

DIN EN 15512



ICS 53.080

**Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl –
Verstellbare Palettenregale –
Grundlagen der statischen Bemessung;
Deutsche Fassung EN 15512:2009**

Steel static storage systems –
Adjustable pallet racking systems –
Principles for structural design;
German version EN 15512:2009

Systèmes de stockage statiques en acier –
Systèmes de rayonnages à palettes réglables –
Principes applicables au calcul des structures;
Version allemande EN 15512:2009

Gesamtumfang 137 Seiten

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

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab 2010-09-01.

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält sicherheitstechnische Festlegungen im Sinne des Gesetzes über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz — GPSG).

Es beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ (Sekretariat: UNI, Italien) des Europäischen Komitees für Normung (CEN) ausgearbeiteten Norm EN 15512:2009.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung dieses Dokuments sind vom Arbeitsausschuss NA 020-00-17 AA „Statische Regale aus Stahl“ im Normenausschuss Eisen-, Blech- und Metallwaren (NAEBM) im DIN wahrgenommen worden, der auch die Deutsche Fassung erstellt hat.

Der Anhang I, A-Abweichungen, enthält in I.2. die deutschen Abweichungen. Diese gelten anstelle der Festlegungen der Europäischen Norm so lange, bis sie zurückgezogen werden.

Deutsche Fassung

Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl —
Verstellbare Palettenregale —
Grundlagen der statischen Bemessung

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

Systèmes de stockage statiques en acier —
Systèmes de rayonnages à palettes réglables —
Principes applicables au calcul des structures

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 17. Januar 2009 angenommen.

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

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

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



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

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

Inhalt

Seite

Vorwort	6
Einleitung.....	7
0.1 Regale	7
0.2 Bedarf an EN-Normen für Regale und Fachbodenregale in Ergänzung zu den Eurocodes	7
0.3 Zusammenarbeit	8
0.4 Regale und Arbeitsmittelvorschriften	8
0.5 Weitere, speziell für EN 15512 anzuwendende Informationen.....	8
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen.....	10
3 Begriffe	11
4 Symbole	13
5 Auslegungsgrundlagen.....	15
5.1 Anforderungen	15
5.1.1 Grundanforderungen.....	15
5.1.2 Regalsysteme ohne Aussteifungsverbände	16
5.1.3 Regalsysteme mit Aussteifungsverbänden	17
5.1.4 Bemessungslebensdauer	19
5.1.5 Bodentoleranzen und -verformungen	19
5.2 Auslegungsmethoden	19
5.2.1 Allgemeines	19
5.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	20
5.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	20
5.3 Imperfektionen	20
5.3.1 Allgemeines	20
5.3.2 Rahmenimperfektionen in nicht ausgesteiften Systemen	20
5.3.3 Imperfektionen ausgesteifter Systeme.....	21
5.3.4 Imperfektionen in Regalen, die teilweise in der Ganglängsrichtung ausgesteift sind.....	24
5.3.5 Bauteilimperfektionen	24
6 Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen	24
6.1 Allgemeines	24
6.2 Permanente Einwirkungen.....	24
6.2.1 Allgemeines	24
6.2.2 Gewichte der Materialien und Konstruktionen	24
6.3 Veränderliche Einwirkungen	24
6.3.1 Allgemeines	24
6.3.2 Einzulagernde Ladeeinheiten	25
6.3.3 Vertikale Beschickungslasten	26
6.3.4 Horizontale Beschickungslasten	26
6.3.5 Auswirkungen von regalgeführten Geräten.....	28
6.3.6 Bühnen- und Laufgangbelastungen (siehe auch EN 1991-1-1)	29
6.3.7 Einwirkungen, die aus Montagevorgängen entstehen	30
6.4 Einwirkungen aus Stoßlasten (außergewöhnliche Lasten).....	31
6.4.1 Allgemeines	31
6.4.2 Außergewöhnliche vertikale Einwirkungen	31
6.4.3 Außergewöhnliche horizontale Last	32
6.5 Windlasten.....	32
6.6 Schneelasten.....	33
6.7 Erdbebeneinwirkungen	33
7 Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsregeln	33
7.1 Allgemeines	33

7.2	Kombinationen von Einwirkungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	33
7.3	Kombination von Einwirkungen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	34
7.4	Belastungsfaktoren	34
7.5	Materialfaktoren	35
7.6	Stabilität gegen Kippen.....	36
7.7	An der Gebäudekonstruktion abgestützte Regale	36
8	Stahl	36
8.1	Allgemeines	36
8.1.1	Vorüberlegungen	36
8.1.2	Materialeigenschaften.....	36
8.1.3	Bemessungsmaterialkoeffizienten (allgemeine mechanische Eigenschaften)	37
8.1.4	Stahltypen ohne garantierte mechanische Eigenschaften	37
8.1.5	Ungeprüfte Stähle.....	38
8.2	Durchschnittsstreckgrenze von Profilen	38
8.3	Spezielle Auswahl von Produktionsmaterial.....	38
8.4	Bruchzähigkeit.....	38
8.5	Maßtoleranzen	38
8.5.1	Allgemeines	38
8.5.2	Materialdicke	38
8.5.3	Dickentoleranzen	39
8.5.4	Breite und Tiefe eines kaltgeformten Profils.....	39
8.5.5	Geradheit der Stabelemente.....	39
8.5.6	Verwindung	39
8.5.7	Toleranzen in Bezug auf Auslegung und Montage.....	40
8.6	Verstreuungsexzentrizitäten	40
8.7	Exzentrizitäten zwischen Träger und Stützen	42
8.8	Anforderungen an Trägeranschlusslaschen	42
8.9	Dauerhaftigkeit	42
9	Konstruktionsanalyse	43
9.1	Strukturmodellierung zur Analyse und Grundvoraussetzung	43
9.2	Berechnung von Querschnitten.....	43
9.2.1	Allgemeines	43
9.2.2	Einfluss von Eckradien	43
9.2.3	Wirkung von Lochungen	43
9.2.4	Einfluss von Querschnittsverwindung.....	44
9.2.5	Wirkung von örtlichem Beulen	46
9.3	Träger.....	47
9.3.1	Allgemeines	47
9.3.2	Biegetragmoment von Stabelementen, die keinem Biegeknicken ausgesetzt sind	47
9.4	Auslegung von Trägern	48
9.4.1	Allgemeines	48
9.4.2	Belastungen auf Träger	48
9.4.3	Bemessungsbiegemomente für Träger.....	48
9.4.4	Bemessungsscherkraft für Träger.....	50
9.4.5	Durchbiegung von Trägern	51
9.4.6	Träger als Bindeglied in ausgesteiften Palettenregalen	52
9.4.7	Bemessungswiderstand bezogen auf Stegkrüppeln	53
9.4.8	Bemessungswiderstand bezogen auf Scherkräfte	53
9.4.9	Kombination von Scherkraft, Längskraft und Biegemoment	53
9.4.10	Kombination von Biegemoment und Stegkrüppeln	53
9.5	Auslegung von Trägeranschlusslaschen	53
9.5.1	Allgemeines	53
9.5.2	Bemessungsbiegemomente in Trägeranschlusslaschen.....	53
9.5.3	Bemessungswert der Scherkraft für Trägeranschlusslaschen.....	54
9.5.4	Bemessungswert der Scherkraft und Biegemoment für Trägeranschlusslaschen	54
9.6	Träger, die Biegung und Torsion ausgesetzt sind.....	54
9.6.1	Allgemeines	54

9.6.2	Biegedrillknicken in Trägern	54
9.7	Druck, Spannung und Biegung in Stabelementen	56
9.7.1	Ungelochte Druckstäbe	56
9.7.2	Gelochte Druckstäbe	56
9.7.3	Verifikation von Querschnitten	57
9.7.4	Bemessungstragfähigkeit in Bezug auf Biegeknicken	57
9.7.5	Drillknicken und Biegedrillknicken	63
9.7.6	Kombinierte Biegung und Längsbelastung	66
9.8	Auslegung von Stoßlaschen	69
9.9	Auslegung von Fußplatten	70
9.9.1	Allgemeines	70
9.9.2	Effektive Fläche A_{bas} für Fußplatten	70
9.10	Bodenmaterialien	71
9.10.1	Betonböden	71
9.10.2	Bitumenböden	72
9.10.3	Sonstige Bodenmaterialien	72
9.10.4	Auslegung der Fußverdübelung	73
9.11	Auslegung der Distanzstücke	73
10	Gesamtsystemanalyse von Palettenregalen mit Trägern	73
10.1	Allgemeine Erwägungen	73
10.1.1	Allgemeines	73
10.1.2	Zweidimensionale Analyse	74
10.1.3	Höhere dreidimensionale Analyse	74
10.2	Auslegungsverfahren	74
10.2.1	Einwirkungen	74
10.2.2	Verfahren	75
10.2.3	Berechnung von nicht ausgesteiften und ausgesteiften Regalen in Ganglängsrichtung	77
10.2.4	Moment/Verdrehungscharakteristiken von Träger/Stütze-Verbindungen	79
10.2.5	Moment/Verdrehungscharakteristiken der Bodenverbindungen	79
10.3	Berechnung von nicht ausgesteiften und ausgesteiften Regalen in Gangquerrichtung	79
10.3.1	Allgemeines	79
10.3.2	Stabilität außerhalb der Rahmenebene	80
10.3.3	Rahmenklassifizierung	80
10.4	Methoden der Gesamtsystemanalyse	82
10.5	Vereinfachte Berechnungsmethode für Stabilität in Gangquerrichtung	83
10.6	Auslegung von Stützen	83
10.6.1	Allgemeines	83
10.6.2	Bemessungslängskräfte und -biegemomente	83
11	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	84
11.1	Allgemeines	84
11.2	Grenzzustände der Regalgebrauchstauglichkeit	84
12	Kennzeichnung und Beschilderung	84
12.1	Kennzeichnung der Leistung von Regalanlagen	84
13	Prüfverfahren und Auswertung der Ergebnisse	85
13.1	Allgemeines	85
13.2	Anforderungen an Prüfungen	85
13.2.1	Ausrüstung	85
13.2.2	Auflagebedingungen	86
13.2.3	Ansetzen der Lasten	86
13.2.4	Laststufen	86
13.2.5	Zusammenstellen von Prüfstücken	86
13.2.6	Prüfberichte	86
13.3	Beurteilung der Prüfergebnisse	87
13.3.1	Definition der Versagenslast	87
13.3.2	Korrektur der Prüfergebnisse	87
13.3.3	Ableitung von charakteristischen Werten	87

13.3.4 Charakteristischer Wert für eine Versuchsserie	88
13.3.5 Korrekturen an Bruchlast oder -moment	89
Anhang A (normativ) Prüfung	90
A.1 Materialprüfungen	90
A.1.1 Zugversuch	90
A.1.2 Faltversuche	90
A.2 Prüfungen an Bauteilen und Anschlüssen	91
A.2.1 Druckversuch am kurzen Stützenstück	91
A.2.2 Druckversuche an Stützen — Den Einfluss von Beulen mit Veränderung der Querschnittsform prüfen	93
A.2.3 Druckversuche an (langen) Stützen — Ermittlung von Knicklängen	94
A.2.4 Biegeversuche an Trägeranschlüssen	98
A.2.5 Ermittlung des Anschlussspiels an einer Anschlusslasche	104
A.2.6 Scherversuch an Trägeranschlusslaschen und Sicherungselementen	106
A.2.7 Prüfungen an Stützenfußboden-Verbindungen	108
A.2.8 Ermittlung der Schubsteifigkeit von Ständerrahmen	111
A.2.9 Biegeversuche an Stützenprofilen	113
A.2.10 Biegeversuche an Trägern	114
A.2.11 Prüfungen an Stützenstößen	116
Anhang B (informativ) Stabilitätsanalyse in Ganglängsrichtung durch die Methode der verstärkten Verschiebung	119
B.1 Allgemeines	119
B.2 Lineare elastische Berechnung	120
B.3 Kritischer elastischer Wert	120
B.4 Verstärkungsfaktor	120
Anhang C (informativ) Näherungsgleichungen zur Bemessung eines gleichmäßigen Lagerregals in Ganglängsrichtung	121
C.1 Näherungsgleichungen für gleichmäßige Konstruktion	121
C.2 Zusätzliche Biegemomente aufgrund von Schachbrettbelastung	123
C.3 Bemessungsbiegemomente	123
C.4 Bemessungslast in den Außenstützen	124
Anhang D (informativ) Hintergrundinformationen über die Annahme von Materialien mit niedrigem Verhältnis f_u/f_y (kaltgewalzter Stahl)	125
Anhang E (informativ) Positions-Ungenauigkeiten	126
Anhang F (informativ) Äquivalente Trägerlasten	127
Anhang G (informativ) Vereinfachte Berechnungsmethode für Stabilität in Gangquerrichtung, unter der Bedingung, dass die Fachlasten gleichmäßig über die Höhe des Ständerrahmens verteilt sind	129
G.1 Allgemeines	129
G.2 Allgemeines Knicken der Rahmen	129
G.3 Schersteifigkeit des Ständerrahmens	130
G.4 Multiplikationsfaktor β	130
Anhang H (informativ) Werkseigene Produktionskontrolle	132
H.1 Allgemeines	132
H.2 Prüfhäufigkeit	132
H.3 Biegeversuche an Trägeranschlüssen	132
H.4 Faltversuche	132
Anhang I (informativ) A-Abweichungen	133
I.1 Niederländische Abweichungen aufgrund nationaler Gesetzgebung	133
I.2 Deutsche Abweichungen aufgrund nationaler Gesetzgebung	133
Literaturhinweise	135

Vorwort

Dieses Dokument (EN 15512:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2009 zurückgezogen werden.

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

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

Einleitung

0.1 Regale

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

Regale werden von Bauteilen aus Stahl, wie z. B. Rahmen, Träger und Facheinlagen konstruiert. Zur Bildung eines dreidimensionalen, gegen Verschiebung ausgesteiften, Rahmentragwerks aus Stahl werden Sonder- verbindungen zwischen Träger und Stützen eingesetzt. Zwischen den Regalzeilen werden Gänge gebildet, die den Zugang von Kommissionierern, Gabelstaplern oder Regalförderzeugen zu den Lagerplätzen ermög- lichen. Standardisierte Bauteile werden eingesetzt, die Standardisierung der Teile gilt jedoch nur für den jeweiligen Hersteller. 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 werden üblicherweise aus dünnwandigen, kaltgeformten Bauelementen hergestellt.

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

Aufgrund der Unterschiede in der Form der Bauteile, Konstruktionseinzelheiten und Anschlüsse, sind zusätz- liche Informationen zu den Eurocodes erforderlich, um dem Konstrukteur dieses Produktes eine zuverlässige Leitlinie über den Stand der Technik für die Bemessung von Regalen zur Verfügung zu stellen.

Der Aufgabenbereich von CEN/TC 344 besteht darin, Europäische Normen zur Spezifikation, Konstruktion, Montageverfahren, Aufstellgenauigkeit und Leitlinien zur sicheren 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 vorläufige Europäische Normen (prEN) bzw. als Arbeitsgruppenaktivitäten (WG = Arbeitsgruppe) wie folgt bestehen:

- EN 15512: Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Grundlagen der stati- schen Bemessung
- EN 15620: Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Grenzabweichungen, Verformungen und Freiräume
- EN 15629: Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Spezifikation von Lagereinrichtungen
- EN 15635: Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Anwendung und Wartung von Lagereinrichtungen
- WG3c: Begriffe und Definitionen

- WG4: Technische Grundlagen zur Konstruktion von verstellbaren Einfahr- und Durchfahr-Regalsystemen
- WG5a: Technische Grundlagen zur Konstruktion von Palettenregalsystemen in Erdbebengebieten
- WG5b: Technische Grundlagen zur Konstruktion von Einfahr- und Durchfahr-Regalsystemen in Erdbebengebieten
- WG6: Technische Grundlagen zur Konstruktion von Fachbodenregalsystemen
- WG7: Technische Grundlagen zur Konstruktion von Kragarmregalsystemen
- WG8: Technische Grundlagen zur Auslegung von Verschieberegalen
- WG9: Technische Grundlagen zur Gesundheit und Sicherheit bei der Montage von Regalsystemen

Es ist geplant, diese EN-Reihe „Regale und Fachbodenregale“ aufeinanderfolgend über einen Zeitraum von 10 Jahren zu veröffentlichen.

Beim Entwurf dieser Normen wird Kontakt mit anderen CEN/TCs aufgenommen, soweit zutreffend.

0.3 Zusammenarbeit

Das Technische Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ unterhält Verbindungen zu den TCs 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 Regale und Arbeitsmittelvorschriften

Regale sind tragende Konstruktionen, gleichwohl können sie auch von nationalen Bestimmungen als Arbeitsmittel betrachtet werden und daher der Europäischen Richtlinie 89/391/EWG unterliegen. Dieses Dokument ist kein selbstständiges Dokument und sollte zusammen mit EN 15620, EN 15629 und EN 15635 angewendet werden.

0.5 Weitere, speziell für EN 15512 anzuwendende Informationen

EN 15512 ist zur Anwendung mit EN 1990 — Grundlagen der Tragwerksplanung, EN 1991 — Einwirkungen auf Tragwerke und EN 1993 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten vorgesehen.

EN 1993-1 ist der erste von sechs Teilen der EN 1993 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Er legt generische Regeln für Bemessung und Konstruktion vor, die mit den anderen Teilen EN 1993-2 bis EN 1993-6 angewendet werden sollen. Außerdem sind Zusatzregeln, die nur für Gebäude gelten, aufgeführt.

EN 1993-1 umfasst elf Unterteile EN 1993-1-1 bis EN 1993-1-11, wovon sich jeder auf bestimmte Bauteile aus Stahl, Grenzzustände oder Materialien bezieht.

EN 15512 darf auch für Bemessungs- und Konstruktionsfälle, die nicht von den Eurocodes abgedeckt sind, verwendet werden (andere Konstruktionen, andere Einwirkungen, andere Materialien) und dient als Nachschlagedokument für konstruktive Angelegenheiten anderer CEN/TCs.

EN 15512 ist für den Gebrauch vorgesehen durch

- Komitees für konstruktionsverwandte Produkt-, Prüfungs- und Ausführungsnormen;
- Konstrukteure und Hersteller;
- zuständige Behörden.

Numerische Werte für den Teilfaktorplan sowie andere Zuverlässigkeitsparameter sind Grundwerte, die einen annehmbaren Zuverlässigkeitsgrad bieten wobei ein entsprechendes Niveau der Arbeitsausführung und des Qualitätsmanagements vorausgesetzt wurde.

Im Zuge der Bemessung und Konstruktion ist eine Verweisung auf die Dokumente EN 15629 und EN 15635 erforderlich, damit sich sowohl der Verfasser des Pflichtenhefts als auch der Konstrukteur über die Beschränkungen im Bereich des Anderen bewusst ist, und um die Erstellung einer wirksamen Auslegung zu ermöglichen.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die Anforderungen an die statische Bemessung für sämtliche Arten von Palettenregalen mit verstellbaren Trägern fest, welche aus Stahlelementen hergestellt und zur Lagerung von Ladeeinheiten vorgesehen und vorwiegend statischen Lasten ausgesetzt sind. Sowohl Systeme mit als auch ohne Aussteifungsverbände sind berücksichtigt.

Diese Europäische Norm dient auch als Leitlinie zur statischen Bemessung von Gebäuden aus verkleideten Regalen, im Falle, dass deren Anforderungen nicht von EN 1993 abgedeckt sind. Die Anforderungen dieser Europäischen Norm gelten auch für Zusatzeinrichtungen, bei denen Regalbauteile als wichtiges Hauptbauteil eingesetzt sind.

Diese Europäische Norm gilt nicht für andere Arten von Lagereinrichtungen, namentlich nicht für Verschieberegalsysteme, Einfahr- und Durchfahrregale, Kragarmregale und Fachbodenregale aus Stahl. Diese Europäische Norm stellt ferner keine bestimmten Bemessungsregeln zur Bewertung von Regalen in Erdbebengebiete auf.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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 528, *Regalbediengeräte — Sicherheit*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-1-1:2002, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke — Dichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*

EN 1993-1-1:2005, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 1993-1-3:2006, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Zusatzregeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*

EN 10002-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

EN 10143, *Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Blech und Band aus Stahl — Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 10162, *Kaltprofile aus Stahl — Technische Lieferbedingungen — Grenzabmaße und Formtoleranzen*

EN 10326, *Kontinuierlich schmelztauchveredeltes Blech und Band aus Stahl — Technische Lieferbedingungen*

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

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

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

prEN 15878, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Begriffe*

EN ISO 7438, *Metallische Werkstoffe — Biegeversuch (ISO 7438:2005)*

EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme — Anforderungen (ISO 9001:2000)*

ETAG No 001, *Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe nach prEN 15878.

3.1

außergewöhnliche Einwirkung

eine Einwirkung von kurzer Dauer aber signifikanter Größe, deren Auftreten in einer bestimmten Konstruktion während der vorgesehenen Lebensdauer als unwahrscheinlich erachtet wird

3.2

Grundmaterial

Stahlblech in Flachform als Tafelzuschnitt oder Stahlband in Coilform, gegebenenfalls kaltgewalzt aus dem die Regalbauteile geformt oder profiliert werden

3.3

Stahl-Charge

Stahlmenge mit denselben Materialeigenschaften, von einem Lieferanten zu einem Zeitpunkt produziert

3.4

Träger

ein waagrechtes Bauteil, das nebeneinanderstehende Rahmen verbindet und in der horizontalen Ebene parallel zum Arbeitsgang des Regals liegt

3.5

Verbindungslasche

ein verbindendes Element, das an den Träger angeschweißt oder als integrierender Bestandteil des Trägers geformt ist, mit Haken oder sonstigen Vorrichtungen versehen, die in die Lochung der Stütze eingreifen

3.6

Fachlast

Last, die in einem Fach eines Regals von einer Seite beladen werden kann

3.7

Doppelregal

eine mit Verbindungsstücken verbundene Doppelregalzeile, von zwei Arbeitsgängen zugänglich

3.8

Gesamtsystemanalyse

Bestimmung eines geschlossenen Systems, welches das gesamte dreidimensionale Tragverhalten des Regals darstellt und bei dem die inneren Kräfte, Momente und Verschiebungen mit einer bestimmten Gruppe Einwirkungen im Gleichgewicht sind

3.9

gelochtes Profil

ein Element mit in der Länge gleichmäßig verteilten Mehrfachlochungen

3.10

Beschickungslast

Last, die bei Beschickung und Entnahme unter fachmännischen Bedingungen entsteht, wenn eine Last ein- oder ausgelagert wird

3.11

Einfachregal

eine von nur einem Arbeitsgang zugängliche Regalzeile

3.12

Rückenverstrebung

Querversteifung in der vertikalen Ebene parallel zum Hauptgang des Regals, die nebeneinanderstehende Rahmen verbindet

3.13

Zurückfedern

die Neigung eines kaltgewalzten Profils, sich, beim Schneiden aus einem längeren Stück, spontan im Querschnitt zu verformen

3.14

ausgesteiftes Element

ein ausgesteiftes Element eines Querschnitts ist der Teil des Querschnitts, der entlang der beiden Längskanten mit dem Rest des Profils verbunden ist

3.15

Verschiebung

die horizontale Verschiebung einer Konstruktion ohne etwaige Vorverdrehung

3.16

Ladeinheit

eine lagerfähige Einzellast, die in einem Arbeitsgang ein- oder ausgelagert werden kann

3.17

nicht ausgesteiftes Element

ein nicht ausgesteiftes Element eines Querschnitts ist der Teil des Querschnitts, der entlang nur einer Längskante mit dem Rest des Profils verbunden ist

3.18

Ständerrahmen

zwei Stützen (oft gelochte Stützen), die mit einer Anordnung von Aussteifungselementen verbunden sind

ANMERKUNG Typische Beispiele sind in Bild 1 dargestellt.

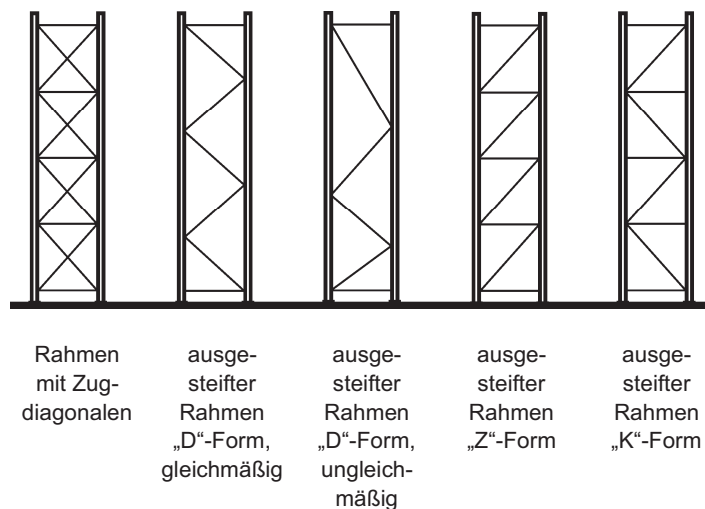


Bild 1 — Typische Ständerrahmen

4 Symbole

In diesem Dokument können einige der folgenden Buchstaben mit genormten Indizes verwendet werden, die später angegeben werden.

Zusätzliche Buchstaben und Indizes werden an der Stelle definiert, wo sie zuerst benutzt werden.

Ein Buchstabe und Indize darf in diesem Dokument für mehrere Bedeutungen benutzt werden.

Im Allgemeinen werden die ursprünglichen Buchstaben mit all ihren genormten Indizes nicht definiert, mit denen sie benutzt werden dürfen.

A	außergewöhnliche Einwirkung
A	Querschnittsfläche
A_{eff}	effektive Querschnittsfläche
A_g	Bruttoquerschnittsfläche
A_{ph}	außergewöhnliche horizontale Beschickungskraft
A_{pv}	außergewöhnliche vertikale Beschickungskraft
b	Stützenbreite
b_p	fiktive ebene Breite des Elements
E	Elastizitätsmodul
e	effektive Auflagenbreite einer Fußplatte
e	Exzentrizitäten
f_{ck}	charakteristische Zylinderfestigkeit von Beton
f_t	empirische Streckgrenze des Probestücks
f_u	Bruchfestigkeit
f_y	Streckgrenze
f_{ya}	Durchschnittsstreckgrenze
f_{yb}	Grundstreckgrenze ($= f_y$)
G	Schermodul
G_k	charakteristischer Wert ständiger Lasten (Totlasten)
h	Fachhöhe
I	Trägheitsmoment
I_T	St Venant-Torsionskonstante
I_W	Verwölbungskonstante
i	Trägheitsradius
i_0	polarer Trägheitsradius
K	effektiver Längenfaktor
k_b	Steifheit der Träger/Stützen-Verbindungslasche
k_s	Koeffizient bezogen auf Anzahl der Versuche
L	Spannbreite
l	Länge

ℓ	effektive Länge bzw. Knicklänge
M	Bieugungsmoment
N	Axialkraft
n	Anzahl Versuche
n_c	Anzahl Stützen in Ganglängsrichtung in einer Regalzeile
n_s	Anzahl Trägerebenen
Q	veränderliche Einwirkung
Q_f	konzentrierte Last auf Fußboden
Q_h	maximale vorgeschriebene horizontale Last je RFZ
Q_{ph}	horizontale Beschickungslast
Q_{pv}	vertikale Beschickungslast
Q_u	Gewicht der Ladeinheit
q	verteilte Last
R_m	Mittelwert der angeglichenen Prüfungsergebnisse
R_n	berichtigte Traglastgrenze
R_t	empirische Traglastgrenze
s_n	Standardabweichung der normalisierten Prüfergebnisse
t	Materialdicke
t_c	Kerndicke des Materials außer Beschichtungen
t_t	empirische Kerndicke des Probestücks
V	Scherkraft
V	vertikale Last
V_{cr}	elastischer kritischer Wert der vertikalen Last
W	Widerstandsmoment
W	Gesamtlast auf einem Träger
α	lineare Wärmeausdehnungszahl
α	Berichtigungsfaktor für Streckgrenze
α	Imperfektionsfaktor
β	Trägerkoeffizient
β	Berichtigungsfaktor für Dicke
β	Verstärkungsfaktor für Effekte II. Ordnung
γ	Teilsicherheitsfaktor
γ_A	Teilsicherheitsfaktor für außerordentliche Einwirkungen
γ_f	Lastfaktor
γ_G	Teilsicherheitsfaktor für ständige Einwirkungen
γ_M	Materialfaktor
γ_Q	Teilsicherheitsfaktor für veränderliche Einwirkungen
δ	Durchbiegung

θ	Verdrehung
λ	Schlankheitsgrad
$\bar{\lambda}$	dimensionsloser Schlankheitsgrad
ν	Poissonscher Beiwert
ρ	Dichte
ϕ	Vorverdrehung
ϕ_0	Anfangsschiefstellung
ϕ_1	Spiel der Trägerverbindungslasche
x	Spannungsverminderungsfaktor

Indizes

B	Knicken
C	Druck, Tragfähigkeit
Cr	Kritisch
D	Bemessungs..., Auslegungs...
Db	Beulen mit Veränderungen der Querschnittsform
FT	Biegetorsions...
G	Brutto...
i	Prüfungsnummer
k	Charakteristisch
LT	Biegedrill...
m	Mittelwert
n	berichtigter Wert
Rd	theoretischer Widerstand
Sd	theoretische Festigkeit
ser	Gebrauchs...
T	Torsions...
t	empirischer Wert eines Versuchs

5 Auslegungsgrundlagen

5.1 Anforderungen

5.1.1 Grundanforderungen

Palettenregale sind genormte Produkte, bei denen eine Berechnung allein gegebenenfalls nicht angemessen ist. Dort wo gegenwärtige analytische Methoden nicht angegeben sind bzw. nicht angebracht sind, sind Prüfungsverfahren festgelegt. Die entsprechenden Verfahren sind in Anhang A angegeben.

Die Bemessungs- und Konstruktionsanforderungen in diesem Dokument sind nach EN 1990, EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3 einzuhalten, es sei denn, dass bestimmte, abweichende Anforderungen angegeben sind.

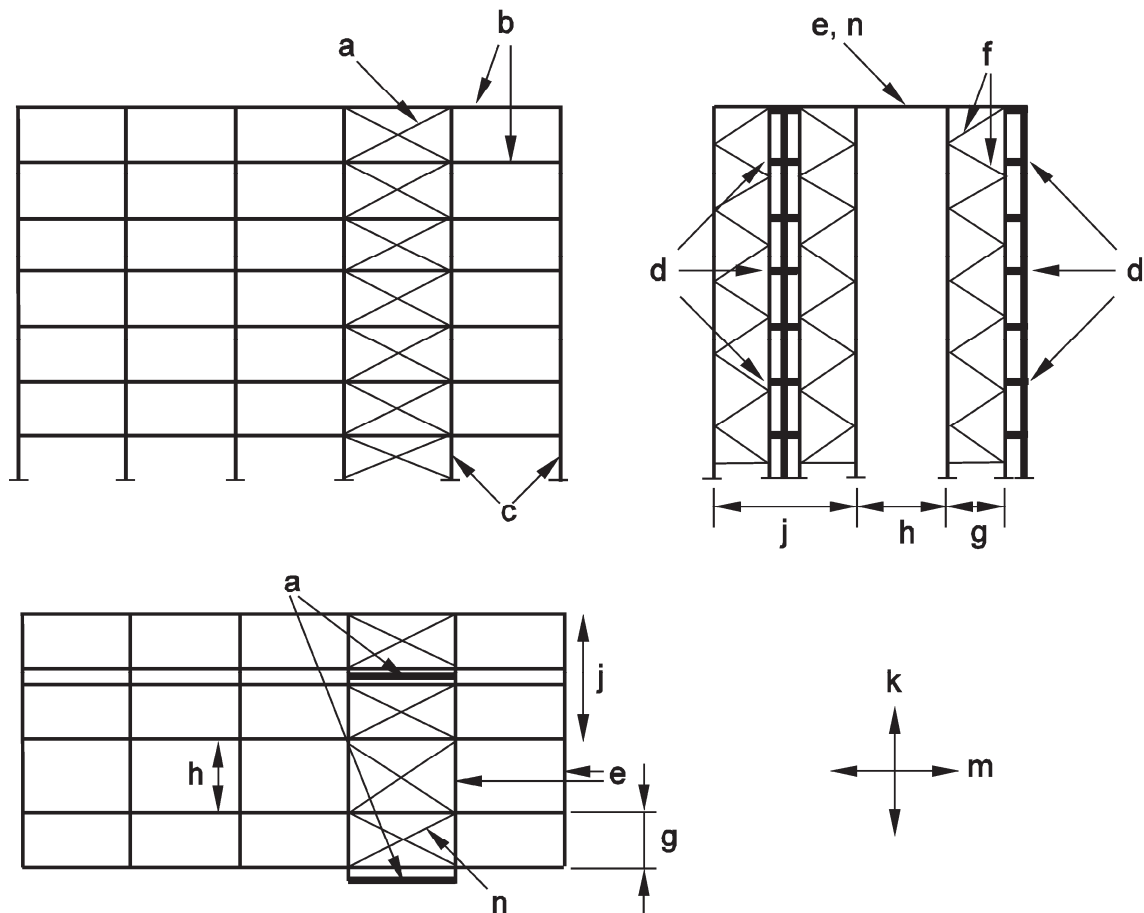
5.1.3 Regalsysteme mit Aussteifungsverbänden

Bei einem Regal mit Aussteifungsverbänden (siehe Bild 3) sind Kräfte in der vorderen und hinteren Ebene in die Rückenverstrebung zu leiten, wie in den Bildern 4, 5 und 6 gezeigt.

Die stabilisierende Wirkung der Rückenverstrebung wird üblicherweise durch Horizontalverbände in die nicht ausgesteiften vorderen und hinteren Stützen des Regals geleitet.

Stabilität in der Gangquerrichtung wird mittels Aussteifung der Rahmen sichergestellt.

Regale können in nur einem Teil der Höhe ausgesteift sein, in diesem Fall sind sowohl die ausgesteiften als auch die nicht ausgesteiften Auslegungsfaktoren zu berücksichtigen.



Legende

a	Rückenverstrebung	g	Einfachregal
b	Träger	h	Gang
c	Ständerahmen	j	Doppelregal
d	Aussteifungshalterungen	k	Gangquerrichtung
e	obere Querverbindungen (nach Bedarf)	m	Ganglängsrichtung
f	Rahmenaussteifung	n	Horizontalverbände

Bild 3 — Beispiel einer Palettenregalkonstruktion mit Aussteifungsverbänden

Bei Doppelregalen mit Aussteifungsverbänden sind die Horizontalverbände so auszulegen, dass die Entwicklung eines antisymmetrischen Modus mit nicht mehr akzeptablen Verschiebungen ausgeschlossen ist, bei der die Verschiebung eines Regals in einer Ganglängsrichtung erfolgt und die Verschiebung des anderen Regals in der anderen Ganglängsrichtung erfolgt (siehe Bilder 4 und 5), weil die Rückenverstrebung dadurch nicht mehr wirksam wäre.

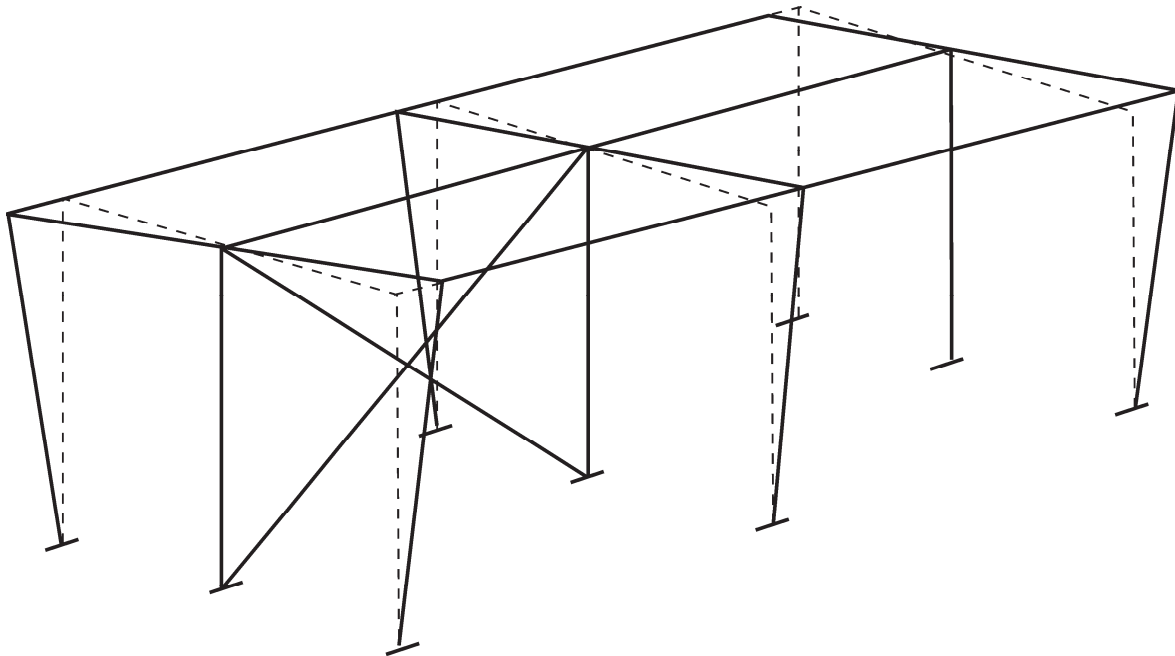
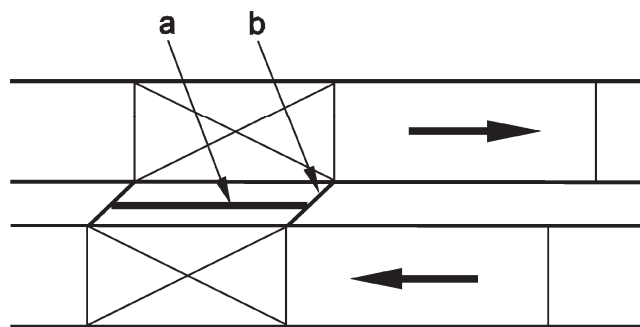


Bild 4 — Antisymmetrische Verschiebung eines Doppelregals

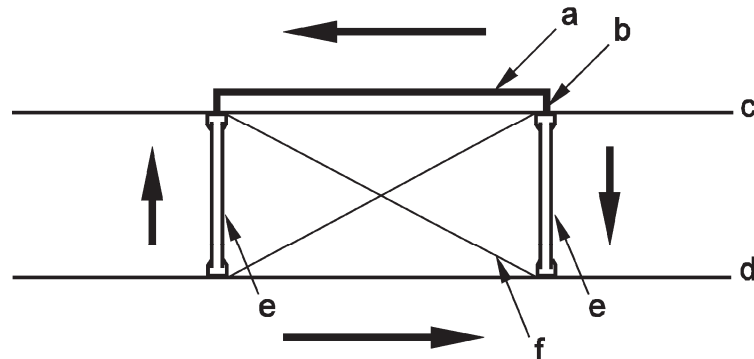


Legende

- a Rückenverstrebung
- b Aussteifungshalterungen

Bild 5 — Draufsicht eines alternativen Verschiebungsmodus in einem Doppelpalettenregal

Bei Einfachregalen, insbesondere wo Paletten über die Träger hinausragen dürfen, müssen die Auslegung und die Konstruktionseinzelheiten sicherstellen, dass die Rückenverstrebung ihre volle Wirkung erzielen kann, wie in Bild 6 dargestellt.



Legende

- a Rückenverstrebung
- b Aussteifungshalterungen
- c hintere Ebene des Regals
- d vordere Ebene des Regals
- e Ständerrahmen
- f Horizontalverband

Bild 6 — Kraftfluss für die Aussteifungskräfte eines Einfachregals mit Aussteifungsverbänden

5.1.4 Bemessungslebensdauer

Zur Ermittlung der Lasten muss eine Bemessungslebensdauer von mindestens 10 Jahren angenommen werden. Dieses sollte nicht als eine etwaige Garantie der tatsächlichen Lebensdauer des Regals gesehen werden. An Aufnahme- und Abgabestationen ist die Möglichkeit von Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl in Erwägung zu ziehen.

ANMERKUNG Die Lebensdauer der meisten Regalsysteme wird durch die Abnutzung und die Schäden während des Betriebs oder durch Korrosion bestimmt. Diese können in der Auslegungsphase nicht vorbestimmt werden und sind mit diesem Abschnitt nicht abgedeckt. Es wird davon ausgegangen, dass das Regal ordnungsgemäß betrieben wird, und dass Schäden unverzüglich repariert werden. Siehe auch EN 15629 und EN 15635.

5.1.5 Bodentoleranzen und -verformungen

Für die Bemessung und Konstruktion von Regalen dürfen die Abweichungen und Verformungen des Gebäudebodens, auf dem das Regal errichtet wird, vernachlässigt werden, vorausgesetzt, dass der Gebäudeboden den in EN 15620 festgelegten entsprechenden Grenzwerten entspricht.

5.2 Auslegungsmethoden

5.2.1 Allgemeines

Die Auslegung der Konstruktion bzw. seiner Teile ist durch Anwendung einer der in diesem Dokument angegebenen Methoden einschließlich der Anhänge durchzuführen (die Methode der verstärkten Verschiebung und Näherungsgleichungen sind in den Anhängen B und C dargestellt). In allen Fällen müssen die Einzelheiten der Bauteile und Verbindungen so ausgelegt werden, dass die Annahmen der Auslegung ohne Beeinträchtigung jeglicher anderer Teile der Konstruktion realisiert werden.

5.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit entspricht der maximalen Tragfähigkeit und wird üblicherweise durch einen der folgenden Fälle gekennzeichnet:

- a) Festigkeit (einschließlich verbreitetem Nachgeben, Bruch, Knicken und einer Umwandlung in einen Mechanismus);
- b) Stabilität gegen Umstürzen und Verschiebung;
- c) übermäßige örtliche Verformung;
- d) Bruch aufgrund von Ermüdung.

ANMERKUNG Es gibt in diesem Dokument keinen weiteren Hinweis auf Ermüdung. Dadurch wird impliziert, dass normale Regalkonstruktionen Dauerschwingbelastungen nicht ausgesetzt sind. Das heißt, dass dieses Dokument ohne ausreichende Berücksichtigung der Auswirkung wiederholter Belastungen nicht angewendet werden sollte. Hierbei handelt es sich um die Auslegung von Anlagen, die vielen Belastungszyklen ausgesetzt sind, bzw. Konstruktionselemente beinhalten, die gegebenenfalls empfindlich gegen Dauerschwingbelastungen niedriger Frequenzen reagieren. Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl wird wahrscheinlich dort von Bedeutung sein, wo Übergabestationen oder Schienen für Satellitenfahrzeuge im Regal vorkommen.

5.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Verifizierung des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit stellt das richtige Funktionieren der Elemente unter Betriebsbedingungen sicher. Es reicht aus, lediglich die Verformungen oder Durchbiegungen, die das Aussehen oder die effektive Nutzung der Konstruktion beeinflussen, zu betrachten.

Bei der Berechnung der Verformungen müssen etwaige Einwirkungen II. Ordnung ausreichend berücksichtigt werden, ebenso die Drehsteifigkeit etwaiger halbsteifer Verbindungen.

5.3 Imperfektionen

5.3.1 Allgemeines

Die Auswirkung von Imperfektionen muss bei der Analyse durch ausreichende Berücksichtigung folgender Imperfektionen betrachtet werden:

- a) Rahmenimperfektionen nach 5.3.2;
- b) Imperfektionen der Verstrebung nach 5.3.3;
- c) Imperfektionen der Stabelemente nach 5.3.5.

Imperfektionen der Stabelemente dürfen bei Modellierung der Anordnung in der Gesamtanalyse vernachlässigt werden, sie müssen jedoch für die Prüfung von Stabelementen berücksichtigt werden.

5.3.2 Rahmenimperfektionen in nicht ausgesteiften Systemen

Die Auswirkungen von Rahmenimperfektionen müssen in der Gesamtsystemanalyse entweder durch einen Grundwert der Vorverdrehung oder durch ein geschlossenes System von Ersatzlasten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Ein ausgeklügeltes Modellieren der Gesamtimperfektionen ist möglich, aber bei der Generierung eines solchen Modells ist große Sorgfalt erforderlich, um den praktischen Anwendungsfall richtig darzustellen.

Die Auswirkung des Spiels des Trägeranschlusses ist in die Berechnung der Rahmenimperfektion einzu beziehen.

Die Verschiebungs-Imperfektion ϕ wird wie folgt ermittelt:

$$\phi = \phi_s + \phi_l \quad (1)$$

Dabei ist

$\phi \geq 1/500$ nur für die Bemessung beim Grenzstand der Tragfähigkeit;

ϕ_s die maximal festgelegte Montage-Lotabweichung, dividiert durch die Höhe (siehe 8.5.7.2);

ϕ_l Spiel des Trägeranschlusses, welches nach A.2.5 ermittelt wird.

ANMERKUNG Falls die Auswirkung des Spiels des Trägeranschlusses in der Modellierung des Anschlusses bei der Gesamtsystemanalyse einbezogen worden ist, darf ϕ_l als = null in die oben aufgeführten Gleichungen eingesetzt werden.

Diese Vorverdrehungen wirken in sämtlichen horizontalen Richtungen, es darf jeweils nur eine Richtung gleichzeitig berücksichtigt werden.

Die Vorverdrehungen dürfen durch ein geschlossenes System horizontaler Ersatzlasten ersetzt werden. Diese horizontalen Ersatzlasten müssen an jeder Ebene angelegt werden und verhältnismäßig mit den an dieser Ebene angelegten aufgetragenen vertikalen Lasten sein, wie in Bild 7 dargestellt.

Bei der Auslegung der Fußplatten und Bodenbefestigungen muss der horizontale Gegendruck an jeder Fußplatte durch die Vorverdrehung ϕ ermittelt werden. Hierfür dürfen die Ersatzlasten nicht benutzt werden. Sind keine tatsächlichen horizontalen Lasten vorhanden, beträgt der horizontale Nettogegendruck null.

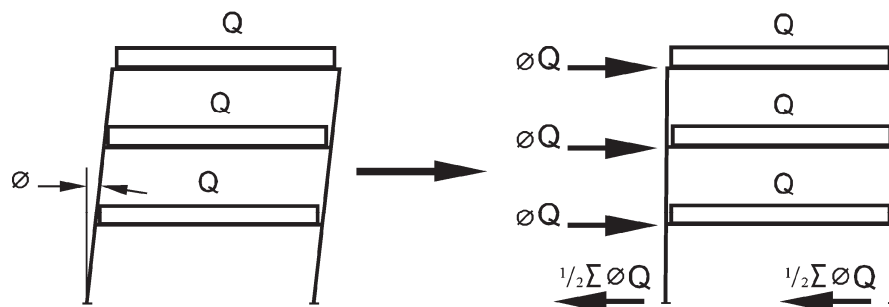


Bild 7 — Horizontale Ersatzlasten

5.3.3 Imperfektionen ausgesteifter Systeme

5.3.3.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt gilt sowohl für die Ständerahmenverstrebung als auch für die Verstrebung der Rahmen in der Ganglängsrichtung.

Die Auswirkungen von Imperfektionen in Aussteifungssystemen, die für die Seitenstabilität der Konstruktion erforderlich sind, müssen durch den Einsatz eines Grundwertes der geometrischen Imperfektion des Aussteifungssystems berücksichtigt werden (siehe Bild 8).

Sowohl Gesamtimperfektionen nach 5.3.3.2 sowie örtliche Imperfektionen nach 5.3.3.3 müssen betrachtet werden. Sie überlagern sich nicht.

5.3.3.2 Imperfektionen im vertikalen Aussteifungssystem und ihre Verbindungen

Die beschriebenen Imperfektionen dieses Abschnitts sind in der Gesamtsystemanalyse einzubeziehen.

Die Vorverdrehung ist zu bestimmen aus

$$\phi = \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n_f}\right)} 2\phi_s \quad (2)$$

worin $\phi \leq 2\phi_s$ und $\phi_s \geq 1/500$.

In der Ganglängsrichtung ist n_f gleich der Anzahl der verbundenen Ständerrahmen in einer Feldzeile.

In der Gangquerrichtung ist n_f als die Anzahl der miteinander verbundenen Ständerrahmen (z. B. durch obere Querverbindungen, Distanzstücke oder Zwischenbühnen), die zusammenwirken, einzusetzen.

ANMERKUNG Die rationale Analyse kann den Einsatz von mehr als einer Zeile Ständerrahmen in Gangquerrichtung erlauben (z. B. aufgrund der horizontalen Aussteifung bzw. der Scheibenwirkung einer Bühne).

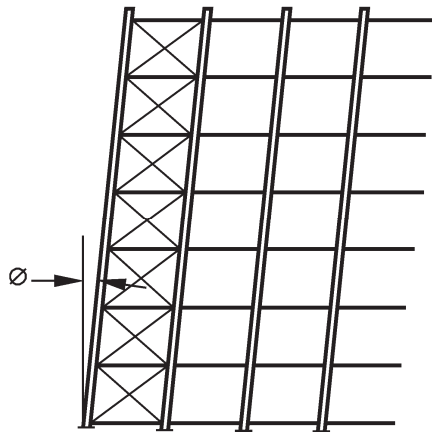


Bild 8 — Gesamtimperfektionen der Verstrebung

5.3.3.3 Örtliche Aussteifungsimperfektionen

Örtliche Imperfektionen bewirken die Bildung im Gleichgewicht stehender Kräftesysteme (siehe Bild 9), die nur für die Auslegung der horizontalen Aussteifungselemente und ihre Verbindungen angewandt werden sollen. Eine Analyse I. Ordnung ist hinreichend.

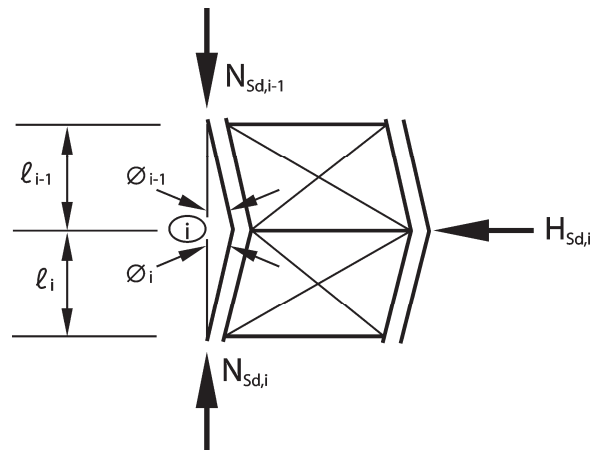


Bild 9 — Örtliche Aussteifungsimperfectionen

Für Stützen ohne Stoßlaschen $\phi_0 = 1/400$

Für Stützen mit Stoßlaschen $\phi_0 = 1/1200$

$$\text{Wenn } \ell_i \geq \ell_{i-1}; \phi_{i-1} = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{n_u}\right)} \phi_0 \text{ aber } \leq \phi_0 \quad (3)$$

$$\text{und } \phi_i = \phi_{i-1} \frac{\ell_{i-1}}{\ell_i}$$

Dabei ist

n_u die Anzahl der Stützen je Aussteifungssystem;

$$\ell_i \leq \ell_{i-1}; \phi_i = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{n_u}\right)} \phi_0 \text{ aber } \leq \phi_0 \quad (4)$$

$$\text{und } \phi_{i-1} = \phi_i \frac{\ell_i}{\ell_{i-1}}$$

Die geometrische Grundwertimperfection darf als eine horizontale Kraft $H_{Sd,i}$ eingesetzt werden, mit:

$$H_{Sd,i} = N_{Sd,i-1} \phi_{i-1} + N_{Sd,i} \phi_i$$

Dabei ist

$H_{Sd,i}$ über sämtliche verbundene Stützen summiert;

N_{Sd} die Bemessungslängslast eines Stabelements.

Wenn $\ell_i = \ell_{i-1}$; $N_{Sd,i} = N_{Sd,i-1}$; $\phi_i = \phi_{i-1}$; dann $H_{Sd,i} = 2 N_{Sd,i} \phi_i$

5.3.4 Imperfektionen in Regalen, die teilweise in der Ganglängsrichtung ausgesteift sind

Dieser Abschnitt gilt für Rahmen, bei denen sich die in Bild 8 angezeigten Kreuzverbände auf den unteren Teil der Höhe erstrecken. Die Vorverdrehung ϕ in 5.3.3 ist auf den ausgesteiften Abschnitt anzusetzen. Die Vorverdrehung ϕ in 5.3.2 ist auf den nicht ausgesteiften Abschnitt anzusetzen.

In diesen Gleichungen ist:

$n_c = n_f$ die Gesamtanzahl der Rahmen in Ganglängsrichtung;

n_s die Anzahl der nicht ausgesteiften Trägerebenen.

5.3.5 Bauteilimperfektionen

Je nach Art der statischen Analyse sind die Auswirkungen von Imperfektionen auf die Auslegung von Bauteilen entweder mit dem Ersatzstabnachweis nach 9.7.4.2 mit den Imperfektionsfaktoren der entsprechenden Knickspannungslinien oder durch Anwendung der Gesamtanalysemethode nach 10.1.3 zu berücksichtigen.

6 Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen

6.1 Allgemeines

Bei der Auslegung der Konstruktion sind sämtliche in Abschnitt 6 aufgeführten Einwirkungen zu berücksichtigen. Sie sind entweder individuell oder in Kombination zu betrachten.

6.2 Permanente Einwirkungen

6.2.1 Allgemeines

Die permanenten Einwirkungen sind als das Gewicht der gesamten Konstruktion, einschließlich Wände, Bühnen, Decken, Treppen und ortsfeste Versorgungseinrichtungen anzusetzen.

6.2.2 Gewichte der Materialien und Konstruktionen

Bei der Schätzung der Eigengewichte zum Zweck der Auslegung müssen die tatsächlichen Gewichte der Materialien und Konstruktionen berücksichtigt werden. Die Gewichte von ortsfesten Versorgungseinrichtungen, wie z. B. Sprinkler, Versorgungsleitungen, Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnischen Anlagen sind zu ermitteln und falls solche Einrichtungen von den tragenden Elementen der Konstruktion getragen werden, sind sie stets zu berücksichtigen.

6.3 Veränderliche Einwirkungen

6.3.1 Allgemeines

Wo zutreffend, sind folgende veränderliche Einwirkungen bei der Auslegung zu berücksichtigen:

- a) Ladeeinheiten;
- b) vertikale Beschickungslasten;
- c) horizontale Beschickungslasten;
- d) durch regalführte Geräte verursachte Lasten;
- e) Bühnen- und Laufgangbelastungen;

- f) Druck auf Handläufe;
- g) Einwirkungen aufgrund von Imperfektionen (d. h. Rahmen, Verstrebung, Stabelement, Lasten);
- h) Stoßlasten und außergewöhnliche Lasten;
- i) Windlasten;
- j) Schneelasten;
- k) Erdbebenlasten.

Veränderliche Einwirkungen aufgrund von sonstigen an die Konstruktion angeschlossenen Einrichtungen sind zu ermitteln und in der Auslegung zu berücksichtigen.

6.3.2 Einzulagernde Ladeeinheiten

Ladeeinheiten sind nach den Anforderungen von EN 15629 zu bestimmen.

Die Gesamtsystemanalyse und Auslegung dürfen unter Verwendung des angegebenen Wertes des Gewichtes der Ladeeinheit durchgeführt werden, unter der Annahme, dass das Regal in jedem Feld gleichmäßig belastet ist. Diese Vorgehensweise ist nur erlaubt, wenn:

- a) das Lagerverwaltungssystem in der Lage ist, solche Ladeeinheitslasten, die den angegebenen Wert überschreiten, zuverlässig zu erkennen und deren Verteilung innerhalb des Regals zu steuern;
- b) das angegebene Gewicht der Ladeeinheit nicht weniger als 80 % des Höchstwertes des Gewichtes der Ladeeinheit beträgt;
- c) sämtliche Träger zum Tragen der maximalen Ladeeinheitslasten ausgelegt sind;
- d) bei der Auslegung der Stütze der ungünstigste Fall der Lastverteilung berücksichtigt wird, wo die Höchstlast in die oberen Lagerplätze bis zu der definierten Feldlast angesetzt wird;
- e) die in der Gesamtsystemanalyse eingesetzte Feldlast niemals überschritten wird.

Falls die Beschickungsimperfektionen nicht systematisch sondern zufällig vorkommen, dürfen die erhöhten Spannungen und Verformungen aufgrund von Beschickungsimperfektionen am Grenzwert der Beschickungstoleranz vernachlässigt werden, vorausgesetzt, dass sie 12 % der Werte von symmetrisch beladenen Trägern nicht überschreiten. Beträgt die Erhöhung mehr als 12 %, ist die Auswirkung auf die Bemessung des Trägers wie folgt zu berücksichtigen:

Dort wo Beschickungsimperfektionen nicht systematisch vorkommen und zufällige Beschickungsgenauigkeit erwartet wird, ist die Auswirkung auf die Bemessung des Trägers wie folgt zu berücksichtigen:

$$Q' = \eta Q \quad (5)$$

$$\text{wenn } \rho \leq 1,12 \quad \eta = 1$$

$$\text{wenn } 1,12 \leq \rho \leq 1,24 \quad \eta = 2\rho - 1,24$$

$$\text{wenn } \rho \geq 1,24 \quad \eta = \rho$$

Dabei ist

$$\rho = \frac{Q_e}{Q};$$

Q die Last auf den Träger bei Platzierung der Palette in die geplante Position;

Q_e die Last auf den Träger bei Platzierung der Palette mit maximaler Versetzung.

6.3.3 Vertikale Beschickungslasten

Wenn Ladeeinheiten platziert werden, sind folgende vertikale Mindestbeschickungslasten anzuwenden.

- a) Wenn Ware mit mechanischen Hilfsmitteln eingelagert wird.

Bei Anlagen mit Einzelladeeinheiten (d. h. nur eine Ladeeinheit je Ebene und Feld) bzw. bei gleichzeitig platzierten Mehrfachlasten, müssen die tragenden Träger, Tragarme (falls vorhanden) und Verbindungs-laschen so ausgelegt werden, dass sie eine zusätzliche nach unten gerichtete vertikale Beschickungslast aufnehmen können. Diese Beschickungslast $Q_{pv} = 25\%$ der maximalen Ladeeinheitslast, wird in der ungünstigsten Position für die jeweilige Ermittlung platziert (Moment oder Scherkraft).

- b) Wenn Ware manuell eingelagert wird.

Tragende Träger, Tragarme (falls vorhanden) und Verbindungs-laschen müssen so ausgelegt werden, dass sie eine zusätzliche nach unten gerichtete vertikale Beschickungslast von $Q_{pv} = 100\%$ der maximalen Ladeeinheitslast, die in der ungünstigsten Position für die jeweilige Ermittlung platziert wird (Moment oder Scherkraft) aufnehmen können.

Eine nach unten gerichtete Beschickungslast braucht bei der Überprüfung von Trägerdurchbiegungen bzw. bei der Bemessung von Ständerrahmen oder anderen Bauteilen nicht angesetzt zu werden.

6.3.4 Horizontale Beschickungslasten

6.3.4.1 Allgemeines

Wenn Ladeeinheiten eingelagert werden, müssen die folgenden horizontalen Mindestbeschickungslasten (veränderliche Einwirkungen) sowohl in Gangquerrichtung als auch in Ganglängsrichtung an der ungünstigsten Stelle angelegt werden. Sie dürfen nur in einer Richtung angewendet werden, nicht aber in beiden Richtungen gleichzeitig.

ANMERKUNG Es ist nicht vorgesehen, dass die Mindestbeschickungslast in horizontaler Richtung eine Stoßlast darstellt, die aufgrund falscher Bedienung entstanden ist.

Eine zufällige Überlastung ist in Betracht zu ziehen (siehe 6.4), braucht aber nicht gleichzeitig mit der horizontalen Last berücksichtigt zu werden.

6.3.4.2 Auswirkungen der Betriebsarten

Folgende Betriebsarten sind zur Ermittlung der horizontalen Beschickungslast anzuwenden.

- a) Wenn die Waren mittels manuell bedienter mechanischer Einrichtungen eingelagert werden (z. B. Gabelstapler) gilt:
- 1) für Regale bis zu 3 m Höhe, ist Q_{ph} eine Last von 0,5 kN, die an jeder Höhe bis zum oberen Regalende angelegt wird;
 - 2) für Regale mit einer Höhe über 6 m ist Q_{ph} der ungünstigste Fall einer Last von entweder 0,25 kN am Regalkopf angelegt, oder eine Last von 0,5 kN an jeder Höhe bis zu 3 m angelegt;
 - 3) für Regale mit Höhen zwischen 3 m und 6 m ist Q_{ph} der schlechteste Fall aus zwei Möglichkeiten: eine Last am Regalkopf, dessen Größe von einer linearen Interpolation zwischen (1) und (2) bestimmt wird, oder eine Last von 0,5 kN an jeder Höhe bis zu 3 m.
- b) Wenn die Waren mittels automatisch gesteuerten Regalfördergeräten eingelagert werden, ist Q_{ph} vom Lieferant des Gerätes festzulegen. Sie darf jedoch nie weniger als 0,25 kN betragen.

- c) Wenn Palettensicherungen eingesetzt werden, muss klar festgelegt werden, ob diese Durchschubsicherungen oder Palettenanschlge sind und die Bemessungslast Q_{ph} vom Verfasser der Spezifikation eindeutig definiert werden. Bei manuell bedienten mechanischen Einrichtungen muss diese einen Mindestwert von $0,25 Q_U$ in der Ebene des Ständerrahmens betragen, wobei Q_U das Gewicht der Ladeeinheit ist.

Die Einwirkungen auf Palettenanschlge und Übergabe- und bernahmepunkte mit Positioniervorrichtungen sind als veränderliche Einwirkungen, aber auf Durchschubsicherungen als zufällige Einwirkungen zu betrachten. Die Einwirkungen aus diesen beiden Einrichtungen sind mit den entsprechenden Belastungsfaktoren anzuwenden.

ANMERKUNG 1 Palettenanschlge sind unerwünscht, denn sie fördern den Missbrauch. Sie werden unter Umständen für verstellbare Palettenregale vorgeschrieben, um dem Fahrer bei der Positionierung zu helfen. Die Größenordnung der Kräfte, die aus diesen Vorgängen entstehen, sind jedoch hoch und sehr schwierig zu quantifizieren.

ANMERKUNG 2 Um die Anforderungen aus EN 528 zu erfüllen, können gegebenenfalls Durchschubsicherungen für automatische Systeme (Regale für Regalförderzeuge) vorgeschrieben werden.

- d) Bei der Auslegung folgender Regalbauteile, die in der unmittelbaren Nähe der Palettensicherung sind, ist Q_{ph} , wie oben angegeben, zu berücksichtigen. Diese Wirkungen sind ausschließlich Lokalauswirkungen.
- 1) Die eigentliche Palettensicherung.
 - 2) Die Verbindung der Palettensicherung mit dem beteiligten Regalbauteil (Träger oder Stütze).
 - 3) Der Teil der Stütze, mit dem die Palettensicherung bzw. der Träger, an dem die Palettensicherung angeschlossen ist, unmittelbar verbunden ist.
 - 4) Die Aussteifung des Ständerrahmens in der unmittelbaren Nähe dieses Sttzenteils.

Aufgrund von Dämpfungs- und Ausbreitungsauswirkungen darf ein verminderter Wert für Q_{ph} wie folgt betrachtet werden:

$Q_{ph} = 0,1 Q_U$ für die Rahmenverankerungsauslegung. Hier wird angenommen, dass die Stütze mit Q_{ph} auf einen Rahmen in der höchsten Position entlastet wird;

$Q_{ph} = 0,1 Q_U$ für die Gesamtauslegung des Rahmens (Aussteifung und Stütze) und Q_{ph} , einwirkend auf einen Rahmen in der obersten Palettenposition.

- e) Bei manueller Einlagerung.

$$Q_{ph} = 0,25 \text{ kN}$$

6.3.4.3 Ansatz horizontaler Beschickungslasten in Ganglängsrichtung

In der Ganglängsrichtung entsteht die horizontale Beschickungslast nur an den Trägerebenen und verstärkt die durch Rahmenimperfektionen verursachte Verschiebung des höchsten Punktes in Ganglängsrichtung.

Zur Vermeidung unnötiger Belastungsfälle darf die Punktlast Q_{ph} durch eine gleichmäßig über alle Trägerebenen verteilte Gesamtlast von $2 Q_{ph}$ ersetzt werden.

6.3.4.4 Ansatz horizontaler Beschickungslasten in Gangquerrichtung

In Gangquerrichtung ist die ungünstigste Stelle für die Beschickungslast als eine der folgenden Möglichkeiten einzusetzen:

- a) am obersten Punkt des Rahmens, um die Kräfte der Aussteifung zu maximieren, oder am Mittelpunkt zwischen zwei Verstrebungsknoten des Rahmenverbands, um das Biegemoment in Gangquerrichtung zu maximieren. Für diesen Fall liegt die kritische Stelle der Last im Allgemeinen im untersten Teil der Stütze zwischen den Verstrebungspunkten. Falls der Abstand der Verstrebungen nicht gleichmäßig ist, sind andere Stellen auch zu überprüfen.

ANMERKUNG Um die Bemessungs-Biegemomente zu bestimmen, ist es nicht notwendig, eine Gesamtsystemanalyse des gesamten Rahmens durchzuführen. Es ist ausreichend, positive und negative Biegemomente der Größe $Q_{ph} l/6$ hinzuzufügen.

- b) am Spannmittelpunkt eines Trägers in der horizontalen Ebene, um das größte Biegemoment der kleinsten Achse zu bewirken. Dieser Fall braucht nicht in die Gesamtsystemanalyse der Gangquerrichtung einbezogen werden. Hierbei kann angenommen werden, dass eine Belastung von $0,5 Q_{ph}$ durch einen einzigen Träger in der horizontalen Ebene durch die neutrale Achse getragen wird. Es ist zulässig, Wechselwirkungen mit der vertikalen Last, die Q_{ph} verursacht, zu vernachlässigen.

Falls die Anlage für den Fall ausgelegt ist, dass die Lasten in ihren Platz gerollt oder geschoben werden, sind die dabei entstehenden Beschickungslasten Q_{ph} festzustellen und bei der Bemessung zu berücksichtigen.

6.3.5 Auswirkungen von regalgeführten Geräten

Bei Anlagen, die durch regalgeführte RFZs bedient werden, sinkt mit ansteigender Anzahl der Förderzeuge die Wahrscheinlichkeit, dass sämtliche Fahrzeuge gleichzeitig horizontale Lasten in der gleichen Richtung und an der gleichen Stelle im Regal ausüben. Demzufolge, wenn die Rahmen oberhalb des Gangs miteinander verbunden sind, muss die gesamte Horizontalkraft $Q_{h,t}$ in der Höhe der Führungsschiene den in Tabelle 1 angegebenen Wert betragen.

Tabelle 1 — Gesamtheit der horizontalen Einwirkungen in Höhe der Führungsschienen

Anzahl RFZ	$Q_{h,t}$
1 oder 2	ΣQ_h
3	$0,85 \Sigma Q_h$
4	$0,70 \Sigma Q_h$
≥ 5	$3 Q_h$
Dabei ist	
Q_h	die maximale festgelegte Seitenstützungslast je RFZ ;
$Q_{h,t}$	die verminderte Summe (Σ) der Q_h -Kräfte, die an der oberen Führungsschiene wirken. Diese ist an einem Stabelement befestigt, das sämtliche Rahmen verbindet, siehe Bild 10.

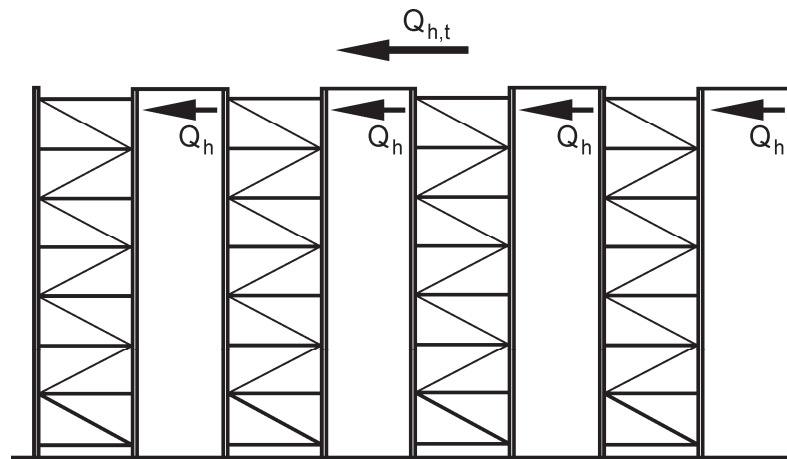


Bild 10 — Horizontallasten von regalgeführtem Bediengerät

Falls die horizontale Last Q_h als Ergebnis einer exzentrischen, einseitigen, an die RFZ-Schiene angelegten Kraft festgelegt wird, sind die in Tabelle 1 angegebenen Werte nicht anzuwenden.

$Q_{h,t}$ muss für die ungünstigste Anordnung der RFZ berechnet werden. Sie darf jedoch auf mehrere Rahmen in der Ganglängsrichtung durch horizontale Verstrebung verteilt werden.

Die horizontale Last von regalgeführten Bediengeräten und die Beschickungslast sind gleichzeitig zu berücksichtigen, wenn dies den ungünstigsten Fall bildet.

Wenn eine Anlage regalgeführte Geräte RFZ beinhaltet, die über das Ende des Regals hinausfahren bzw. auf kurvenförmigen Schienen fahren, müssen Empfehlungen des Herstellers über die vom Regal aufzunehmenden Horizontalkräfte eingeholt werden.

Wenn ein Regalbediengerät benutzt wird, sind außergewöhnliche Kräfte, die entstehen, wenn ein Regalbediengerät eine Kurve bei Sollgeschwindigkeit durchläuft, zu berücksichtigen.

Außergewöhnliche Stoßkräfte in der Ganglängsrichtung, die aus einem Aufprall des RFZ gegen einen regalmontierten Puffer resultieren (falls zutreffend), müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

6.3.6 Bühnen- und Laufgangbelastungen (siehe auch EN 1991-1-1)

Folgende verteilte oder Punktlasten (der weniger günstige Fall wird genommen) sind für die Auslegung von Bühnen und Laufgängen einzusetzen.

- a) Auf Bühnen und Laufgängen, die nur als Zugangswege dienen und nicht breiter als 1,2 m sind.

$$q = 2,5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{verteilte Last})$$

$$Q_f = 2,0 \text{ kN} \quad (\text{Punktlast auf einem Quadrat von } 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm})$$

Die oben genannten Lasten stellen die Sollbelastung für die örtlichen Bemessung der Träger und Stützen dar. Die Gesamtlast auf die Konstruktion darf auf $q = 1,0 \text{ kN/m}^2$ für die Verifizierung der Gesamtstabilität eingesetzt werden.

- b) Auf Treppen und Bühnen von mehr als 1,2 m Breite oder die für Lagerung vorgesehen sind oder auf denen Handwagen laufen können.

$$q = 3,5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{verteilte Last})$$

$$Q_f = 3,0 \text{ kN} \quad (\text{Punktlast auf einem Quadrat von } 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \text{ verteilt})$$

- c) Auf Treppen mit einer Breite unter 1,2 m

$$q = 3,0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{verteilte Last})$$

$$Q_f = 3,0 \text{ kN} \quad (\text{Punktlast auf einem Quadrat von } 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \text{ verteilt})$$

Auf Treppen mit einer Breite über 1,2 m

$$q = 3,5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{verteilte Last})$$

$$Q_f = 3,0 \text{ kN} \quad (\text{Punktlast auf einem Quadrat von } 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \text{ verteilt})$$

- d) Dort, wo Transporteinrichtungen dynamische Kräfte auf die Konstruktion ausüben, sind solche Auswirkungen als quasistatische Einwirkungen mit dem entsprechenden Belastungsfaktor zu berücksichtigen, siehe EN 1991-1-1, 6.3. Um zwischen den effektiven senkrechten Radlasten der verschiedenen Geräte zu unterscheiden, sind die entsprechenden statischen Kräfte mit folgenden dynamischen Faktoren zu multiplizieren:

- | | |
|---|-----|
| 1) Wagen mit Gehlenkung und einer Geschwindigkeit unter 5 km/h: | 1,2 |
| 2) Wagen mit Fahrer an Bord und einer Geschwindigkeit unter 7,5 km/h: | 1,4 |
| 3) Wagen mit Fahrer an Bord und einer Geschwindigkeit unter 10 km/h: | 2,0 |

Die Punktlast muss auf die ungünstigste Stelle angelegt werden.

Bei Bühnen und Laufgängen braucht etwaige Schachbrettbelastung nicht berücksichtigt zu werden.

Die Auswirkungen von horizontalen Kräften, die von den Einrichtungen auf die Konstruktion ausgeübt werden, und wie diese Kräfte von der Konstruktion aufgenommen werden, sind ausreichend in Erwägung zu ziehen.

Wenn die Belastungen aus gelagerter Ware oder vom Boden getragenen Regalsystemen die oben angegebenen Werte überschreiten, muss die tatsächliche Belastung eingesetzt werden. Die von den Ständerahmen ausgeübten Punktlasten bedürfen der besonderen Aufmerksamkeit.

ANMERKUNG 1 Nationale Verordnungen verlangen gegebenenfalls andere Werte für Bühnen- und Laufganglasten.

ANMERKUNG 2 Bühnen- und Laufgangflächen werden oft für inoffizielle Lagerung benutzt. Die in 6.3.6 angegebenen Werte sollten deshalb als Mindestsolllasten betrachtet werden. Auf Flächen mit überdurchschnittlichen Durchgangshöhen sollte der Einsatz von höheren Solllasten als angegeben in Erwägung gezogen werden.

6.3.7 Einwirkungen, die aus Montagevorgängen entstehen

In Fällen, wo die Montageanleitung den Einsatz von Auffanggurten für die Monteure vorsieht, sind geeignete Zurrpunkte vorzusehen, die in der Lage sind, einen Sturz aufzufangen. Im Falle eines Sturzes ist eine bleibende Verformung der Bauteile möglich.

6.4 Einwirkungen aus Stoßlasten (außergewöhnliche Lasten)

6.4.1 Allgemeines

Es wird angenommen, dass die in 6.3 festgelegten Nutzlasten und Beschickungslasten eine ausreichende Berücksichtigung gewöhnlicher Stoßbedingungen beinhalten. Die Statik muss solche Anwendungen und Lasten berücksichtigen, die ungewöhnliche Schwingungen oder dynamische Kräfte mit sich bringen.

Stöße gegen die Stützen, die von Staplern oder sonstigen beweglichen Geräten verursacht sind, müssen durch entsprechende Fahrerausbildung und Sicherheitsmaßnahmen vermieden werden. Die Mindestanforderungen zum Schutz der Eckstützen sind wie folgt:

- a) ein Stützenschutz mit einer Mindesthöhe von 400 mm muss an der Endstütze einer jeden Regalzeile zwischen den Quergängen angeordnet werden;
- b) ein Stützenschutz muss an den Stützen angeordnet werden, die sich an sämtlichen Kreuzungen von Regalgängen und anderen Gängen befinden;
- c) der Stützenschutz muss für eine Energieaufnahme von mindestens 400 N · m in jeder Richtung bei einer Höhe zwischen 0,10 m und 0,40 m ausgelegt werden;
- d) der Stützenschutz muss so angeordnet sein, dass nach seiner vom Stoß verursachten Verformung die Stütze nicht beschädigt wird;
- e) die Auslegung vom Regalschutz kann theoretisch betrieben werden. Als Alternative sind Prüfungen zwecks Annahme durchzuführen. Prüfungen sind auf der Grundlage einer Masse durchzuführen, die auf den Regalschutz fällt bzw. gegen den Schutz geschwenkt wird, um die geforderte Energieaufnahme von 400 N · m zu erzeugen.

ANMERKUNG 1 Andere Stützen als Eckstützen können in einer Richtung senkrecht zum Gang nach Wahl des Benutzers geschützt werden.

ANMERKUNG 2 Bei Regalen, die von mechanisch geführtem Fördermittel bedient werden, ist es gegebenenfalls nicht erforderlich, die Stützen zu schützen.

ANMERKUNG 3 Als Alternative zur Verwendung von Stützenschutzvorrichtungen kann die Anlage so ausgelegt werden, dass sie auch dann ihre Stabilität behält, wenn bei einer einzigen Stütze der untere Bereich vollkommen entfernt wird.

ANMERKUNG 4 Außergewöhnliche Einwirkungen von Gabelstaplern sind in EN 1991-1-7 angegeben. Bei Flurförderzeugen mit der Auslegung, den Freiräumen und der Betriebsweise nach EN 15620 und EN 15635 gelten solche Einwirkungen gegebenenfalls nicht.

6.4.2 Außergewöhnliche vertikale Einwirkungen

Regalbauteile direkt oberhalb einer Ladeeinheit müssen so ausgelegt werden, dass sie eine außergewöhnliche vertikale Kraft A_{pv} aufnehmen können. Im Allgemeinen ist diese Kraft am Ende eines Trägers anzusetzen, um zu prüfen, dass sich die Verbindungslasche nicht von der Stütze löst. Nach oben gerichtete Beschickungslasten sind außergewöhnliche veränderliche Einwirkungen. Diese sind mit einem Belastungsfaktor γ_A nach 7.4 zu berücksichtigen.

- a) Wenn die Waren mittels manuell bedienter mechanischer Einrichtungen eingelagert werden (z. B. Gabelstapler)

$$A_{pv} = 5,0 \text{ kN}$$

- b) Wenn die Waren mittels automatisch bedienter mechanischer Einrichtungen eingelagert werden (z. B. Regalförderzeuge, Regalbediengeräte)

$$A_{pv} = 0,5 Q_u$$

$$\text{aber } A_{pv} \geq 0,25 \text{ kN}$$

$$\text{und } A_{pv} \leq 5,0 \text{ kN}$$

worin Q_u das Gewicht der Ladeinheit ist.

Die Anforderungen für nach oben gerichtete Beschickungslasten sind durch Berechnung oder durch Versuche nach A.2.6 zu verifizieren.

6.4.3 Außergewöhnliche horizontale Last

Eine außergewöhnliche Überlastung in horizontaler Richtung ist wie folgt zu berücksichtigen:

- a) Wenn die Waren mittels manuell bedienter mechanischer Einrichtungen eingelagert aber nicht geführt werden (z. B. Gabelstapler):

Vom Boden bis zu 0,4 m Höhe, an der Stütze an der Gangseite:

$$\text{— } A_{ph} = 2,5 \text{ kN in Gangquerrichtung;}$$

$$\text{— } A_{ph} = 1,25 \text{ kN in Ganglängsrichtung.}$$

Diese Lasten sind so zu behandeln, als ob sie getrennt auftreten. Eine Abweichung von den Anforderungen von EN 1991-1-7 in Bezug auf Gabelstapler ist zulässig, falls die Betriebsbedingungen diese Abweichung rechtfertigen. Siehe auch EN 15635.

ANMERKUNG Die oben erwähnte außergewöhnliche Überbelastung kann von der Stütze selbst getragen werden oder es kann notwendig sein, dass jede Stütze verstärkt oder mit einem Schutz versehen werden muss.

- b) Wenn die Waren mit automatischen Geräten (z. B. Regalförderzeuge bzw. -bediengeräte) oder mit manuell geführten Fördermitteln (z. B. Schmalganggeräten) eingelagert werden:

$$\text{— } A_{ph} = 0,5 \text{ kN entweder in Ganglängs- oder Gangquerrichtung (außergewöhnliche Überbelastung).}$$

ANMERKUNG Der festgelegte Wert von A_{ph} kann bei bestimmten Gerätetypen nicht annehmbar sein. Die einzusetzende Maschine sollte überprüft und bestätigt werden (d. h. während einer Störung kann sich die Last bis zu einem gewissen Wert erhöhen, bis die Kupplung rutscht).

6.5 Windlasten

Wo zutreffend, sind Windlasten nach den entsprechenden nationalen Bestimmungen zu ermitteln.

Wenn ein Regal einer Windlast ausgesetzt ist, sind die Abschirmungseffekte völlig oder teilweise beladener Regale, die auf der Windseite des betroffenen Regals angeordnet sind, zu ignorieren. Jede einzelne Regalzeile (zwischen nebenstehenden Gängen) muss daher so ausgelegt werden, dass sie den vollen Winddruck, den Windsog und den Windreibungskräften standhält.

Im Falle einer verkleideten Regalanlage brauchen die montierten Zeilen keiner größeren Windlast standzuhalten als die Windlast, die für die ganze Anlage berechnet wurde.

Das völlig oder teilweise bestückte Regal ist als undurchlässig für Wind in den bestückten Bereichen zu betrachten, es sei denn, die Wirkung von Durchlässigkeit kann quantifiziert werden.

ANMERKUNG Bei der Ermittlung der Durchbiegungsgrenzwerte für das richtige Funktionieren automatischer Einrichtungen kann ein niedrigerer Windbelastungswert angewandt werden, wenn dieser von dem Lieferanten der Einrichtung festgelegt ist.

6.6 Schneelasten

Wo zutreffend, sind Schneelasten nach den entsprechenden nationalen Verordnungen zu ermitteln.

6.7 Erdbebeneinwirkungen

Wo zutreffend, sind Erdbebeneinwirkungen nach den entsprechenden nationalen Verordnungen zu ermitteln.

7 Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsregeln

7.1 Allgemeines

Das Gewicht sämtlicher Ladeeinheiten und Gesamtregalimperfektionen bildet eine Einzeleinwirkung. Beschickungslasten bilden eine separate Einwirkung.

Gesamtimperfektionen und Beschickungslasten sind in nur einer Richtung gleichzeitig zu kombinieren. Es ist nicht erforderlich, die Kombination von Imperfektionen oder Beschickungslasten in einer Richtung, mit Imperfektionen oder Beschickungslasten in der anderen orthogonalen Richtung gleichzeitig zu berücksichtigen.

7.2 Kombinationen von Einwirkungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Sollwerte von Einwirkungen sind nach folgenden Regeln zu kombinieren, wobei der höchste Wert genommen wird:

- bei Berücksichtigung von nur der ungünstigsten veränderlichen Einwirkung

$$\sum \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1} \quad (6)$$

- bei Berücksichtigung sämtlicher ungünstigen veränderlichen Einwirkungen, die gleichzeitig vorkommen können

$$\sum \gamma_G G_k + 0,9 \sum_{i \geq 1} \gamma_Q Q_{k,i} \quad (7)$$

- Auslegung für außergewöhnliche Einwirkungen

$$\sum \gamma_{GA} G_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{QA} \cdot Q_{k,i} + \gamma_A \cdot A_k \quad (8)$$

Dabei ist

G_k	der charakteristische Wert einer ständigen Einwirkung (Totlast);
$Q_{k,1}$	der charakteristische Wert einer der veränderlichen Lasten;
$Q_{k,i}$	der charakteristische Wert einer typischen veränderlichen Last;
A_k	der charakteristische Wert einer außergewöhnlichen Last;
γ_G	der Teilsfaktor für ständige Lasten;
γ_Q	der Teilsfaktor für veränderliche Lasten;
γ_A	der Teilsfaktor für außergewöhnliche Lasten.

7.3 Kombination von Einwirkungen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Sollwerte von Einwirkungen sind unter Anwendung der in EN 1990 angegebenen Kombinationsfaktoren ψ_0 zu kombinieren. Im Falle von Palettenregalen dürfen die vereinfachten Kombinationsregeln (5), (6) und (7) angewandt werden, wobei der höchste Wert genommen wird:

bei Berücksichtigung von nur der ungünstigsten veränderlichen Einwirkung

$$\sum \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1} \quad (9)$$

bei Berücksichtigung aller ungünstigen veränderlichen Einwirkungen

$$\sum \gamma_G G_k + 0,9\gamma_Q \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} \quad (10)$$

mit den in 7.2 festgelegten Bezeichnungen.

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit brauchen die Beschickungslasten nicht berücksichtigt zu werden.

ANMERKUNG 1 Das Gewicht der Ladeeinheiten variiert bis zu einem Höchstwert, der für die Bemessung eingesetzt wird. Der Verfasser der Spezifikation sollte einen Bemessungswert für das Gewicht der Ladeeinheit festlegen (bzw. unterschiedliche Werte des Gewichts der Ladeeinheit für den Ständerrahmen und/oder die Gesamtanalyse in Ganglängsrichtung), der nicht überschritten wird, siehe EN 15629. Dies kann dazu führen, dass die Bemessungsgewichte konservativ festgelegt werden, was den 0,9 Kombinationsfaktor für Lastenkombinationen rechtfertigt.

ANMERKUNG 2 Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass die einzulagernde Ware zuzüglich der Gesamtimperfectionen die Einwirkung mit der größten Auswirkung darstellt, es sei denn, es herrschen ungewöhnliche Bedingungen.

7.4 Belastungsfaktoren

Die Belastungsfaktoren γ_f sind in Tabelle 2 angegeben.

ANMERKUNG Nationale Vorschriften können andere Belastungsfaktoren erfordern.

Tabelle 2 — Belastungsfaktoren γ_f

Einwirkungen	Grenzzustand der Tragfähigkeit	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
Ständige Lasten γ_G		
— mit ungünstiger Auswirkung	1,3	1,0
— mit günstiger Auswirkung	1,0	1,0
Veränderliche Einwirkungen γ_Q		
Ladeeinheiten	1,4	1,0
Ladeeinheiten in RFZ-Systemen	1,4 oder 1,3 ¹⁾	1,0
Beschickungslasten	1,4	1,0
Sonstige Nutzlasten	1,5	1,0
Außergewöhnliche Einwirkungen		
γ_A	1,0	
γ_{GA}	1,0	
γ_{QA}	1,0	
¹⁾ Gilt für ein Lagersystem mit RFZ, einschließlich dem Wiegen sämtlicher Ladeeinheiten und die Rückweisung aller Ladeeinheiten, die mehr als die Solllast des Regals wiegen. Der Belastungsfaktor für Ladeeinheiten kann von 1,4 auf 1,3 reduziert werden.		
ANMERKUNG Die statistische Unbestimmtheit bezüglich der Größe der Ladeeinheiten ist erheblich geringer als diejenige für die herkömmlichen veränderlichen Einwirkungen im Bau (Wind, Schnee, Deckenbelastung usw.). Außerdem übt der Benutzer einen hohen Grad der Kontrolle über den Betrieb des Systems aus. Demzufolge liegt der Belastungsfaktor für Ladeeinheiten zwischen dem für sonstige Nutzlasten und dem für ständige Einwirkungen. Die Hauptunbestimmtheit bei der lastabhängigen Leistung eines Palettenregals liegt in der Wechselwirkung mit den Beschickungseinrichtungen. Es wird erachtet, dass diese Wirkungen korrekterweise in den außergewöhnlichen Lasten und Beschickungslasten eingebunden sind, welche das wahrscheinliche Ergebnis von fachgerechter Praxis darstellen (siehe 6.3).		

7.5 Materialfaktoren

Die Belastungsfaktoren γ_M für die Verifizierungen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Materialsischerheitsfaktoren γ_M

Widerstand	Grenzzustand der Tragfähigkeit	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
Widerstand der Profile	1,0	1,0
Widerstand der Anschlüsse	1,25	1,0
Widerstand der Anschlüsse, die Prüf- und Qualitätskontrollen unterliegen (z. B. Verbindungslaschen), siehe Anhang A	1,1	1,0

7.6 Stabilität gegen Kippen

Unter Verwendung eines Belastungsfaktors entsprechend des Grenzzustandes der Tragfähigkeit muss sichergestellt werden, dass das leere Regal während der Beschickung mit einer einzigen horizontalen Beschickungslast an der ungünstigsten Stelle stabil bleibt.

Die horizontale Beschickungslast muss vom Eigengewicht des Regals und den Bodenankerungen getragen werden können.

Bei jedem Rahmen sind die Fußplatten im rechten Winkel zu den Stützen am Boden so zu befestigen, dass die Stützen über die gesamte Fläche der Fußplatte getragen werden. Hierbei ist auch das notwendige Unterlegmaterial oder der notwendige Vergussmörtel einzusetzen. Das Unterlegmaterial muss aus Stahl sein und darf sich nicht relativ zur Fußplatte verschieben lassen.

7.7 An der Gebäudekonstruktion abgestützte Regale

Wenn Regale an der Gebäudekonstruktion verankert sind, können die beiden Konstruktionen Kräfte aufeinander ausüben. Diese Kräfte müssen berechnet werden und der Besitzer des Gebäudes bzw. sein Vertreter muss über diese Kräfte und ihre Anordnung informiert werden.

8 Stahl

8.1 Allgemeines

8.1.1 Vorüberlegungen

Als charakteristische Werte für die Herstellung von Palettenregalen aus Stahl sind die in diesem Abschnitt angegebenen Nennwerte der Materialeigenschaften in den Auslegungsberechnungen anzuwenden. Wo angebracht, müssen die Stähle für Kaltformen, Schweißen und Verzinkung geeignet sein.

Festgelegte Stähle nach EN 1993-1-1:2005, Tabelle 3.1, und EN 1993-1-3:2006, 3.1a und 3.1b, deren Eigenschaften und chemische Zusammensetzung mit den entsprechenden Normen übereinstimmen, erfüllen die Anforderungen dieses Abschnitts.

Andere Stähle dürfen eingesetzt werden vorausgesetzt, dass

- a) ihre Eigenschaften und chemische Zusammensetzung den Stählen, deren Normen in EN 1993-1-1:2005, Tabelle 3.1, und EN 1993-1-3: 2006, 3.1, aufgeführt sind, mindestens gleichwertig sind.
- b) wenn der Stahl zum Kaltumformen vorgesehen ist, er die Anforderungen der in A.1.2 beschriebenen Biegeprüfung erfüllt, und das Verhältnis charakteristische Mindestzugfestigkeit zur charakteristischen Mindeststreckgrenze die Gleichung $f_u/f_y \geq 1,05$ erfüllt, wobei f_y , f_u die charakteristische Streckgrenze bzw. die Zugfestigkeit des Grundmaterials ist.

ANMERKUNG 1 Das Mindestverhältnis in 8.1.1 weicht von dem in EN 1993-1-1 ab, ist jedoch für Regalprodukte annehmbar.

ANMERKUNG 2 Siehe Anhang D zu Untersuchungen über die Anwendung von Materialien mit einem knappen Verhältnis von f_u und f_y .

8.1.2 Materialeigenschaften

Der Nennwert der Streckgrenze f_y und Zugfestigkeit f_u für Baustahl ist wie folgt zu ermitteln:

- a) entweder durch Übernahme der Werte $f_y = R_{eh}$ und $f_u = R_m$ direkt aus der entsprechenden Produktnorm;
- b) oder durch Anwendung der in 8.1.5 angegebenen Vereinfachung;
- c) oder durch Anwendung des Prüfverfahrens in 8.1.4.

8.1.3 Bemessungsmaterialkoeffizienten (allgemeine mechanische Eigenschaften)

Der Bemessung sind folgende Stahleigenschaften zugrunde zu legen:

- a) Elastizitätsmodul $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$
- b) Schermodul $G = E/[2(1+\nu)]\text{ N/mm}^2$
- c) Poissonscher Beiwert $\nu = 0,3$
- d) lineare Wärmedehnungszahl $\alpha = 12 \times 10^{-6}\text{ je } ^\circ\text{C}$
- e) Dichte $\rho = 7\,850\text{ kg/m}^3$

8.1.4 Stahltypen ohne garantierte mechanische Eigenschaften

8.1.4.1 Allgemeines

Für Stähle in dieser Kategorie kann eine Testreihe von Zugversuchen durchgeführt werden, um die einzusetzenden Werte zu bestätigen, oder ein niedriger Wert der Streckgrenze darf eingesetzt werden.

8.1.4.2 Zusatzprüfungen für Stahl

Die mechanischen Eigenschaften des Grundmaterials müssen durch Zugversuche nach A.1.1 gemessen werden. Die Versuchsergebnisse von Zugversuchen müssen einer statistischen Kontrolle unterzogen werden, siehe 13.3.3.

Bei folgenden Prüfverfahren für Coils muss die Mindestprüfungsfrequenz wie unten angegeben sein:

- a) Versuche zur Feststellung der garantierten mechanischen Mindesteigenschaften des in der Produktion verwendeten Stahls;
- b) Rechtfertigung der Anwendung einer höheren Streckspannung als der garantierte Wert;
- c) um ausreichende Verformbarkeit vorzuweisen.

Von jedem Originalcoil (nach dem Spalten und der Kaltreduzierung, falls Kaltreduzierung Bestandteil des Prozesses ist) muss mindestens ein Versuch durchgeführt werden. Die Prüfstücke müssen in der Längsrichtung aus der Mitte des Bandes nahe dem Coilende entnommen werden.

Die Ergebnisse der mechanischen Versuche sind nach 13.3.3 statistisch zu analysieren, damit die charakteristischen Werte der Streckgrenze oder der Zugfestigkeit des Materials für Auslegungszwecke abgeleitet werden können. Dort, wo mindestens 100 Versuchsergebnisse über einen längeren Zeitraum zusammengetragen wurden, werden diejenigen, welche die 100 Stück überschreiten und die älter als 1 Jahr sind, aus der Analyse ausgelassen (siehe Anhang A).

Für Bleche und Profile sind die in 8.1.5 angegebenen mechanischen Eigenschaften für nichtspezifizierte Stahltypen anzuwenden.

8.1.5 Ungeprüfte Stähle

Falls die Klasse nicht spezifiziert ist bzw. das Grundmaterial nicht für eine Prüfung zur Verfügung steht, sind folgende Werte für f_{yb} anzunehmen:

warmgewalzte Profile	200 N/mm ²
sonstige Stahlbleche	140 N/mm ²

8.2 Durchschnittsstreckgrenze von Profilen

Falls gefordert, ist der Durchschnittswert der Bemessungsfestigkeit (f_{ya}) für Stabelemente nach EN 1993-1-3 zu bestimmen.

8.3 Spezielle Auswahl von Produktionsmaterial

Dort, wo ein Coil Material für eine bestimmte Anwendung, ausgenommen Prüfmateriale, speziell ausgewählt ist und die anzuwendende Bemessungsfestigkeit höher liegt als die Nennbemessungsfestigkeit für dieses Material, darf der Höchstwert der Bemessungsfestigkeit 90 % des im Prüfbericht des Coils angegebenen Wertes nicht überschritten werden.

8.4 Bruchzähigkeit

Für Stähle mit einer Dicke unter 6 mm ist es zulässig davon auszugehen, dass bei Temperaturen bis zu -35 °C keine Gefahr für nicht schmelztauchveredeltes Stahlblech nach dieser Spezifikation von Bruchzähigkeit besteht.

Bei ungeprüften Stählen nach 8.1.5 reduziert sich die Dickenbegrenzung von 6 mm auf 2 mm.

ANMERKUNG Weitere Hinweise hierzu sind in EN 1993-1-10 aufgeführt.

8.5 Maßtoleranzen

8.5.1 Allgemeines

Die Toleranzen von Querschnitten und Stabelementen sind nach EN 10162 einzuhalten.

Die Maß- und Massentoleranzen von Walzprofilen, Konstruktionshohlprofilen und Konstruktionsblechen müssen die Anforderungen der entsprechenden Produktnorm erfüllen, es sei denn, strengere Toleranzen sind angegeben.

Für die Konstruktionsanalyse und -auslegung sind die Nennwerte der Maße anzuwenden.

8.5.2 Materialdicke

Sofern nicht anders festgelegt, beschränken sich die Bemessungsregeln in diesem Dokument auf folgende Kerndicken t_c , ausschließlich Beschichtungen, wobei

$$0,5 \leq t_c \leq 8,0 \text{ mm}$$

Die Verwendung von dünneren Materialien wird nicht ausgeschlossen, aber in diesem Fall muss die Tragfähigkeit durch geeignete Versuche ermittelt werden. Sollten Bauteile mit dickeren Stählen eingesetzt werden, sind sie nach EN 1993-1-1 auszulegen. Auslegungsausdrücke für Fußplatten (siehe 9.9) dürfen mit einer Dicke von mehr als 8 mm angewendet werden.

8.5.3 Dickentoleranzen

Die Bemessungsregeln für kaltgeformte Stabelemente wurden auf der Grundlage von Dickentoleranzen entwickelt, die die Hälfte der in EN 10326:2004 als normal bezeichneten Toleranzen ausmachen. Falls größere Toleranzen verwendet werden, müssen die Nennwerte so berichtigt werden, dass eine gleichwertige Zuverlässigkeit erhalten bleibt (siehe EN 1993-1-3).

Bei kontinuierlich feuerverzinktem Material mit einer Nenndicke von $\leq 1,5$ mm, das mit den beschränkten Sondertoleranzen von EN 10143 geliefert wird, wird die Bemessungsdicke t als gleich der Nennkerndicke t_c angenommen.

Bei kontinuierlich feuerverzinktem Stahlblech und -band nach EN 10147 ist die Kerndicke t_c nach den Angaben in EN 1993-1-3 einzuhalten.

ANMERKUNG Die Gesamtdicke der Zinkschutzschicht beträgt üblicherweise 0,04 mm bei 275 g/m².

8.5.4 Breite und Tiefe eines kaltgeformten Profils

Die Breite und Tiefe der Flächenelemente eines Profils müssen die Anforderungen nach Tabellen 4 und 5 erfüllen.

Tabelle 4 — Toleranzen der Breite b_0 von ausgesteiften, flachen Elementen — Maße in mm

Dicke t	$b_0 \leq 50$	$50 < b_0 \leq 100$	$100 < b_0 \leq 220$
$t < 3,0$	$\pm 0,75$	$\pm 1,00$	$\pm 1,00$
$3,0 \leq t < 5,0$	$\pm 1,00$	$\pm 1,00$	$\pm 1,25$
$5,0 \leq t \leq 8,0$	$\pm 1,00$	$\pm 1,25$	$\pm 1,50$

Tabelle 5 — Toleranzen der Breite b_0 von nicht ausgesteiften, flachen Elementen — Maße in mm

Dicke t	$b_0 \leq 40$	$40 < b_0 \leq 80$	$80 < b_0 \leq 120$
$t < 3,0$	$\pm 1,20$	$\pm 1,50$	$\pm 1,50$
$3,0 \leq t < 5,0$	$\pm 1,50$	$\pm 1,50$	$\pm 2,00$
$5,0 \leq t \leq 8,0$	$\pm 2,00$	$\pm 2,00$	$\pm 2,00$

8.5.5 Geradheit der Stabelemente

Der Anfangswert der maximalen Linearitätsabweichung bezogen auf die beiden Enden muss geringer sein als 1/400 der Länge des Stabelements.

8.5.6 Verwindung

Die Vorverwindung eines montierten Stabelements muss für symmetrische Profile weniger als 1° je m und für asymmetrische Profile weniger als 1,5° je m betragen.

8.5.7 Toleranzen in Bezug auf Auslegung und Montage

8.5.7.1 Allgemeines

Sämtliche Toleranzen sind für den Zustand definiert, wo die Anlage montiert und das Lagersystem noch nicht in Betrieb genommen wurde. Die Verformung im belasteten Zustand ist die gemessene Verformung nach Anlegen der ersten Nutzlast.

8.5.7.2 Lot

Die maximale Lotabweichung einer jeden Stütze in irgendeiner Richtung darf die Höhe/350, gemessen in nicht beladenem Zustand sofort nach der Montage, nicht überschreiten.

Falls der Konstrukteur eine Anfangsschiefstellung vorschreibt, muss das Montageverfahren kontrolliert werden, um nachzuweisen, dass die Bemessungsannahmen in der Praxis erzielt werden.

ANMERKUNG Die maximale Schiefstellung ist eine Rahmenimperfection, welche die Auslegung beeinflusst.

8.6 Verstrebungsexzentrizitäten

Wenn die Exzentrizitäten zwischen Systemlinien die nachstehenden Werte überschreiten, sind sie in der Gesamtsystemanalyse aufzunehmen, und die daraus folgenden Sekundärmomente in der Auslegung der Bauteile einzubeziehen.

Die Auswirkungen von Verstrebungsexzentrizitäten können vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden.

- a) Der Schnittpunkt der Mittellinien eines horizontalen Stabelements und einer Diagonale liegt innerhalb eines senkrechten Maßes „ e “, das gleich dem Maß von der Hälfte der Stützenbreite „ b “ ist (siehe Bild 11 a)).
- b) Die Exzentrizität „ g_1 “ beträgt nicht mehr als 2,0-mal die Stützbreite und „ g_2 “ nicht mehr als 1,5-mal die Stütztiefe, siehe Bild 11 b). Wo die Träger als horizontale Stabelemente verwendet werden, ist der Schnittpunkt als Kreuzpunkt der Mittellinie einer Diagonale und der oberen oder unteren Steglinie einzusetzen.

ANMERKUNG 1 Der Neigungswinkel der Diagonalen zur Waagerechten sollte fachgemäß zwischen 20° und 70° liegen.

ANMERKUNG 2 Falls 8.6 eine Gesamtsystemanalyse einschließlich Exzentrizitäten in Gangquerrichtung erfordert, sind die Füße als gelenkig zu betrachten, es sei denn, dass die Steifigkeit des Fußes durch einen Versuch nach A.2.7 ermittelt wird.