchern sind nach EN 1993-1-8 und EN 1090-2 rutschfest auszuführen oder müssen so konstruiert sein, dass Drehungen ohne Berücksichtigung von Reibungskräften verhindert werden. Anderenfalls sind diese als abknickbare Bodenverankerung zu betrachten.

Ein Mindestwert von $q=1,5$ kann angenommen werden.

Der Verhaltensbeiwert $q=2$ kann eingesetzt werden, wenn die oben genannten Bedingungen erfüllt sind und die folgenden Bedingungen a) und entweder b) oder c) oder d) eingehalten werden:

- a) die Bedingung von 8.1.6 d) ist erfüllt;
- b) mindestens eine Schraube ist vorhanden, um den Trägerendanschluss an der Stütze zu befestigen. Unterlegscheiben sind unter Mutter und Schraubenkopf einzulegen und die Mutter muss mindestens fest angezogen sein. Die festgelegten Eigenschaften der Anschlusslaschen ohne Schrauben können für die Auslegung von Rahmen und Trägerendanschluss berücksichtigt werden, oder
- c) falls nach Entfernen von oberem und unterem Haken/Bolzen des Trägerendanschlusses bewiesen werden kann, dass die übrigen Widerstandshaken/-bolzen in der Lage sind, die eingesetzten vertikalen Ladeeinheiten zu tragen. Der Verriegelungsbolzen sollte die Anforderung nach EN 15512, 6.4.2.a) erfüllen, oder

- d) der Trägerendanschluss nachweislich eine Rotationskapazität in die positive und die umgekehrte Richtung besitzt, die gleich oder dreimal größer ist als die Rotation gemessen am Wert des Biegemoments entsprechend der charakteristischen Biegefestigkeit.

Ein Momenten-Ausgleichsverfahren in Trägern nach EN 15512:2009 ist bei der Erdbebenbemessung von Momenten widerstehenden Rahmen im niedrig-dissipativen Konzept nicht erlaubt.

8.3.2.2 Dissipatives Konzept

Das dissipative Verhalten $q > 2$ darf unterstellt werden, wenn die Anforderungen der EN 1998-1 für Momenten widerstehende Rahmen erfüllt sind.

8.3.3 Regale mit Vertikalverbänden in Ganglängsrichtung

Der in dieser Norm betrachtete Vertikalverband ist der Typ „konzentrischer Diagonalverband“. Bild 15 stellt typische Elemente des Verstrebungssystems dar.

Andere Typen von Vertikalverbänden können benutzt werden und diese müssen nach den Verfahren der EN 1998-1 berechnet werden.

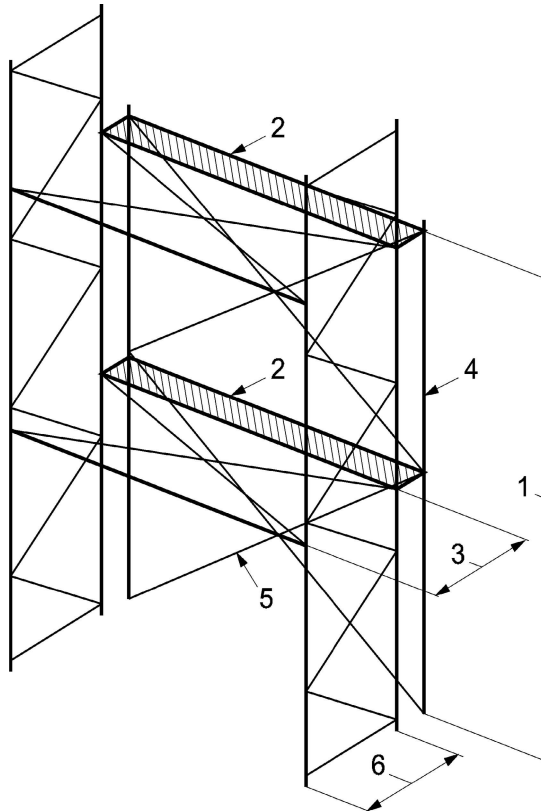
- a) Die Auslegung der Vertikalverbände und der erdbebenresistenten Elemente in Ganglängsrichtung ist mittels der Bemessungsregeln und dem dazugehörigen, nachstehend festgelegten Verhaltensbeiwert für Vertikalverbände durchzuführen, unter Einbeziehung der Masseverteilung auf dem Regal, wie in 7.6.2 b) angegeben;
- b) die durch Horizontalverbände verbundenen Ständerrahmen sind auf der Basis der vorgegebenen Bemessungsregeln für Ständerrahmen quer zur Gangrichtung für Torsion auszulegen. Zumindest folgende Lastverteilung zur Maximierung der Exzentrizität im Grundriss ist zu berücksichtigen:

- Einfachregalblock, voll beladen;
- Doppelregalblock, nur auf einer Seite voll beladen;

ANMERKUNG 1 Wenn ein automatisches Beschickungssystem die jeweils ausgelegte Beschickungskonfiguration bei Doppelregalen einhalten kann, bei denen eine Seite voll und die andere nur teilweise beladen wird, kann diese Konfiguration als der bedrohlichste Fall von Ungleichgewicht zum Zweck der Auslegung des Regals berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Der Verhaltensbeiwert der Konstruktion wird definiert durch den betrachteten Schwingungsmodus und die Tragwerksarten.

- c) die Exzentrizität der Anschlüsse der Verbände ist nach EN 15512:2009, 8.6 zu berücksichtigen. Die Anschlusselemente müssen in der Lage sein, die berechneten Kräfte abzuleiten. Wenn dies nicht erreicht wird, darf die Rückenverstrebung nicht voll wirksam sein und zusätzliche Spannungen dürfen in den Stützen erzeugt werden;
- d) bei Anwendung des dissipativen Bemessungskonzepts müssen die Anschlusselemente vom Regal zu den Verbänden nach den in EN 1998-1 festgelegten Anforderungen für dissipative Anschlüsse bemessen werden.



Legende

- 1 vertikale Aussteifung
- 2 Verbindungselement, Regal-Rückenverstrebung
- 3 Horizontalverband
- 4 Stütze der Rückenverstrebung
- 5 Rückenverstrebung
- 6 Rahmenverstrebung

Bild 15 — Elemente des Verstrebungssystems

8.3.3.1 Niedrig-dissipatives Bemessungskonzept

Die folgenden Verhaltensbeiwerte und Auslegungsregeln für Regale mit X-Verbänden sind anzuwenden.

Tabelle 10 — Erdbebenbemessungsverfahren für Rückenverstrebungen

Typologie	Referenz-Verhaltensbeiwert q	Ausführungsregeln
Zugdiagonale mit horizontalem Druckelement	2	Dimensionslose Schlankheit der Diagonale $\bar{\lambda} > 1,3$
Zug- und Druckdiagonale mit horizontalem Druckelement	1,5	-
Zug- und Druckdiagonale ohne horizontales Druckelement	1,5	Abschnitt 8.1.6 e)
a) Der Abstand von Schraube zu Kante muss mindestens das 2,5-fache des Durchmessers der Schrauben betragen, wenn der Versagensmodus die Lagerung der Schraube ist.		

$\bar{\lambda}$ ist die dimensionslose Schlankheit (siehe EN 15512 und EN 1993-1)

Wenn Flachstahl, Rundstäbe oder Kabel oder andere Bauelemente mit $\bar{\lambda} > 2$ für Diagonalverbände benutzt werden, muss die Konstruktion sicherstellen, dass diese Elemente bei Schwerkraftbelastung immer unter Zugspannung stehen; um diese Bedingung zu erfüllen, müssen Rückenverstreben mit Diagonalen aus Flachmaterial, Rundstäben oder Kabeln Pfosten besitzen, die keine Vertikallasten tragen und somit einen eigenständigen Verstrebungsturm bilden. Das System ist regelmäßig zu überprüfen.

ANMERKUNG 1 Diese Anforderung wird mögliche Stoßbelastungen durch lockeres Rückenverstrebungssystem reduzieren.

ANMERKUNG 2 Palettenträger können als Kompressionselemente angesehen werden, vorausgesetzt, dass alle Exzentrizitäten (Außermittigkeiten) mit allen Bauteilen, die das Regal mit dem Vertikalverband verbinden, in der Berechnung definiert sind.

Vorbehaltlich eines anderen Nachweises muss der im Falle einer Verwindung zu benutzende Verhaltensbeiwert bei Erdbebeneinwirkung in Ganglängsrichtung der kleinste aller betroffenen, erdbebenresistenten Subsysteme sein, einschließlich der Torsionseffekte.

8.3.3.2 Dissipatives Bemessungskonzept

Vertikalverbände, ausgelegt nach Bemessungskonzept B, müssen EN 1998-1 entsprechen.

8.3.3.3 Horizontalverbände

Horizontalverbände nach niedrig-dissipativem Konzept sind für die in der Analyse berechneten Einwirkungen zu bemessen.

Horizontalverbände nach dissipativem Konzept sind nach EN 1998-1 zu bemessen.

Horizontalverbände in Regalen ohne Aussteifung sind jeweils für eine axiale Festigkeit N_{Rd} größer oder gleich 5 kN zu bemessen.

9 Erdbebenberechnung und -auslegung

9.1 Einwirkungen

9.1.1 Einwirkungen, die gleichzeitig mit dem Erdbeben zu berücksichtigen sind

Folgende in EN 15512 definierten Einwirkungen sind gleichzeitig mit der seismischen Einwirkung zu berücksichtigen:

- a) Eigenlasten (ständige Einwirkung):
 - 1) Gewichte der Materialien und der Konstruktionen;
 - 2) Gewicht der festen Ausrüstungen;
- b) Ladeeinheiten (veränderliche Einwirkung);
- c) Schneelasten (veränderliche Einwirkung);
- d) Bühnen- und Laufgangbelastungen (veränderliche Einwirkung). Die charakteristische statische Vertikallast ist zu betrachten; ein dynamischer Verstärkungsfaktor sollte nicht berücksichtigt werden.

- e) Wenn mechanische Fördermittel vom Regal getragen werden, ist dies bei der Auslegung zu berücksichtigen. Der Lieferant der mechanischen Fördermittel muss dem Regallieferanten die notwendigen Daten zur Verfügung stellen.

ANMERKUNG Wenn Gabelstapler am Übergabepplatz (P&D Station) geparkt sind, befindet sich der Lastschlitten in der tiefsten Stellung und ist unbeladen. Es ist unwahrscheinlich, dass dies einen kritischen Gestaltungsfall darstellt, da der Schwerpunkt nahe am Boden liegt.

9.1.2 Einwirkungen, die nicht gleichzeitig mit dem Erdbeben zu berücksichtigen sind

Die folgenden in EN 15512 definierten Belastungen brauchen nicht gleichzeitig mit der seismischen Einwirkung berücksichtigt werden:

- a) Wind;
- b) vertikale Beschickungslasten;
- c) horizontale Beschickungslasten;
- d) Betriebsbelastungen durch vom Regal geführte Geräte;
- e) Druck auf Handläufe;
- f) thermische Belastungen;
- g) Einwirkungen durch Gesamtimperfectionen;
- h) Stoßlasten und sonstige außergewöhnliche Lasten;
- i) Belastungen durch Wartung.

9.2 Sicherheitsprüfungen

9.2.1 Grenzzustände

9.2.1.1 Kombinationsregeln

Die Gestaltungseinwirkungen sind mit folgender Formel zusammenzufassen:

$$\Sigma G_k \text{ „+“ } \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i} \text{ „+“ } A_{E,d} \quad (13)$$

dabei ist:

„+“ bedeutet „zu kombinieren mit“

Σ bedeutet „Zusammenwirkung von“

G_k = charakteristischer Wert ständiger Lasten (Totlasten)

$Q_{k,i}$ = charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung i

$A_{E,d}$ = Gestaltungswert der Erdbebeneinwirkung für die Referenz-Wiederkehrperiode

$\psi_{2,i}$ = Kombinationswert für veränderliche Einwirkungen

Die Werte von Kombinationsfaktoren sind nach den nationalen Vorschriften anzusetzen, jedoch nicht kleiner als:

- $\psi_{2,1} = 1,0$ für Ladeeinheiten;
- $\psi_{2,2} = 0,8$ für Bodenbelastungen in Lagerbereichen;
- $\psi_{2,3} = 0,3$ für Böden in Betriebsbereichen, die nicht für Lagerung bzw. Laufgänge vorgesehen sind;
- $\psi_{2,4} = 0$ für Belastungen der Laufgänge, die ausschließlich Wartungszugänge sind.

Kombinationsfaktoren für Schneelasten müssen EN 1990 entsprechen.

9.2.1.2 Widerstandsbedingungen

Die folgende Bedingung muss für alle Bauteile einschließlich Verbindungen eingehalten werden:

$$E_d \leq R_d$$

dabei ist

E_d = Bemessungseffekt infolge der bemessenen Erdbebensituation, erreicht durch Kombination der Einwirkungen nach 9.2.1.1

$R_d = R\{f_k/\gamma_M\}$ = entsprechender Bemessungswiderstand des Bauteils

f_k = charakteristische Materialfestigkeit

γ_M = Teilkfaktor des Materials

9.2.1.3 Material-Teilkfaktor γ_M

Die Material-Teilkfaktoren für äußerste Grenzzustände gelten nach EN 15512.

9.2.1.4 Duktilitätsbedingung

Im dissipativen Bemessungskonzept müssen die Bauteile und die gesamte Konstruktion den Duktilitätsanforderungen der Normenreihe EN 1998 entsprechen.

Im niedrig-dissipativen Bemessungskonzept sind keine spezifischen Duktilitätsanforderungen notwendig.

9.2.1.5 Gleichgewichtsbedingung

Das Regal muss nach den aus der Kombinationsregel in 9.2.1.1 abgeleiteten Einwirkungen unverändert standfest bleiben, mit eingeschlossen das Umkippen und Rutschen.

9.2.1.6 Seismische Abstandsmaße

Die Horizontalverschiebung ist nach 7.4.6 zu berechnen.

Die Auslegung der Regale muss genügend Abstand vorsehen, um Kollisionen zu vermeiden:

- zwischen nicht verbundenen Regalen,
- zwischen Regalen und angrenzenden Gebäudekonstruktionen. Dies ist unter Einbeziehung der Gebäudeverschiebung zu bewerten. Der Eigentümer des Gebäudes muss die Gebäudeverschiebungen für Analysezwecke zur Verfügung stellen.

Der Abstand zwischen Konstruktionen ist nach EN 1998-1:2004, 4.4.2.7 (2)(b) zu berechnen.