

DIN EN 15512

ICS 53.080

Ersatz für
DIN EN 15512:2010-09**Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl –
Verstellbare Palettenregale –
Grundlagen der statischen Bemessung;
Deutsche Fassung EN 15512:2020**

Steel static storage systems –
Adjustable pallet racking systems –
Principles for structural design;
German version EN 15512:2020

Systèmes de stockage en acier –
Systèmes de rayonnages à palettes réglables –
Principes applicables au calcul des structures;
Version allemande EN 15512:2020

Gesamtumfang 181 Seiten

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

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist 2021-06-01.

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 15512:2020) 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).

Die in den Literaturhinweisen aufgeführten FEM-Dokumente können bei der VDMA Verlag GmbH, www.vdmashop.de oder unter verlag@vdma.org bestellt werden.

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 15512:2010-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Aufbau der Norm wurde vollständig überarbeitet;
- b) die normativen Verweisungen und Literaturhinweise wurden aktualisiert;
- c) die Inhalte wurden redaktionell überarbeitet;
- d) im Anhang A wurde eine Prüfung zu Wechselwirkungen zwischen Moment und Scherkraft der Trägeranschlusslaschen aufgenommen;
- e) neue Anhänge C „Korrektur der Biegemomente und Durchbiegung von Trägern aufgrund des Spiels“, D „Rahmenspiel“, E „Widerstand von Druckstäben nach EN 1993-1-1 und -3“, F „Leitlinien zur Bestimmung der kritischen Länge für die Prüfung des Beulens in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform“, G „Werte der äquivalenten Querschnitte“, H „Leitlinien zur Modellierung der Rückenverstrebung in ausgesteiften Palettenregalen“, I „Kaltgewalzter Stahl“, J „Systeme mit zufälliger Einlagerung“, L „Trägerstabilität – einschließlich ineinandergreifende C-Profile“, O „Bitumenböden“ und P „Typisches Belastungsmuster bei einer gleichmäßigen Regalauslegung“ wurden aufgenommen;
- f) im Anhang N „A-Abweichungen“ wurden die Abweichungen für Deutschland gestrichen und für Italien aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN EN 15512: 2010-09

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 8. Juni 2020 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	8
Einleitung	9
0.1 Regale.....	9
0.2 Bedarf an EN-Normen für Regale in Ergänzung zu den Eurocodes	9
0.3 Zusammenarbeit.....	9
0.4 Regale und Arbeitsmittelvorschriften	9
0.5 Weitere, speziell für EN 15512 anzuwendende Informationen	10
1 Anwendungsbereich.....	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe	12
4 Symbole	17
5 Annahmen und Konventionen.....	20
5.1 Allgemeines	20
5.2 Lot.....	20
5.3 Definition der Achse des Stabelements	20
6 Auslegungsgrundlagen	21
6.1 Anforderungen	21
6.1.1 Grundlegende Anforderungen.....	21
6.1.2 Bemessungslebensdauer	21
6.1.3 Anforderungen an Palettenregale.....	21
6.2 Grundsätzliches zur Auslegung mit Grenzzuständen.....	21
6.2.1 Allgemeines	21
6.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit	21
6.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	22
6.3 Einwirkungen.....	22
6.3.1 Allgemeines	22
6.3.2 Permanente Einwirkungen	22
6.3.3 Veränderliche Einwirkungen.....	22
6.3.4 Außergewöhnliche Einwirkungen	30
6.4 Kombination von Einwirkungen.....	31
6.4.1 Allgemeines	31
6.4.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit	32
6.4.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	32
6.5 Teilsicherheitsfaktoren.....	33
6.5.1 Belastungsfaktoren.....	33
6.5.2 Materialfaktoren.....	34
7 Materialien.....	34
7.1 Stahl	34
7.1.1 Allgemeines	34
7.1.2 Materialeigenschaften	35
7.1.3 Stahltypen ohne garantierte mechanische Eigenschaften	35
7.1.4 Ungeprüfte Stähle	36
7.1.5 Durchschnittsstreckgrenze von Profilen.....	36
7.1.6 Spezielle Auswahl von Produktionsmaterial	36

7.1.7	Bruchzähigkeit	36
7.1.8	Maßtoleranzen	37
7.2	Bodenmaterialien.....	38
7.2.1	Betonböden	38
7.2.2	Bitumenböden	38
7.2.3	Sonstige Bodenmaterialien.....	38
8	Dauerhaftigkeit	38
9	Konstruktionsanalyse.....	39
9.1	Strukturmodellierung zur Analyse	39
9.1.1	Strukturmodellierung zur Analyse und Grundvoraussetzung	39
9.1.2	Anschlussmodellierung.....	39
9.1.3	Wechselbeziehung von Tragwerk und Boden	42
9.1.4	An der Gebäudekonstruktion abgestützte Regale.....	45
9.2	Gesamtsystemanalyse.....	45
9.2.1	Auswirkungen deformierter Geometrie der Konstruktion	45
9.2.2	Analyseverfahren	46
9.2.3	Strukturstabilität von Rahmen	47
9.3	Imperfektionen	52
9.3.1	Allgemeines	52
9.3.2	Gesamtimperfektionen	52
9.3.3	Örtliche Aussteifungsimperfektionen	54
9.3.4	Bauteilimperfektionen.....	55
10	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	56
10.1	Widerstand der Profile und Stabelemente	56
10.1.1	Allgemeines	56
10.1.2	Querschnittswerte	56
10.1.3	Druckstäbe	57
10.1.4	Biegestäbe	59
10.1.5	Zugelemente.....	60
10.2	Auslegung von Trägern	61
10.2.1	Allgemeines	61
10.2.2	Auswirkungen der Wechselwirkung zwischen Ladeinheit und Träger	61
10.2.3	Spielkorrektur	63
10.2.4	Bemessungswert des plastischen Widerstands	63
10.2.5	Knicklänge von Trägern in ausgesteiften Palettenregalen.....	63
10.2.6	Träger, die Biegung und Torsion ausgesetzt sind	64
10.2.7	Träger, die von Verformung beeinflusst werden.....	65
10.3	Auslegung von Stützen.....	65
10.3.1	Allgemeines	65
10.3.2	Knickkurven.....	65
10.3.3	Biegeknicklänge.....	65
10.3.4	Drillknicklänge.....	68
10.4	Auslegung der Rahmenaussteifung	70
10.4.1	Allgemeines	70
10.4.2	Robustheit.....	70
10.4.3	Knicklänge der Rahmenaussteifung.....	71
10.5	Auslegung der Reihen-Abstandhalter.....	72
11	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	73
11.1	Allgemeines	73
11.2	Träger	73
11.3	Träger von Laufgängen oder von Regalen abgestützten Bühnen	73
12	Bemessung von Anschlüssen.....	73
12.1	Allgemeines	73

12.2	Auslegung von Trägeranschlusslaschen	73
12.2.1	Bemessungswerte von Widerstandsmoment und Scherwiderstand	73
12.2.2	Kombination von Moment und Scherkraft.....	73
12.2.3	Umgekehrtes Moment.....	74
12.3	Auslegung von Trägersicherungselementen.....	74
12.4	Auslegung von Stoßlaschen	74
12.5	Auslegung von Fußplatten	75
12.5.1	Allgemeines	75
12.5.2	Druck.....	75
12.5.3	Spannung.....	76
12.6	Auslegung der Fußverdübelung.....	76
12.6.1	Allgemeines	76
12.6.2	Robustheit.....	76
13	Bemessung durch Prüfung	76
13.1	Allgemeines	76
13.2	Anforderungen an Prüfungen	77
13.2.1	Ausrüstung.....	77
13.2.2	Auflagebedingungen.....	78
13.2.3	Ansetzen der Lasten	78
13.2.4	Laststufen	78
13.2.5	Prüfmaterialien.....	78
13.2.6	Zusammenstellen von Prüfstücken	78
13.2.7	Prüfberichte.....	78
13.3	Beurteilung der Prüfergebnisse.....	79
13.3.1	Definition der Versagenslast.....	79
13.3.2	Anpassung der Prüfergebnisse.....	79
13.3.3	Ableitung von charakteristischen Werten	82
13.3.4	Charakteristische Werte für eine Prüfserie.....	83
13.3.5	Interpolation zwischen Prüfergebnissen	84
14	Kennzeichnung und Beschilderung — Kennzeichnung der Leistung von Regalanlagen.....	84
Anhang A (normativ)	Prüfung.....	85
A.1	Materialprüfungen.....	85
A.1.1	Zugprüfungen.....	85
A.1.1.1	Allgemeines.....	85
A.1.1.2	Zugprüfung von Trägeranschlüssen.....	85
A.1.2	Biegeprüfungen.....	85
A.2	Prüfungen an Bauteilen.....	86
A.2.1	Druckprüfung am kurzen Stützenstück	86
A.2.1.1	Zweck der Prüfung	86
A.2.1.2	Prüfanordnung und -verfahren	86
A.2.1.3	Korrekturen an den Beobachtungen	87
A.2.1.4	Ableitung der Ergebnisse	88
A.2.2	Druckprüfungen an Stützen — Prüfung des Einflusses von Beulen mit Veränderung der Querschnittsform	88
A.2.2.1	Zweck der Prüfung	88
A.2.2.2	Prüfanordnung und -verfahren	88
A.2.2.3	Korrekturen an den Beobachtungen	89
A.2.2.4	Ableitung der Prüfergebnisse	89
A.2.3	Druckprüfungen an (langen) Stützen — Ermittlung von Knicklängen.....	91
A.2.3.1	Zweck der Prüfung	91
A.2.3.2	Prüfaufbau.....	91
A.2.3.3	Prüfverfahren.....	92
A.2.3.4	Korrekturen an den Beobachtungen	93
A.2.3.5	Ableitung der Stützenkurve	93

A.2.4	Schubsteifigkeitsprüfungen am Rahmen.....	94
A.2.4.1	Zweck der Prüfungen	94
A.2.4.2	Verfahren A, Beaufschlagung des Rahmens in Längsrichtung.....	94
A.2.4.2.1	Prüfaufbau.....	94
A.2.4.2.2	Prüfverfahren.....	96
A.2.4.2.3	Korrekturen an den Beobachtungen.....	96
A.2.4.2.4	Ableitung der Ergebnisse.....	96
A.2.4.3	Alternatives Verfahren „B“ mittels umkehrbarer Scherbelastung an einem Rahmen in Gangquerrichtung	97
A.2.4.3.1	Allgemeines.....	97
A.2.4.3.2	Prüfaufbau.....	97
A.2.4.3.3	Prüfverfahren.....	99
A.2.4.3.4	Korrekturen an den Beobachtungen.....	99
A.2.4.3.5	Ableitung der Ergebnisse.....	99
A.2.5	Biegeprüfungen an Stützenprofilen	100
A.2.5.1	Zweck der Prüfung	100
A.2.5.2	Prüfaufbau.....	100
A.2.5.3	Prüfverfahren.....	102
A.2.5.4	Korrekturen an den Beobachtungen.....	102
A.2.5.5	Ableitung der Ergebnisse.....	102
A.2.6	Biegeprüfungen an Trägern	102
A.2.6.1	Zweck der Prüfung	102
A.2.6.2	Prüfaufbau.....	102
A.2.6.3	Prüfverfahren.....	104
A.2.6.4	Korrekturen an den Beobachtungen.....	104
A.2.6.5	Ableitung der Ergebnisse.....	104
A.3	Prüfungen an Anschlüssen.....	105
A.3.1	Biegeprüfungen an Trägeranschlüssen	105
A.3.1.1	Zweck der Prüfung	105
A.3.1.2	Prüfaufbau.....	105
A.3.1.3	Prüfverfahren.....	107
A.3.1.4	Korrekturen an den Beobachtungen.....	107
A.3.1.5	Ableiten von Ergebnissen und Verfahren zur Definition der Kurven.....	108
A.3.1.5.1	Verfahren 1:.....	108
A.3.1.5.2	Verfahren 2:.....	108
A.3.1.5.3	Allgemeines.....	108
A.3.1.5.4	Verfahren zur Ableitung einer bilinearen Kurve.....	109
A.3.1.5.5	Verfahren zur Ableitung einer multilinearen Kurve.....	110
A.3.2	Ermittlung des Anschlussspiels an einer Anschlusslasche	111
A.3.2.1	Zweck der Prüfung	111
A.3.2.2	Alternative Prüfanordnung „A“ mittels doppelwirkendem Lastgeber	111
A.3.2.2.1	Allgemeines.....	111
A.3.2.2.2	Prüfverfahren.....	111
A.3.2.2.3	Korrekturen an den Beobachtungen.....	112
A.3.2.2.4	Ableitung von Ergebnissen.....	112
A.3.2.3	Alternative „B“ mittels zweier Kragträger und einer zentralen Stütze	112
A.3.2.3.1	Prüfaufbau.....	112
A.3.2.3.2	Prüfverfahren.....	113
A.3.2.3.3	Korrekturen an den Beobachtungen.....	114
A.3.2.3.4	Ableitung von Ergebnissen.....	114
A.3.3	Scherprüfungen an Trägeranschlusslaschen und Sicherungselementen.....	114
A.3.3.1	Zweck der Prüfung	114
A.3.3.2	Prüfaufbau.....	114
A.3.3.3	Prüfverfahren.....	116
A.3.3.4	Korrekturen an den Beobachtungen.....	116

A.3.3.5	Ableitung der Ergebnisse	116
A.3.4	Prüfung der Wechselwirkungen zwischen Moment und Scherkraft an Trägeranschlusslaschen	116
A.3.4.1	Zweck der Prüfung	116
A.3.4.2	Prüfaufbau	116
A.3.4.3	Prüfverfahren	116
A.3.4.4	Korrekturen an den Beobachtungen	116
A.3.4.5	Ableitung des Biege- und Scherwiderstands	116
A.3.4.6	Ableitung der Wechselwirkungskurve zwischen Moment und Scherkraft	117
A.3.4.7	Verallgemeinertes Verhältnis zwischen Moment und Scherkraft	117
A.3.5	Prüfung von Bodenanschlüssen	118
A.3.5.1	Zweck der Prüfung	118
A.3.5.2	Wiederverwendung von Betonblöcken	118
A.3.5.3	Alternative „A“ mittels zweier Stützenlängen mit zentralem Betonblock	118
A.3.5.3.1	Prüfaufbau	118
A.3.5.3.2	Prüfverfahren	120
A.3.5.4	Alternative B mittels einzelner Stützenprofilstück und einem Endbetonblock	121
A.3.5.4.1	Prüfaufbau	121
A.3.5.4.2	Prüfverfahren	122
A.3.5.5	Korrekturen an den Beobachtungen	123
A.3.5.6	Ableitung der Ergebnisse	123
A.3.6	Prüfung an Stützenstößen	124
A.3.6.1	Zweck der Prüfung	124
A.3.6.2	Prüfaufbau	124
A.3.6.3	Prüfverfahren	125
A.3.6.4	Korrektur der Beobachtungen	125
A.3.6.5	Ableitung der Ergebnisse	125
	Anhang B (informativ) Näherungsverfahren	126
B.1	Allgemeines	126
B.2	Näherungsberechnung der Stabilität in Ganglängsrichtung — Methode der verstärkten Verschiebung	126
B.2.1	Allgemeines	126
B.2.2	Verstärkungsfaktor	127
B.2.3	Lineare elastische Berechnung	127
B.2.4	Kritischer elastischer Wert	128
B.3	Näherungsberechnung eines gleichmäßigen Lagerregals in Ganglängsrichtung	128
B.3.1	Näherungsgleichung für regelmäßige Konstruktionen	128
B.3.2	Zusätzliche Biegemomente aufgrund von Schachbrettbelastung	130
B.3.3	Bemessungsbiegemomente	131
B.3.4	Bemessungslast in den Außenstützen	132
B.4	Näherungsberechnung der Stabilität in Gangquerrichtung	132
B.4.1	Allgemeines	132
B.4.2	Allgemeines Knicken der Rahmen	132
B.4.3	Schersteifigkeit des Ständerrahmens	133
B.4.4	Multiplikationsfaktor β	133
B.5	Näherungsbemessung für symmetrisch belastete Träger	137
B.5.1	Biegemoment an der Spannmitte	137
B.5.2	Durchbiegung	138
B.5.3	Scherkraft	138
B.5.4	Trägeranschlusslasche	139
B.5.5	Äquivalente Trägerlasten	139
	Anhang C (informativ) Korrektur der Biegemomente und Durchbiegung von Trägern aufgrund des Spiels	141
	Anhang D (informativ) Rahmenspiel	143

D.1	Allgemeines	143
D.2	Rahmenaussteifungstypen.....	143
D.3	Spiel	144
Anhang E (normativ) Widerstand von Druckstäben nach EN 1993-1-1 und -3.....		146
E.1	Verifikation von Querschnitten	146
E.2	Bemessungstragfähigkeit in Bezug auf Biegeknicken	146
E.2.1	Allgemeines	146
E.2.2	Knickkurven.....	147
E.3	Bemessungswiderstand bezogen auf Drill- und Biegedrillknicken.....	148
E.4	Kombinierte Biegung und Längsbelastung.....	149
E.4.1	Allgemeines	149
E.4.2	Biegung und Längsdruck — Widerstand von Profilen.....	149
E.4.3	Biegung und Längsdruck — Knickwiderstand von Stabelementen.....	149
E.4.4	Biegung und Zuglast	152
Anhang F (informativ) Leitlinien zur Bestimmung der kritischen Länge für die Prüfung des Beulens in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform		153
F.1	Einleitung	153
F.2	Länge in Relation zu den Endbedingungen im Prüfaufbau	153
F.3	Verfahren zur Bestimmung der kritischen Länge des Beulens in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform.....	154
F.3.1	Schritt 1	154
F.3.2	Schritt 2	154
F.3.3	Schritt 3	156
F.3.4	Schritt 4	156
F.3.5	Schritt 5	156
F.3.6	Schritt 6	157
Anhang G (informativ) Werte der äquivalenten Querschnitte		158
Anhang H (informativ) Leitlinien zur Modellierung der Rückenverstrebung in aussteiften Palettenregalen		161
Anhang I (informativ) Kaltgewalzter Stahl		168
Anhang J (informativ) Systeme mit zufälliger Einlagerung		169
Anhang K (informativ) Positions-Ungenauigkeiten		170
Anhang L (informativ) Trägerstabilität — einschließlich ineinandergreifende „C“-Profile.....		171
L.1	Allgemeines	171
L.2	Ungefähre Grenzwerte	171
Anhang M (informativ) Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)		172
M.1	Allgemeines	172
M.2	Prüfhäufigkeit.....	172
M.3	Biegeprüfungen an Trägeranschlüssen	172
M.4	Biegeprüfungen.....	172
Anhang N (informativ) A-Abweichungen.....		173
Anhang O (informativ) Bitumenböden.....		175
Anhang P (informativ) Typisches Belastungsmuster bei einer gleichmäßigen Regalauslegung		176
Literaturhinweise.....		178

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 15512:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 344 „Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2021, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2021 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 15512:2009.

Im Vergleich zu EN 15512:2009 wurde die allgemeine Struktur des Dokuments aktualisiert, um mehr dem Eurocode zu entsprechen, mehrere Abschnitte wurden dem aktuellen Stand der Normen und FEM-Empfehlungen angepasst, und es wurden alternative Optionen für Prüfaufbauten hinzugefügt. Eine probabilistische Zuverlässigkeitsuntersuchung wurde durchgeführt, um zu überprüfen, ob die reduzierten Belastungsfaktoren den Grundsätzen des Eurocodes entsprechen, was zu geringfügigen Anpassungen der Materialfaktoren führte.

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

Einleitung

0.1 Regale

Regalsysteme sind tragende Konstruktionen zur Einlagerung von Gütern in Lagern. Die zu lagernden Güter sind gewöhnlich auf Paletten oder in Gitterboxen untergebracht.

Regale werden aus Bauteilen aus Stahl, einschließlich Rahmen und Träger, konstruiert. Zur Bildung eines dreidimensionalen, gegen Verschiebung aussteiften Rahmentragwerks aus Stahl werden Sonderverbindungen zwischen Träger und Stützen eingesetzt. Zwischen den Regalzeilen werden Gänge gebildet, die den Zugang von Kommissionierern, Gabelstaplern oder Regalförderzeugen zu den Lagerplätzen ermöglichen. Obwohl standardisierte Bauteile eingesetzt werden, gilt die Standardisierung der Teile 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 in Ergänzung zu den Eurocodes

Aufgrund der Unterschiede in der Form der Bauteile, Konstruktionseinzelheiten und Anschlüsse sind zusätzliche Informationen zu den Eurocodes erforderlich, um dem Konstrukteur dieses Produkts 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 zu Spezifikation, Konstruktion, Montageverfahren, Aufstellgenauigkeit und Leitlinien zur sicheren Benutzung von ortsfesten Regalsystemen aus Stahl zur Verfügung zu stellen.

Dies und die Notwendigkeit für gemeinsame Konstruktionsbestimmungen waren die Gründe, dass die 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.

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 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 ist dazu vorgesehen, zusammen mit EN 15620, EN 15629 und EN 15635 angewendet zu 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 der Normenreihe EN 1993 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten vorgesehen.

EN 15512 ist für den Gebrauch vorgesehen durch

- Konstrukteure und Hersteller;
- zuständige Behörden.

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

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument 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.

Dieses Dokument dient als Leitlinie zur statischen Bemessung von Gebäuden aus verkleideten Regalen, im Falle, dass deren Anforderungen nicht von der Normenreihe EN 1993 abgedeckt sind. Die Anforderungen dieses Dokuments gelten auch für Zusatzeinrichtungen, bei denen Regalbauteile als wichtiges Hauptbauteil eingesetzt sind.

Dieses Dokument deckt keine anderen generischen Arten von Lagerstrukturen ab. Dieses Dokument gilt ausdrücklich nicht für Verschieberegalsysteme, Einfahr- und Durchfahrregale, Paletten-Einfahr- und -Durchlaufregale, Einschubregale, Shuttle-Systeme, Systeme, die aus zwei oder mehr RFZ (Regalförderzeugen) bestehen, welche übereinander im selben Gang arbeiten sowie Kragarmregale oder statische Regalsysteme aus Stahl.

Zur spezifischen Auslegung von verstellbaren Palettenregalen zur Verwendung in Erdbebengebieten ist dieses Dokument in Kombination mit EN 16681 zu verwenden.

2 Normative Verweisungen

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

EN 1090-4, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Stahl und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

EN 1992-4, *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 4: Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton*

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 — Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche*

EN 1993-1-8:2005, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*

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*

EN 16681, *Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl — Verstellbare Palettenregale — Leitsätze für die erdbebensichere Bemessung*

EN ISO 6892-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur* (ISO 6892-1)

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 15878 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1
außergewöhnliche Einwirkung
Einwirkung von üblicherweise 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
Charge
Materialmenge mit denselben Materialeigenschaften, von einem Lieferanten zu einem Zeitpunkt produziert

3.4
Träger
waagerechtes Bauteil, das nebeneinanderstehende Rahmen verbindet und in der horizontalen Ebene parallel zum Arbeitsgang des Regals liegt

3.5
Trägeranschlusslasche
verbindendes Element, das an den Träger angeschraubt, angeschweißt, anderweitig verbunden 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 ein Fach einer Regalkonstruktion von einer Seite geladen werden kann

3.7
Doppelregal
mit Reihen-Abstandhaltern 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

Beschickungslast

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

3.10

quasi-starr

konzeptioneller Begriff, der eine volle Steifigkeit der Bodenplatte annimmt

3.11

Einfachregal

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

Verschiebung

horizontale Verschiebung einer Konstruktion ohne etwaige Anfangsschiefstellung

3.14

Knicklänge

Länge des an beiden Enden gelenkig gelagerten Druckstabes, der die gleiche ideale Verzweigungslast hat wie der Druckstab mit seinen realen Lagerungsbedingungen im System

3.15

Systemlänge

Abstand innerhalb einer bestimmten Ebene zwischen zwei benachbarten Punkten, an welchen ein Träger in dieser Ebene gegen eine seitliche Verschiebung und/oder Torsion ausgesteift ist oder zwischen einem solchen Punkt und dem Ende des Trägers

3.16

Bemessungslebensdauer

angenommene Zeitspanne, während der ein Tragwerk oder ein Teil davon für den vorgesehenen Zweck bei der erwarteten Instandhaltung genutzt werden kann

3.17

Ladeinheit

einzelnen gelagerter Gegenstand, der in einem Arbeitsgang abgesetzt oder entnommen werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: z. B. eine Palette oder ein Behälter mit Waren in einem Regalsystem.

3.18

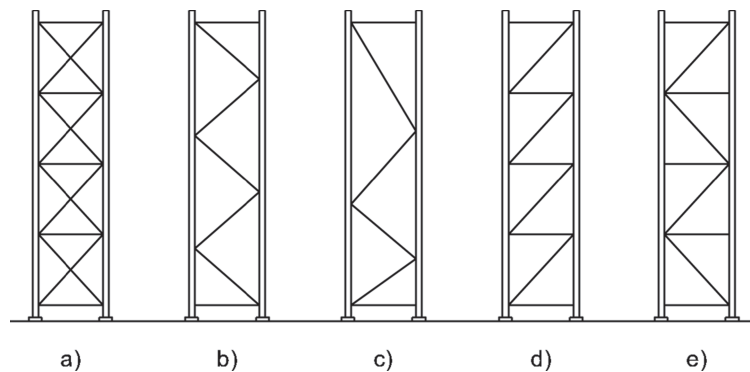
nicht ausgesteiftes Element

Teil des Querschnitts, der entlang nur einer Längskante mit dem Rest des Profils verbunden ist

3.19

Ständerrahmen

zwei oder mehrere Stützen, die durch Aussteifungselemente miteinander verbunden und mit Fußplatten ausgestattet sind, vorgesehen zur Aufnahme der Lastauflageebenen und zur Stabilisierung in Gangquerrichtung (siehe Bild 1)



Legende

- a) „mit Zugkraft ausgesteifter“ Rahmen
- b) ausgesteifter Rahmen „D“-Form, gleichmäßig
- c) ausgesteifter Rahmen „D“-Form, ungleichmäßig
- d) ausgesteifter Rahmen „Z“-Form
- e) ausgesteifter Rahmen „K“-Form

Bild 1 — Typische Formen von Ständerrahmen

3.20

gelochtes Profil

Element mit in der Länge gleichmäßig verteilten Mehrfachlochungen

3.21

effektive Querschnittswerte

Werte für die Festigkeit unter Berücksichtigung der Wirkungen von Lochungen, örtlich und in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform und Auswirkungen des Kaltumformens

3.22

äquivalente Querschnittswerte

Eigenschaften für die Steifheit unter Berücksichtigung der Lochung

3.23

gleichmäßiges Regal

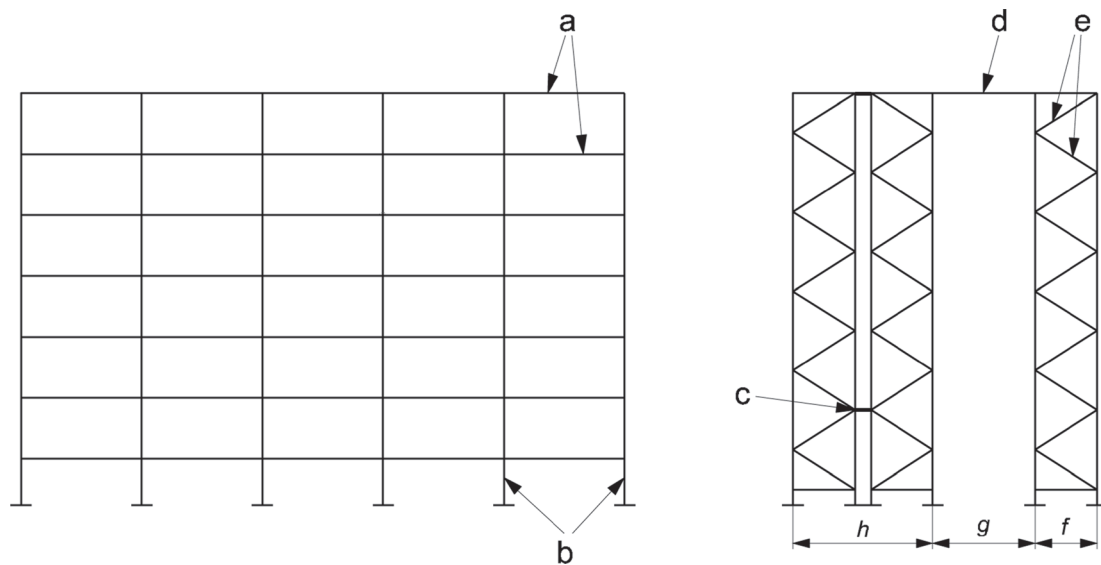
Regal mit Bauteilen (Träger, Stützen usw.) des gleichen Typs und mit gleicher Länge und gleichem vertikalen Abstand

Anmerkung 1 zum Begriff: Regal, bei dem sich der Abstand vom Boden bis zur ersten Trägerebene vom Rest unterscheidet, darf als gleichmäßig angesehen werden.

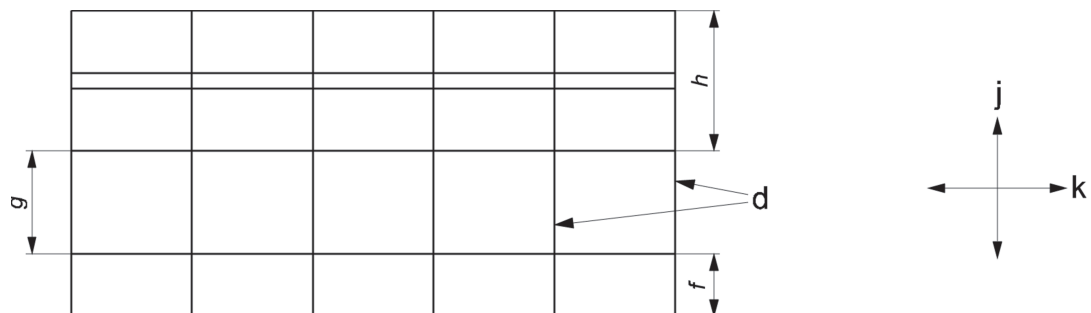
3.24

Regalsysteme ohne Aussteifungsverbände

Regal, bei dem die Stabilität in Ganglängsrichtung durch die Einspannwirkung der Trägeranschlusslaschen erzielt wird und nicht durch Rückenverstreben (siehe Bild 2)



a) Seitenansicht



b) Draufsicht

Legende

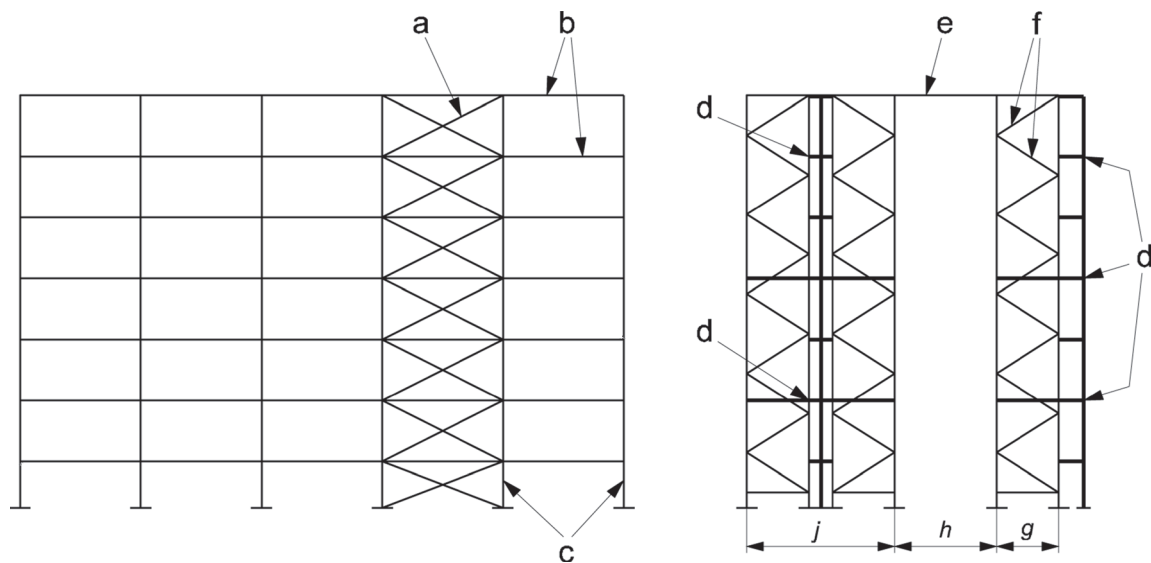
- a Träger
- b Ständerrahmen
- c Reihen-Abstandhalter
- d obere Querverbindung (nach Bedarf)
- e Rahmenaussteifung
- f Einfachregal
- g Gang
- h Doppelregal
- j Gangquerrichtung
- k Ganglängsrichtung

Bild 2 — Beispiel einer Palettenregalkonstruktion ohne Aussteifungsverbände

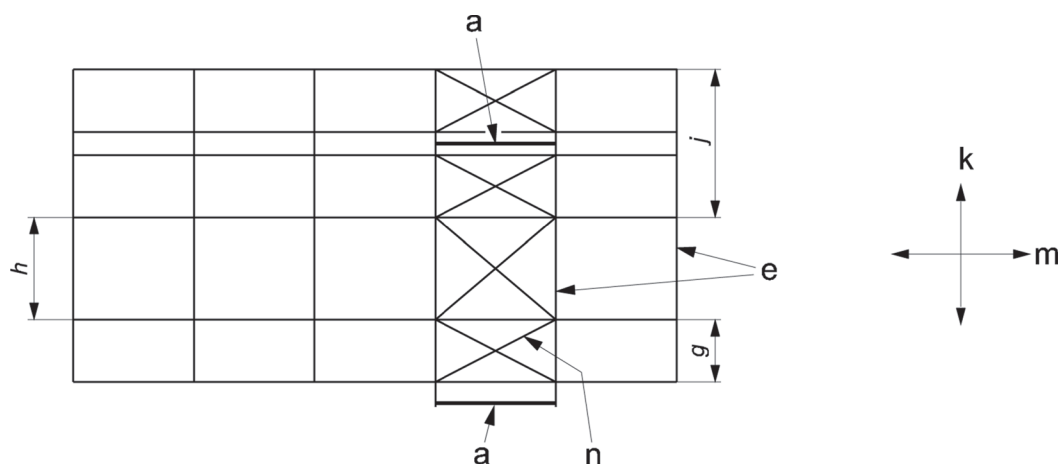
3.25

Regalsysteme mit Aussteifungsverbänden

Regal, bei dem die Stabilität in Ganglängsrichtung durch Rückenverstreibungen und Horizontalverbände erzielt wird (siehe Bild 3)



a) Seitenansicht



b) Draufsicht

Legende

- a Rückenverstrebung
- b Träger
- c Ständerrahmen
- d Aussteifungshalterungen
- e obere Querverbindungen (nach Bedarf)
- f Rahmenaussteifung
- g Einfachregal
- h Gang
- i Horizontalverband
- j Doppelregal
- k Gangquerrichtung
- m Ganglängsrichtung

Bild 3 — Beispiel einer Palettenregalkonstruktion mit Aussteifungsverbänden

4 Symbole

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

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

Ein Symbol und Index kann in diesem Dokument für mehrere Bedeutungen benutzt werden.

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

A	außergewöhnliche Einwirkung
A	Querschnittsfläche
A_{eff}	effektive Querschnittsfläche, für kontinuierlich gelochte Stützen $A_{\text{eff}} = \min \{ A_{\text{eff,lb}}; A_{\text{eff,db}} \}$
$A_{\text{eff,lb}}$	effektive Fläche der Stütze, die nur Auswirkungen der örtlichen Beulen enthält, wie sie aus der Druckprüfung am kurzen Stützenstück erhalten wurden
$A_{\text{eff,db}}$	effektive Fläche der Stütze, einschließlich Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform, wie sie bei der Druckprüfung an der Stütze erhalten wurden
A_g	Bruttoquerschnittsfläche
A_{eq}	äquivalente Querschnittsfläche unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Lochungen (nur auf Steifigkeit)
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	Etagenhöhe
I	Flächenträgheitsmoment

I_T	St Venant-Torsionskonstante
$I_{T,eq}$	äquivalente St Venant-Torsionskonstante unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Lochungen
I_{eq}	Flächenträgheitsmoment des äquivalenten Querschnitts
I_w	Verwölbungskonstante
$I_{w,eq}$	äquivalente Verwölbungskonstante unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Lochungen
i	Trägheitsradius
i_0	polarer Trägheitsradius
K	effektiver Längenfaktor
k_d	Steifheit der Träger/Stützen-Verbindung
k_s	Koeffizient bezogen auf Anzahl der Versuche
L	Spannweite
l	Länge
ℓ	effektive Länge bzw. Knicklänge
M	Biegemoment
N	Längskraft
n	Anzahl der Versuche
n_c	Anzahl Stützen in Ganglängsrichtung in einer Regalzeile
n_s	Anzahl Trägerebenen
Q	veränderliche Last
Q_f	konzentrierte Last auf Fußboden
Q_h	maximale vorgeschriebene horizontale Last je RFZ
Q_{ph}	horizontale Beschickungslasten
Q_{bh}	Palettensicherungslast
Q_{pv}	vertikale Beschickungslasten
Q_u	Gewicht der Ladeeinheit
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_{cor}	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	linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
α	Berichtigungsfaktor für Streckgrenze
α	Imperfektionsfaktor
β	Trägerkoeffizient
β	Berichtigungsfaktor für Dicke
β	Verstärkungsfaktor für Effekte II. Ordnung
γ	Teilsicherheitsfaktor
γ_A	Teilfaktor für außergewöhnliche Lasten
γ_f	Belastungsfaktor
γ_G	Teilfaktor für ständige Lasten
γ_M	Materialfaktor
γ_{M0}	Teilfaktor für Widerstand der Profile, unabhängig von der Klasse
γ_{M1}	Teilfaktor für Widerstand der Stabelemente gegenüber Instabilitäten entsprechend Stabelementnachweisen
γ_{M2}	Teilfaktor für Widerstand der Profile gegenüber Zugbruch
γ_Q	Teilfaktor für veränderliche Lasten
δ	Durchbiegung
θ	Verdrehung
λ	Schlankheitsgrad
$\bar{\lambda}$	dimensionsloser Schlankheitsgrad
ν	Poissonscher Beiwert
ρ	Dichte
ϕ	Vorverdrehung
ϕ_0	Anfangsschiefstellung
$\phi_{\ell, BEC}$	Spiel der Trägeranschlusslasche
$\phi_{\ell, fr}$	Spiel des Rahmens
χ	Spannungsverminderungsfaktor

Indizes

b	knicken
c	Druck, Tragfähigkeit
cr	kritisch
d	Bemessungs..., Auslegungs...
db	Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform
g	brutto...
i	Prüfnummer
k	charakteristisch
LT	Biegedrill...
m	Mittelwert
n	korrigierter Wert
Rd	Bemessungswiderstand
Ed	Sollwert von Einwirkungen
ser	Gebrauchs...
T	Torsions...
TF	Drill- und Biegedrill...
TFB	Biegedrillknicken
t	empirischer Wert eines Versuchs

5 Annahmen und Konventionen

5.1 Allgemeines

Die folgenden Annahmen gelten zusätzlich zu den Annahmen aus EN 1990.

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 als die gemessene Verformung nach Anlegen der ersten Nutzlast anzunehmen.

5.2 Lot

Die maximale Lotabweichung einer jeden Stütze in irgendeiner Richtung sollte die in EN 15620 aufgeführten Werte im nicht beladenen Zustand sofort nach der Montage nicht überschreiten.

Falls der Konstrukteur eine Anfangsschiefstellung vorschreibt, welche von EN 15620 abweicht, 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.

5.3 Definition der Achse des Stabelements

Siehe EN 1993-1-1.

6 Auslegungsgrundlagen

6.1 Anforderungen

6.1.1 Grundlegende Anforderungen

Die Bemessungen und Konstruktion muss den in Abschnitt 2 festgelegten Eurocodes entsprechen, sofern in dieser Norm nicht anders angegeben.

6.1.2 Bemessungslebensdauer

Zur Ermittlung der Lasten muss eine Bemessungslebensdauer von mindestens zehn Jahren angenommen werden, sofern nicht anders festgelegt. Dieses sollte jedoch nicht als eine etwaige Garantie der tatsächlichen Lebensdauer des Regals gesehen werden.

ANMERKUNG Die Lebensdauer der meisten Regalsysteme wird durch Abnutzung und Schäden während des Betriebs oder durch Korrosion bestimmt. Verschleiß und Schäden 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 jegliche Schäden repariert werden. Siehe auch EN 15629 und EN 15635.

6.1.3 Anforderungen an Palettenregale

Die Bemessung und Konstruktion müssen auf der Grundlage der Projektspezifikation in Übereinstimmung mit EN 15629, der in EN 15620 angegebenen Montagetoleranzen und der in EN 15635 beschriebenen Betriebspraxis durchgeführt werden.

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

6.2 Grundsätzliches zur Auslegung mit Grenzzuständen

6.2.1 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 im Anhang B dargestellt).

6.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS, en: ultimate limit state) entspricht der maximalen Tragfähigkeit und muss üblicherweise durch einen der folgenden Fälle gekennzeichnet sein:

- 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.

Es gibt in diesem Dokument keinen weiteren Hinweis auf Ermüdung. Dadurch wird impliziert, dass normale Regalkonstruktionen Dauerschwingbelastungen nicht ausgesetzt sind und dass dieses Dokument für die Auslegung von Anlagen, die vielen Belastungszyklen ausgesetzt sind bzw. Konstruktionselemente

beinhalten, die gegebenenfalls empfindlich gegen Dauerschwingbelastungen reagieren, nicht angewendet werden sollte.

An Aufnahme- und Abgabestationen sollte die Möglichkeit von Ermüdung bei hohen Lastspielzahlen in Erwägung gezogen werden. Praktische Versuche sind unter Umständen die einzige zuverlässige Lösung. Siehe auch FEM 9.841 / FEM 10.2.10 [14].

6.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Konstruktion muss beim Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS, en: serviceability limit state) verifiziert werden.

ANMERKUNG Damit wird das ordnungsgemäße Funktionieren des Lagersystems unter Betriebsbedingungen sichergestellt.

6.3 Einwirkungen

6.3.1 Allgemeines

Der Planer darf zusätzlich zu den in 6.3 genannten Einwirkungen berücksichtigen.

6.3.2 Permanente Einwirkungen

6.3.2.1 Allgemeines

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

6.3.2.2 Gewichte der Materialien und Konstruktionen

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

6.3.3 Veränderliche Einwirkungen

6.3.3.1 Einzulagernde Ladeeinheiten

6.3.3.1.1 Allgemeines

Ladeeinheiten sind nach den Anforderungen von EN 15629 zu bestimmen.

Die Auslegung der Regale muss auf dem Höchstwert der Ladeeinheit basieren, sofern nicht die Anforderungen aus 6.3.3.1.2 oder 6.3.3.1.3 erfüllt werden. In letzterem Fall dürfen die entsprechenden reduzierten Werte übernommen werden.

Träger müssen zum Tragen einer Fachlast entsprechend der maximalen Ladeeinheitslast für diese Trägerebene ausgelegt sein.

6.3.3.1.2 Über ein Lagerverwaltungssystem gesteuerte Systeme

Das Lagerverwaltungssystem (LVS) muss (mindestens) zu Folgendem in der Lage sein:

— Zuweisung der Position einer Palette;

- Zurückweisen von Paletten, die das festgelegte Höchstgewicht überschreiten;
- Steuerung des Gesamtgewichts der Paletten in einem Feld mit Ausnahme der auf dem Boden befindlichen Paletten;
- Steuerung des Gesamtgewichts der Paletten in einer Reihe (Reihenlast) mit Ausnahme der auf dem Boden befindlichen Paletten.

Jeder Teil der Stütze muss für die von diesem Teil getragene Last in Übereinstimmung mit dem LVS ausgelegt sein. Die Last auf jeder Stütze sollte wie in Bild 4 dargestellt bestimmt werden.

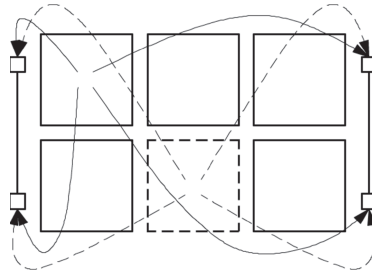


Bild 4 —Verteilung des Palettengewichts auf die Stützen (Beispiel zeigt ein Regal mit zwei Paletten hintereinander)

Die Gesamtstabilität in Ganglängsrichtung muss auf der Reihenlast basieren.

Auf jede Stütze im Feld wird ein Teil des Gewichts einer jeden Palette verteilt (dies wird in Bild 4 mit der durchgehenden und der gestrichelten Linie für zwei der sechs Paletten dargestellt). Das Lagerverwaltungssystem muss die Stetigkeitseffekte von Trägern nicht berücksichtigen, dies sollte jedoch bei der Regalauslegung, falls vorhanden, berücksichtigt werden. Hieraus kann die Last in der Stütze bestimmt werden.

6.3.3.1.3 Systeme mit zufälliger Einlagerung

Bei zufälliger Einlagerung müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- Die Position der Paletten im Regal muss zufällig sein. Dieser Abschnitt darf nicht angewendet werden, wenn die Ladeeinheiten in Gruppen zusammengefasst sind.
- Die maximale und durchschnittliche Ladeeinheit muss jederzeit bekannt sein.
- Im betreffenden Regalsystem werden mindestens 5 000 Paletten gelagert.

Die Anforderung, dass Ladeeinheiten nicht in Gruppen zusammengefasst sein dürfen, sollte so ausgelegt werden, dass ein bestimmter Typ, oder ein bestimmtes Gewicht, der Ladeeinheit nicht mit anderen des gleichen Typs zusammen platziert und einem bestimmten Fach oder Feld zugewiesen wird, sondern dass die Ladeeinheiten zufällig in der gesamten Regalzeile verteilt werden.

Im Folgenden ist W_n die für die Auslegung der Rahmen/Stütze-Konstruktion oder der Reihe entsprechend zu verwendende Last.

Bei $n > N_{\min}$

$$W_n = m \times \ln(n) + c$$

Dabei ist

$$m = \frac{W_{\max} - W_{\text{average}}}{\ln(N_{\min}) - \ln(N_{\max})}$$

$$c = W_{\text{average}} - m \ln(N_{\max})$$

$W_{\max}$ das maximale Gewicht der Ladeeinheit, wie durch den Planer definiert;

W_{average} das durchschnittliche Gewicht der Ladeeinheit, wie durch den Planer definiert;

$N_{\min}$ die Anzahl der Ladeeinheiten je Fach – dies ist die Grundlage für $W_{\max}$;

$N_{\max}$ die Gesamtzahl der Ladeeinheiten im Regalsystem – dies ist die Grundlage für W_{average} ;

n die Anzahl der betrachteten Ladeeinheiten.

Die Stabilität in Gangquerrichtung und die Rahmen/Stütze-Auslegung müssen auf dem bestimmten Wert von W_n basieren. Dabei ist n = die Anzahl der von der Rahmenstütze getragenen Ladeeinheiten.

Die Gesamtstabilität in Ganglängsrichtung muss auf dem bestimmten Wert von W_n basieren. Dabei ist n = die Anzahl der Ladeeinheiten in einer Reihe.

Ein Beispiel ist in Anhang J gegeben.

ANMERKUNG Das obige Verfahren stimmt mit SSRG 237 [21] überein.

6.3.3.2 Beschickungstoleranz von Ladeeinheiten in Gangquerrichtung

Wenn das System so ausgelegt ist, dass die Ladeeinheiten nicht symmetrisch platziert werden, muss dies bei der Auslegung des Regals berücksichtigt werden, siehe auch Anhang K.

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

$$Q' = \eta Q$$

Dabei ist

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

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

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

Dabei ist

$$\rho = Q_e / Q;$$

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.

6.3.3.3 Vertikale Beschickungslasten

Wenn Ladeeinheiten mit mechanischen Einrichtungen platziert werden, müssen folgende vertikale Mindestbeschickungslasten angewendet werden.

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 Trägeranschlusslaschen so ausgelegt werden, dass sie über eine zusätzliche nach unten gerichtete vertikale Beschickungslast Q_{pv} von 25 % der maximalen Last verfügen, die in der für die jeweilige Bestimmung ungünstigsten Position (Moment oder Scherkraft) platziert wird.

ANMERKUNG Die Lastverteilung für die vertikale Beschickungslast darf gleich der für die Ladeeinheit sein.

6.3.3.4 Horizontale Beschickungslasten

6.3.3.4.1 Allgemeines

Horizontale Beschickungslasten müssen sowohl in Gangquerrichtung als auch in Ganglängsrichtung an der ungünstigsten Stelle angelegt werden. Sie dürfen nur in eine Richtung angelegt werden, nicht in beide Richtungen gleichzeitig. Die Last braucht nicht auf mehr als einer Ebene gleichzeitig angelegt zu werden.

6.3.3.4.2 Beschickungslast

Die horizontale Mindestbeschickungslast Q_{ph} muss wie folgt bestimmt werden.

- a) Wenn die Waren mittels manuell bedienter mechanischer Einrichtungen eingelagert werden (z. B. Gabelstapler) gilt.
 - 1) für Trägerebenen bis zu 3 m Höhe ist Q_{ph} eine Last von mindestens 0,5 kN.
 - 2) für Trägerebenen über 6 m Höhe ist Q_{ph} eine Last von mindestens 0,25 kN.
 - 3) für Trägerebenen zwischen 3 m und 6 m ist Q_{ph} eine Last, die auf jeder Trägerebene aufgebracht wird und basierend auf den oben angegebenen Grenzwerten interpoliert wird.
- b) Wenn die Waren mittels automatisch gesteuerten Regalfördergeräten eingelagert werden, ist Q_{ph} vom Lieferanten des Gerätes festzulegen. Sie darf jedoch nie weniger als 0,25 kN betragen.

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

6.3.3.4.3 Ansatz horizontaler Beschickungslasten in Ganglängsrichtung

Eine Gesamtlast von $2 \times Q_{ph}$ (wobei Q_{ph} mit der höchsten Trägerebene berechnet wird), welche gleichmäßig über alle Trägerebenen verteilt wird, darf als Ersatz für die konzentrierte Last Q_{ph} verwendet werden.

ANMERKUNG In der Ganglängsrichtung entsteht die horizontale Beschickungslast nur an den Trägerebenen und verstärkt die durch Rahmenimperfectionen verursachte Verschiebung des höchsten Punktes in Ganglängsrichtung. Wenn die konzentrierten Lasten durch gleichmäßig verteilte Lasten ersetzt werden, verhindert dies die Erstellung unnötiger Lastfälle.

6.3.3.4.4 Ansatz horizontaler Beschickungslasten in Gangquerrichtung

In der Gangquerrichtung muss die Beschickungslast an den folgenden Stellen berücksichtigt werden;

- a) am obersten Punkt des Ständerrahmens;
- b) am Mittelpunkt zwischen zwei Verstrebnungsknoten des Rahmenverbands;

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 $Q_{ph} \ell / 6$ hinzuzufügen.

- c) am Spannmittelpunkt eines Trägers in der horizontalen Ebene. Dieser Fall braucht nicht in die Gesamtsystemanalyse der Gangquerrichtung einbezogen zu werden und es muss eine Belastung von $0,5 \times Q_{ph}$, die durch einen einzigen Träger in der horizontalen Ebene durch die neutrale Achse getragen wird, berücksichtigt werden. Es ist zulässig, Wechselwirkungen mit der vertikalen Last, die Q_{ph} verursacht, zu vernachlässigen.

6.3.3.5 Palettensicherungslasten

Wenn Palettensicherungen eingesetzt werden, muss der Planer die Last Q_{bh} definieren, und ob die Palettensicherungen Durchschubsicherungen oder Palettenanschlätze (nach EN 15629) sind.

- Palettenanschlätze und Übergabe- und Übernahmepunkte mit Positioniervorrichtungen sind als veränderliche Einwirkungen zu betrachten.
- Einwirkungen auf Durchschubsicherungen sind als außergewöhnliche Einwirkungen zu betrachten.

Bei manuell bedienten mechanischen Einrichtungen gilt:

$$Q_{bh} \geq 0,25 Q_u$$

Dabei ist

Q_u das Gewicht der Ladeinheit oder gleichzeitig platzierter Mehrfachlasten.

Im Falle automatischer Systeme müssen Palettensicherungen für die quasistatische horizontale Last infolge der kinetischen Energie aus einem Ausfall des Regalfördergeräts oder für $0,25 Q_u$ ausgelegt sein, je nachdem, welcher Wert größer ist.

ANMERKUNG 1 Ein Verfahren zur Auslegung von Palettensicherungen ist in FEM 9.842-1 / FEM 10.2.11-1 [15] enthalten.

ANMERKUNG 2 Palettenanschlätze sind unerwünscht, denn sie fördern den Missbrauch. Sie werden unter Umständen für verstellbare Palettenregale vorgeschrieben, um dem Fahrer bei der Positionierung zu helfen. Die Kräfte, die aus diesen Vorgängen entstehen, sind jedoch hoch.

ANMERKUNG 3 Um die Anforderungen aus EN 528 zu erfüllen, können gegebenenfalls Durchschubsicherungen für automatische Systeme (Regale für Regalförderzeuge) vorgeschrieben werden (siehe [9]).

Bei der Auslegung folgender Regalbauteile, die in der unmittelbaren Nähe der Palettensicherung sind, ist nur Q_{bh} zu berücksichtigen. Diese Wirkungen sind ausschließlich örtliche Auswirkungen:

- 1) die eigentliche Palettensicherung.

- 2) die Verbindung der Palettensicherung mit dem beteiligten Regalbauteil (Träger oder Stütze).
- 3) der Teil der Stütze bzw. der Träger, mit dem die Palettensicherung unmittelbar verbunden ist.
- 4) die Aussteifung des Ständerrahmens in der unmittelbaren Nähe dieses Stützenteils.

Für Palettenanschlüsse ist Q_{bh} auch für allgemeine Auswirkungen zu berücksichtigen, siehe 9.2.3.5.

6.3.3.6 Auswirkungen von regalgeführten Geräten

Der Lieferant der RFZ (Regalförderzeuge) muss die Lasten angeben, die vom RFZ auf das Regal ausgeübt werden:

- bei Entnahme und Beschickung;
- bei Bewegung;
- beim Fahren um Kurven (sofern zutreffend);
- beim Parken (der in Tabelle 1 angegebene Abminderungsfaktor kann in dieser Lastsituation nicht angewendet werden);
- horizontale Pufferkräfte (falls vorhanden).

Die Position, an der die Lasten ausgeübt werden, muss angegeben werden.

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	$0,7 \Sigma Q_h$
5	$0,6 \Sigma Q_h$
≥ 6	$0,5 \Sigma Q_h \leq 5 Q_h$
Legende Q_h maximale festgelegte Seitenstützungslast je RFZ $Q_{h,t}$ verminderte Summe (Σ) der Q_h-Kräfte, die an der oberen Führungsschiene wirken, welche mit einem Bauteil verbunden ist, das alle Ständerrahmen zusammenfügt, wie in Bild 5 gezeigt. ANMERKUNG Bei Anlagen, die durch regalgeführte RFZs bedient werden, sinkt mit ansteigender Anzahl der RFZ-Gänge die Wahrscheinlichkeit, dass sämtliche Fahrzeuge gleichzeitig horizontale Lasten in der gleichen Richtung und an der gleichen Stelle in jedem Gang ausüben.	

Werte in der Tabelle gelten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS).

ANMERKUNG Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) siehe FEM 9.831-1 [12] und FEM 9.832 [13].

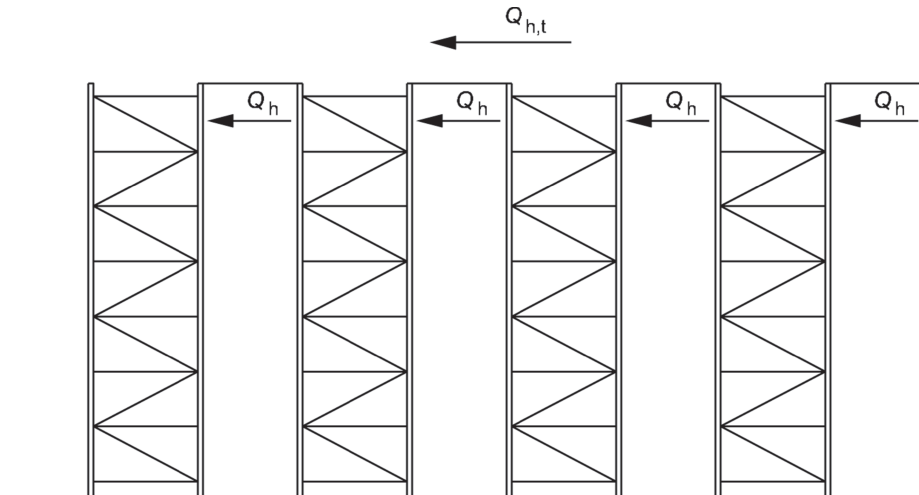


Bild 5 — Horizontale Lasten von regalgeführten Geräten

$Q_{h,t}$ muss für die ungünstigste Anordnung der RFZ berechnet werden.

6.3.3.7 Bühnen- und Laufgangbelastungen

Folgende minimal verteilte oder Punktlasten (der weniger günstige Fall wird genommen) sind für die Auslegung von Bühnen und Laufgängen einzusetzen, sofern nicht anders vom Planer und auf Belastungsschildern angegeben.

ANMERKUNG 1 Nationale Vorschriften können andere/höhere Lasten vorschreiben.

ANMERKUNG 2 Siehe [12].

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

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

$$Q_f = 2,0 \text{ kN} \text{ (Punktlast auf einem Quadrat von } 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm verteilt).}$$

Die oben genannten Lasten stellen die Belastung für die örtliche 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 herabgesetzt werden.

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

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

$$Q_f = 2,0 \text{ kN} \text{ (Punktlast auf einem Quadrat von } 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm verteilt).}$$

- c) Instandhaltungsebenen

$$q = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_f = 1,5 \text{ kN Punktlast in der ungünstigsten Position auf einer Fläche von } 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm der Ebene verteilt.}$$

d) Auf Treppen mit einer Breite unter oder gleich 1,2 m

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

$$Q_f = 2,0 \text{ kN} \text{ (Punktlast auf einem Quadrat von } 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm verteilt).}$$

e) Auf Treppen mit einer Breite über 1,2 m

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

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

f) Dort, wo Transporteinrichtungen dynamische Kräfte auf die Konstruktion ausüben, müssen solche Auswirkungen als quasistatische Einwirkungen mit dem entsprechenden Belastungsfaktor berücksichtigt werden, siehe EN 1991-1-1:2002, 6.3. Um zwischen den effektiven senkrechten Radlasten der verschiedenen Geräte zu unterscheiden, müssen die entsprechenden statischen Kräfte mit den in Tabelle 2 angegebenen dynamischen Faktoren multipliziert werden:

Tabelle 2 — Dynamische Faktoren für Arten der Transporteinrichtung

	Art der Transporteinrichtung	Dynamischer Faktor
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 und die Konfiguration vom Planer geliefert werden.

Bei Bühnen und Laufgängen braucht etwaige Schachbrettbelastung für die Auslegung des Bodenbelags 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, müssen angemessen berücksichtigt werden.

Wenn die Belastungen aus gelagerter Ware oder vom Boden getragenen Regalsystemen die oben angegebenen Werte überschreiten, muss die tatsächliche Belastung eingesetzt werden.

6.3.3.8 Geländerlasten

Geländerlasten fallen gegebenenfalls unter die Bestimmungen der nationalen Bauvorschriften, welche andere Werte für die Lasten erfordern können. Jedoch müssen die folgenden horizontalen Mindestlasten gelten:

- Instandhaltung 0,3 kN/m;
- sonstige (mit Ausnahme von öffentlichem Zugang) 0,5 kN/m.

6.3.3.9 Einwirkungen, die aus Montage- und Instandhaltungsvorgängen 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. Nach einem solchen Ereignis müssen die betroffenen Elemente untersucht werden. Im Falle einer Beschädigung des (der) Bauteils/e, muss dieses ersetzt werden.

Wenn vorgesehen ist, dass die Monteure durch die Regalkonstruktion abgesichert werden, muss das Regal für die aufgebrachten Lasten ausgelegt sein.

6.3.3.10 Windlasten

Windlasten sind nach den entsprechenden nationalen Vorschriften zu ermitteln. Windeinwirkungen während der Konstruktionsphase müssen berücksichtigt werden.

Wenn ein Regal einer Windlast ausgesetzt ist, sind die Abschirmungseffekte vollständig 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 dem vollen Winddruck, dem Windsog und den Windreibungskräften standhält.

ANMERKUNG Wenn Abschirmwirkungen durch Gebäude von den Windbestimmungen erlaubt sind, dann können diese auf das Regal angewandt werden.

6.3.3.11 Schneelasten

Wo zutreffend, müssen Schneelasten nach den entsprechenden nationalen Vorschriften ermittelt werden.

6.3.4 Außergewöhnliche Einwirkungen

6.3.4.1 Allgemeines

Es wird angenommen, dass die in 6.3.3 festgelegten Nutzlasten und Beschickungslasten eine ausreichende Berücksichtigung gewöhnlicher Stoßbedingungen beinhalten.

6.3.4.2 Erdbebeneinwirkungen

Wo zutreffend, sind Erdbebeneinwirkungen in Übereinstimmung mit EN 16681 und nach den entsprechenden nationalen Vorschriften zu ermitteln.

6.3.4.3 Nach oben gerichtete außergewöhnliche Einwirkungen

Regalbauteile direkt oberhalb einer Ladeeinheit müssen so ausgelegt werden, dass sie eine außergewöhnliche vertikale Kraft A_{pv} aufnehmen können. Im Allgemeinen muss diese Kraft am Ende eines Trägers angesetzt werden, um zu prüfen, dass sich die Trägeranschlusslasche nicht löst.

- 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)

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

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

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

Dabei ist

Q_u das Gewicht der Ladeeinheit.

Die Anforderungen für nach oben gerichtete Beschickungslasten sind durch Berechnung oder durch Prüfungen nach A.3.3 zu verifizieren.

6.3.4.4 Außergewöhnliche horizontale Last

6.3.4.4.1 Allgemeines

Stöße gegen die Stützen, die von Staplern oder sonstigen beweglichen Geräten verursacht werden, müssen durch entsprechende Benutzerausbildung und Sicherheitsmaßnahmen vermieden werden.

6.3.4.4.2 Ungeschützte Stützen

Wenn die Stütze nicht geschützt ist, muss eine außergewöhnliche Last in horizontaler Richtung wie folgt berücksichtigt werden:

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

Vom Boden bis zu 0,3 m Höhe, an der Stütze an der Gangseite:

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

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

Diese Lasten sind als getrennt auftretend zu behandeln.

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

Die außergewöhnliche horizontale Last kann vernachlässigt werden, sofern diese nicht vom Planer bereitgestellt wird.

6.3.4.4.3 Geschützte Stützen

Wenn an den Regalen Schütze angebracht sind, muss das Regal für die vom Planer angegebenen Stoßkräfte ausgelegt sein.

ANMERKUNG Empfehlungen für die Auslegung von Regal-Anfahrschützen sind in FEM 10.2.16 [19] angegeben.

Bei Flurförderzeugen mit der Auslegung, den Freiräumen und der Betriebsweise nach EN 15620 und EN 15635 brauchen die in EN 1991-1-7 angegebenen außergewöhnlichen Einwirkungen von Gabelstaplern nicht angewendet zu werden.

6.4 Kombination von Einwirkungen

6.4.1 Allgemeines

- 1) Das Gewicht sämtlicher Ladeeinheiten und Gesamtregalimperfectionen muss eine Einzeleinwirkung bilden.
- 2) Beschickungslasten müssen eine separate Einwirkung bilden.

- 3) Außergewöhnliche und Beschickungslasten brauchen nicht gleichzeitig ausgeübt zu werden.
- 4) Gesamtimperfectionen nach 9.3.2 und horizontale Beschickungslasten nach 6.3.3.4 sind in nur einer Richtung gleichzeitig zu kombinieren. Die Kombination von Gesamtimperfectionen oder horizontalen Beschickungslasten in einer Richtung mit Gesamtimperfectionen oder horizontalen Beschickungslasten in der anderen orthogonalen Richtung braucht nicht berücksichtigt zu werden.
- 5) Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit brauchen die Beschickungslasten nicht berücksichtigt zu werden.

6.4.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

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

- bei Berücksichtigung von nur der ungünstigsten veränderlichen Einwirkung

$$\Sigma \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1}$$

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

$$\Sigma \gamma_G G_k + 0,9 \sum_{i \geq 1} \gamma_Q Q_{k,i}$$

- Auslegung für außergewöhnliche Einwirkungen

$$\Sigma \gamma_A G_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_A Q_{k,i} + \gamma_A A_k$$

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 Teilkfaktor für ständige Lasten;

γ_Q der Teilkfaktor für veränderliche Lasten;

γ_A der Teilkfaktor für außergewöhnliche Lasten.

6.4.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

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

- bei Berücksichtigung von nur der ungünstigsten veränderlichen Einwirkung

$$\Sigma G_k + Q_{k,1}$$

— bei Berücksichtigung aller ungünstigen veränderlichen Einwirkungen

$$\Sigma G_k + 0,9 \sum_{i \geq 1} Q_{k,i}$$

mit den in 6.4.2 festgelegten Bezeichnungen.

6.5 Teilsicherheitsfaktoren

6.5.1 Belastungsfaktoren

Die in Tabelle 3 angegebenen Belastungsfaktoren γ_f sind Mindestwerte und müssen unabhängig von der Auslegungslebensdauer angewandt werden.

ANMERKUNG Nationale Vorschriften können höhere Belastungsfaktoren erfordern. Zu nationalen A-Abweichungen siehe Anhang N.

Tabelle 3 — Belastungsfaktoren γ_f

Einwirkungen	Grenzzustand der Tragfähigkeit
	RC2
ständige Lasten γ_G	
mit ungünstiger Auswirkung	1,3
mit günstiger Auswirkung	1,0
ungünstige Auswirkung aufgrund auferlegter Verformungen von Bodenplatten	1,3
günstige Auswirkung aufgrund auferlegter Verformungen von Bodenplatten	0,0
veränderliche Lasten γ_Q	
Ladeeinheiten	1,4
Ladeeinheiten in RFZ-Systemen	1,4 oder 1,3 ^a
Beschickungslasten	1,4
sonstige veränderliche Lasten	1,5
außergewöhnliche Lasten	
γ_A	1,0
^a Gilt für ein Lagersystem mit RFZ, einschließlich des Wiegens (siehe [14]) sämtlicher Ladeeinheiten und die Rückweisung aller Ladeeinheiten, die mehr als die Solllast des Regals wiegen. Der Belastungsfaktor für Ladeeinheiten darf von 1,4 auf 1,3 für die Gesamtsystemanalyse reduziert werden. Für die Bemessung von Trägern muss ein Lastfaktor von mindestens 1,4 angewandt werden.	
ANMERKUNG Diese Faktoren basieren auf der Zuverlässigkeitsklasse 2, andere Zuverlässigkeitsklassen können je nach Bedarf verwendet werden, siehe EN 1990.	

6.5.2 Materialfaktoren

Die Materialfaktoren γ_M in Tabelle 4 sind empfohlene Werte.

Tabelle 4 — Materialfaktoren γ_M

Widerstand	Grenzzustand der Tragfähigkeit
	RC2
Widerstand der Profile, unabhängig von der Klasse γ_{M0}	1,1
Widerstand der Stabelemente gegenüber Instabilitäten entsprechend Stabelementnachweisen γ_{M1}	1,1
Widerstand der Anschlüsse γ_{M2}	1,25
Widerstand der Anschlüsse, die Prüf- und Qualitätskontrollen unterliegen (z. B. Trägeranschlusslaschen), siehe Anhang M γ_{M2}	1,1
ANMERKUNG 1 Die Materialfaktoren γ_{M0} und γ_{M1} wurden aus einer Zuverlässigkeitsuntersuchung [20] in Kombination mit den Belastungsfaktoren aus Tabelle 3 in Übereinstimmung mit EN 1990 abgeleitet.	
ANMERKUNG 2 Diese Faktoren basieren auf der Zuverlässigkeitsklasse 2, andere Zuverlässigkeitsklassen können je nach Bedarf verwendet werden, siehe EN 1990.	
ANMERKUNG 3 Nationale Vorschriften können andere Materialfaktoren erfordern. Zu nationalen Abweichungen siehe Anhang N.	

7 Materialien

7.1 Stahl

7.1.1 Allgemeines

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

ANMERKUNG 1 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 Unterabschnitts.

Andere Stähle dürfen eingesetzt werden, vorausgesetzt, dass:

- 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;
- wenn der Stahl zum Kaltumformen vorgesehen ist, er die Anforderungen der in A.1.2 beschriebenen Biegeprüfung erfüllt, und das Verhältnis der charakteristischen Mindestzugfestigkeit zur charakteristischen Mindeststreckgrenze die Gleichung $f_u/f_y \geq 1,05$ erfüllt, wobei f_y , f_u = die charakteristische Streckgrenze bzw. die Mindestzugfestigkeit des Grundmaterials ist.

ANMERKUNG 2 Das Mindestverhältnis in 7.1.1 weicht von dem in EN 1993-1-1 ab, ist jedoch für Regalprodukte annehmbar. Siehe Anhang I.

ANMERKUNG 3 Nationale Verordnungen können die Verwendung anderer Stähle einschränken.

7.1.2 Materialeigenschaften

7.1.2.1 Allgemeines

Die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für Baustahl sind wie folgt zu ermitteln:

- a) durch Übernahme der Werte $f_y = R_{eh}$ und $f_u = R_m$ direkt aus der entsprechenden Produktnorm;
- b) durch Anwendung der in 7.1.4 angegebenen Vereinfachung;
- c) durch Anwendung des Prüfverfahrens in 7.1.3.

7.1.2.2 Bemessungswerte von Materialkoeffizienten (allgemeine mechanische Eigenschaften)

Der Bemessung sind folgende Stahleigenschaften zugrunde zu legen:

Elastizitätsmodul	$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
Schermodul	$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \text{ N/mm}^2$
Poissonscher Beiwert	$\nu = 0,3$
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ je } ^\circ\text{C}$
Dichte	$\rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$

7.1.3 Stahltypen ohne garantierte mechanische Eigenschaften

7.1.3.1 Allgemeines

Stahltypen ohne garantierte mechanische Eigenschaften sind folgende:

- Werkstoffe, deren Mindestwerte für die Streckgrenze und Zugfestigkeit nicht definiert oder von der Produktnorm garantiert sind (d. h. Baustahl für die Kaltumformung);
- Werkstoffe mit mechanischen Eigenschaften, die durch Nacharbeit verbessert werden (d. h. kaltgewalzter Stahl);
- Werkstoffe, die verwendet werden, weil die garantierten mechanischen Eigenschaften besser sind als jene von der Referenzproduktnorm definierten.

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

7.1.3.2 Zusatzprüfungen für Stahl

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

Wenn die folgenden Prüfverfahren für Coils durchgeführt werden:

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

Von jedem Coil (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 13.3.2 statistisch zu analysieren, damit die charakteristischen Werte der Streckgrenze oder der Zugfestigkeit des Materials für Auslegungszwecke abgeleitet werden können. Dort, wo mindestens 100 Prüfergebnisse über einen längeren Zeitraum zusammengetragen wurden, müssen diejenigen, welche die 100 überschreiten und älter als 12 Monate sind, aus der Analyse ausgelassen werden (siehe Anhang A).

Für Bleche und Profile sind die in 7.1.4 angegebenen mechanischen Eigenschaften für ungeprüfte Stahltypen anzuwenden.

7.1.4 Ungeprüfte Stähle

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

warmgewalzte Profile 200 N/mm²

sonstige Stahlbleche 140 N/mm²

7.1.5 Durchschnittsstreckgrenze von Profilen

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

7.1.6 Spezielle Auswahl von Produktionsmaterial

Eine Charge von Werkstoffen, die für eine bestimmte Anwendung speziell ausgewählt wurde, kann unter Berücksichtigung der tatsächlichen durch Prüfung nach EN 1993-1-3:2006, 3.2.1(2) bestimmten mechanischen Eigenschaften verwendet werden; die Nennwerte für die Streckgrenze und Zugfestigkeit für die Bemessung dürfen 90 % der Werte aus den Prüfungen nicht übersteigen.

Dieses Verfahren darf nicht auf Werkstoffe zur Prüfung von Bauteilen in Übereinstimmung mit Anhang A angewandt werden.

7.1.7 Bruchzähigkeit

Der Werkstoff muss eine ausreichende Bruchzähigkeit aufweisen, um Sprödbruch bei der niedrigsten Gebrauchstemperatur, die über die geplante Lebensdauer der Struktur zu erwarten ist, zu vermeiden.

Sprödbruch des Materials mit einer Dicke von nicht mehr als 5 mm in Übereinstimmung mit dieser Norm braucht bei kaltgewalzten Profilen (gestanzt oder nicht gestanzt), die aus kontinuierlich feuerverzinktem Stahl (z. B. im Sendzimirverfahren) hergestellt wurden, bei Temperaturen über -30 °C und bei nicht feuerverzinktem Stahl bei Temperaturen über -50 °C nicht berücksichtigt zu werden.

Bei ungeprüften Stählen nach 7.1.4 muss sich die oben angegebene Dickenbegrenze von 5 mm auf 2 mm reduzieren.

Werkstoffe des Gütegrads J2 nach EN 10025 oder der Hauptgüteklasse MC nach EN 10149 gelten unter den oben angegebenen Bedingungen als tauglich.

ANMERKUNG Weitere Hinweise zu diesem Thema finden sich in EN 1993-1-10.

7.1.8 Maßtoleranzen

7.1.8.1 Allgemeines

Für die Maßtoleranzen von kaltgeformten Bauteilen wird auf EN 1090-4 verwiesen.

7.1.8.2 Dickentoleranzen

Die Festlegungen für die rechnerische Bemessung in EN 1993-1-3 dürfen für Stahl innerhalb der angegebenen Grenzen für die Kerndicken t_{cor} angewendet werden.

Die Kerndickengrenzen t_{cor} für Blechkonstruktionen und Stabelemente dürfen im Nationalen Anhang angegeben werden. Die folgenden Werte werden empfohlen:

- für Bleche und Stabelemente: $0,45 \text{ mm} \leq t_{\text{cor}} \leq 15 \text{ mm}$;
- für Anschlüsse: $0,45 \text{ mm} \leq t_{\text{cor}} \leq 4 \text{ mm}$, siehe EN 1993-1-3, 8.1 (2).

Dickere oder dünnere Werkstoffe dürfen ebenfalls verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Tragfähigkeit durch versuchsgestützte Bemessung ermittelt wird.

Die Stahlkerndichte t_{cor} sollte als Bemessungsdicke angesetzt werden, wenn

$$t = t_{\text{cor}} \text{ wenn Toleranz} \leq 5 \%$$

$$t = t_{\text{cor}} (100 - \text{Toleranz}) / 95 \text{ wenn Toleranz} > 5 \%$$

$$\text{mit } t_{\text{cor}} = t_{\text{nom}} - t_{\text{metallic coating}}$$

Hierbei ist Toleranz die untere Toleranzgrenze in %.

ANMERKUNG Bei üblicher Verzinkung mit Z 275 ist $t_{\text{zinc}} = 0,04 \text{ mm}$.

Bei kontinuierlich feuerverzinkten Stabelementen und Blechen mit unteren Toleranzen, die gleich oder geringer als die „besonderen Toleranzen (S)“ aus EN 10143 sind, darf die Bemessungsdicke (1) verwendet werden.

Liegt die untere Toleranz über der „besonderen Toleranz (S)“ aus EN 10143, dann darf die Bemessungsdicke nach (2) verwendet werden.

t_{nom} ist die Blechnenndicke nach der Kaltverformung. Sie darf dem Wert t_{nom} des ursprünglichen Blechs gleichgesetzt werden, wenn die rechnerischen Querschnittsflächen vor und nach der Kaltverformung sich um nicht mehr als 2 % unterscheiden. Andernfalls sollten die Ausgangswerte der Abmessungen geändert werden.

7.1.8.3 Verwindung

Die Vorverwindung eines Stabelements „wie montiert“ muss an der Spannmitte für symmetrische Profile weniger als 1° je m und für asymmetrische Profile weniger als $1,5^\circ$ je m betragen.

7.2 Bodenmaterialien

7.2.1 Betonböden

Bei der Bemessung der Fußplatte muss der Bemessungswiderstand des Betons oder des Vergussmörtels unter örtlicher Druckspannung nach EN 1993-1-8:2005, 6.2.5, oder unter Verwendung des folgenden vereinfachten Ansatzes bestimmt werden:

$$f_{jd} = \beta_j \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Dabei ist

β_j = 2/3 der Beiwert des Fugenmaterials des Fundaments;

f_{ck} die charakteristische Druck-Zylinderfestigkeit für Beton;

γ_c der Teilmaterialfaktor für Beton = 1,5.

Falls die Beschaffenheit des Betons nicht bekannt ist und eine Sichtprüfung zeigt, dass das Material geeignet ist, darf angenommen werden, dass die Festigkeitsklasse des Betons 20/25 nach EN 1992 ist, für die gilt:

$$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$$

Alternativ dürfen Versuche zur Ermittlung der tatsächlichen Festigkeit des Betons durchgeführt werden.

7.2.2 Bitumenböden

Siehe Anhang O.

7.2.3 Sonstige Bodenmaterialien

Bei Böden, die weder aus Bitumen noch aus Beton sind, muss der Rat des Bodenlieferanten bezüglich der Tragfähigkeit eingeholt werden. Bei der Bewertung der charakteristischen Festigkeit des Materials sollte die Möglichkeit, dass Kriechen vorkommen kann, und der Einfluss der Temperatur auf das Materialverhalten genügend bedacht werden. Die Aufmerksamkeit sollte nicht nur auf die Oberflächenschichten, sondern auch auf etwaige untere Schichten des Bodens gerichtet werden, die das Verhalten der Fußplatte beeinflussen können.

8 Dauerhaftigkeit

Um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion unter den entsprechenden Bedingungen für die vorgesehene Anwendung und erwartete Lebensdauer sicherzustellen, müssen folgende Faktoren in der Entwurfsphase in Betracht gezogen werden:

- a) die Umgebung;
- b) der Grad des Ausgesetztseins;
- c) die Form der Stabelemente und die konstruktiven Einzelheiten;
- d) ob eine Wartung der Schutzschicht ausgeführt werden kann.

Dort, wo verschiedene Materialien miteinander verbunden sind, muss Korrosion aufgrund von Kontakt zwischen ungleichartigen Metallen vermieden werden.

ANMERKUNG Sofern keine Beschädigung aufgrund von Kollision oder Fehlbedienung vorhanden ist, kann erwartet werden, dass normale Schutzschichten bei trockenen Bedingungen in Innenräumen mindestens 10 Jahre Schutzwirkung bieten. Für den Außenbereich oder bei Korrosionsbedingungen sind besondere Behandlungen erforderlich.

9 Konstruktionsanalyse

9.1 Strukturmodellierung zur Analyse

9.1.1 Strukturmodellierung zur Analyse und Grundvoraussetzung

Das Berechnungsmodell und die Grundannahmen für die Berechnungen müssen das statische Verhalten beim entsprechenden Grenzzustand mit angemessener Genauigkeit widerspiegeln und das zu erwartende Verhalten der Profile, Stabelemente, Anschlüsse und Auflagerungen widerspiegeln.

Die für die Analyse angewandte Methode muss mit den Auslegungsannahmen übereinstimmen.

9.1.2 Anschlussmodellierung

9.1.2.1 Allgemeines

Das Verhalten von Anschlüssen muss berücksichtigt werden.

- 1) Wenn nachgewiesen werden kann, dass eine Stoßlasche Drehsteifigkeit, Biegewiderstand und Festigkeit aufweist, die gleich groß bzw. größer sind als diejenigen der schwächeren Stütze der Stoßstelle, so dürfen ihre Auswirkungen bei der Gesamtanalyse vernachlässigt werden.
- 2) Das Spiel der Träger/Stützen-Verbindung und der Rahmenaussteifungsverbindungen muss in die Charakteristiken des Anschlusses oder alternativ als zusätzliche Imperfektion mitaufgenommen werden.
- 3) Nichtlineares Anschlussverhalten darf in die Analyse einbezogen werden, vorausgesetzt, dass die nichtlineare Charakteristik auf Prüfergebnissen beruht, die eine ausreichende Verdrehungskapazität nachweisen. Als Alternative dürfen elastisch-plastische Berechnungsmethoden dann angewandt werden, wenn die Profile, die einer plastischen Fließgelenkausbildung unterzogen werden, die Kriterien aus EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3 für plastische Berechnungen, einschließlich der darin enthaltenen Duktilitätsanforderungen, erfüllen.
- 4) Wenn die in Bild 10 oder Bild 11 dargestellten Modelle verwendet werden, dürfen die Biegemomente an den Trägeranschlusslaschen und an den Trägerenden korrigiert werden, um die begrenzte Breite der Stützen zu berücksichtigen. Alternativ darf über die halbe Breite der Stütze ein starres Element angebracht werden.

9.1.2.2 Moment/Verdrehungscharakteristiken von Träger/Stütze-Verbindungen

Die Moment/Verdrehungscharakteristiken der Träger/Stütze-Verbindungen sind als Bemessungswerte der Steifigkeit und des Widerstandsmoments durch Prüfungen nach A.3.1 zu ermitteln.

9.1.2.3 Moment/Verdrehungscharakteristiken der Bodenverbindungen

Die Steifigkeit der Stützen/Boden-Verbindung darf als eine gesteckte Verbindung angenommen werden.

In der Ganglängsrichtung, vorausgesetzt, dass das Regal mindestens zu 50 % seiner Tragfähigkeit beladen ist, darf die Steifigkeit der Stützen/Boden-Verbindung einer Stütze mit einer flachen Endkante angenommen werden als $\frac{EI_{eq}}{h}$ je Radian.

Dabei ist

EI_{eq} die Biegesteifigkeit der Stütze in Ganglängsrichtung;

h die Höhe der ersten Trägerebene, wobei der Mindestwert 1 m beträgt.

ANMERKUNG Dies ist ein konservativer Wert, der auf den Prüfungen der Hersteller über viele Jahre hinweg basiert.

Wird ein höherer Wert der Steifigkeit der Stützen/Boden-Verbindung in der Berechnung eingesetzt, so muss sie anhand von Prüfungen nach A.3.5 ermittelt werden.

9.1.2.4 Verstrebungsexzentrizitäten

Sofern nicht die folgenden Bedingungen erfüllt werden, müssen Exzentrizitäten zwischen Systemlinien berücksichtigt werden:

- a) Der Schnittpunkt der Mittellinien eines horizontalen Stabelements und einer Diagonale oder danebenliegenden Diagonalen ist nicht größer als ein vertikales Maß „e“, das in Bild 6a) für die Ganglängsrichtung und in Bild 6b) für die Gangquerrichtung dargestellt wird.
- b) Die Exzentrizität „ c_1 “ beträgt nicht mehr als 2,0-mal die Stützbreite und „ c_2 “ nicht mehr als 1,5-mal die Stütztiefe, wie in Bild 6b) gezeigt. Wo die Träger als horizontale Stabelemente verwendet werden, ist der Schnittpunkt als Kreuzpunkt der Mittellinie einer Diagonale und der oberen oder unteren Steglinie einzusetzen.

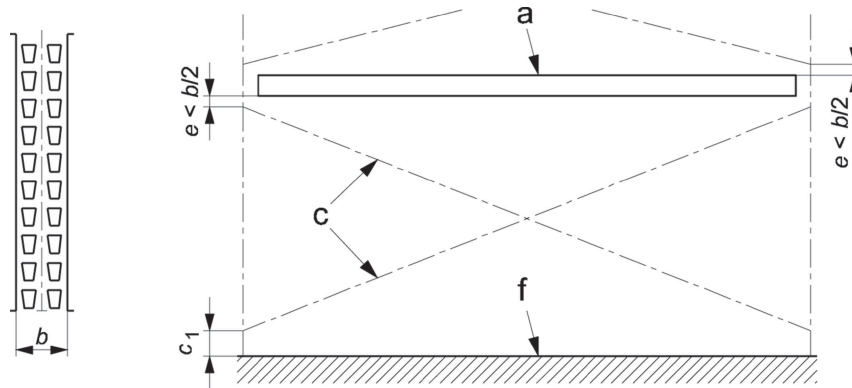
ANMERKUNG Es ist gute Praxis, den Neigungswinkel der Diagonalen zur Waagerechten zwischen 20° und 70° zu legen.

Bei Einwirkungen durch Erdbeben, Wind und Palettenansschlägen muss die Wirkung der Exzentrizitäten von mehr als 5 % berücksichtigt werden.

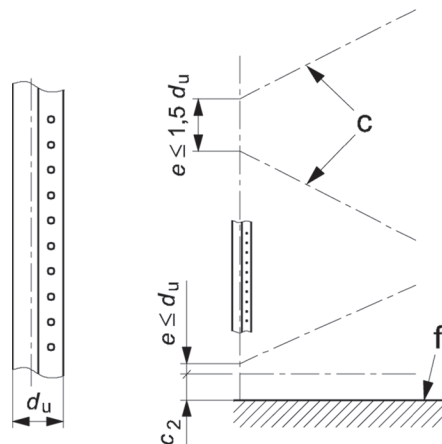
Als konservativer Ansatz darf der Grenzwert von 5 % als M_{Ed}/M_{Rd} bewertet werden. Siehe hierzu [20].

M_{Ed} ist das örtliche Biegemoment aufgrund von Exzentrizitäten.

M_{Rd} ist das Biegetragmoment der Stütze.



a) Exzentrizitäten in Rückenverstreibungen



b) Exzentrizitäten in Rahmenaussteifungen

Legende

- a waagerechtes Bauteil (z. B. Palettenträger)
- b Stützenbreite
- c Systemlinien
- e (bei 6a)) Abstand zwischen Aussteifungsknotenpunkt und der oberen oder unteren Kante des Trägers
- f Boden
- c_1 Abstand zwischen Boden und unteren Rückenverstreibungsknotenpunkt
- d_u Stützentiefe
- e (bei 6b)) Exzentrizität zwischen Aussteifungen
- c_2 Abstand zwischen Boden und unteren Aussteifungsknotenpunkt

Bild 6 — Exzentrizitäten

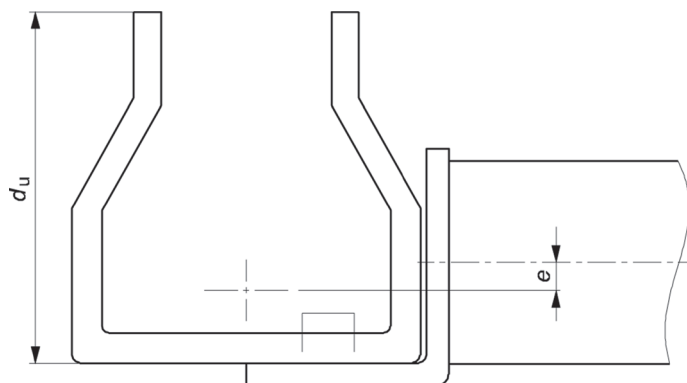
9.1.2.5 Träger/Stütze-Exzentrizitäten

Die Auswirkung der Exzentrizität „e“ in Bild 7 von mehr als 5 % muss berücksichtigt werden.

Als konservativer Ansatz darf der Grenzwert von 5 % als M_{Ed}/M_{Rd} bewertet werden. Siehe hierzu [20].

M_{Ed} ist das örtliche Biegemoment aufgrund von Exzentrizitäten.

M_{Rd} ist das Biegetragmoment der Stütze.



Legende

d_u Stütztiefe
 e Exzentrizität

Bild 7 — Exzentrizität in Gangquerrichtung

9.1.3 Wechselbeziehung von Tragwerk und Boden

9.1.3.1 Allgemeines

Die Verformungseigenschaften des Bodens müssen entsprechend den Festlegungen in 9.1.3.3 und 9.1.3.4 bei der Auslegung des Regals berücksichtigt werden.

Der Lieferant des Regals muss die auf den Boden wirkenden Reaktionen angeben.

ANMERKUNG 1 Die Bodenplatte stellt das Fundament des Regals dar und EN 15629 dient dem Planer als Hilfestellung.

ANMERKUNG 2 Es kann mehrere Gründe für eine Verformung der Bodenplatte geben, wie eine Belastung des Regals oder Last von Fördermitteln.

ANMERKUNG 3 Die Bodenauswölbung (ϕ_{Floor}), wie in Tabelle 5 festgelegt, wird in den Sicherheitsgrundsätzen berücksichtigt. Aus diesem Grund braucht nur der Überstand berücksichtigt zu werden.

ANMERKUNG 4 Hinsichtlich der Schnittstelle zwischen Regalen und dem abgestützten Lagerhallenboden bieten [16], [17] und [18] Richtlinien.

9.1.3.2 Bodenplattenparameter

Sofern nicht anders angegeben, darf der Regalplaner Folgendes annehmen:

- Betonklasse mindestens C20/25;
- die Platte erfüllt die Einschränkungen von 9.1.3.3;
- die Dicke des tragenden Bodens (ohne etwaigen Estrich) entspricht der bei der Auslegung der Verankerung von beispielsweise Stützen, Stützen-Anfahrerschützen, Aussteifungssystemen usw. angenommenen Dicke;
- es liegen keine Bewegungsfugen vor.

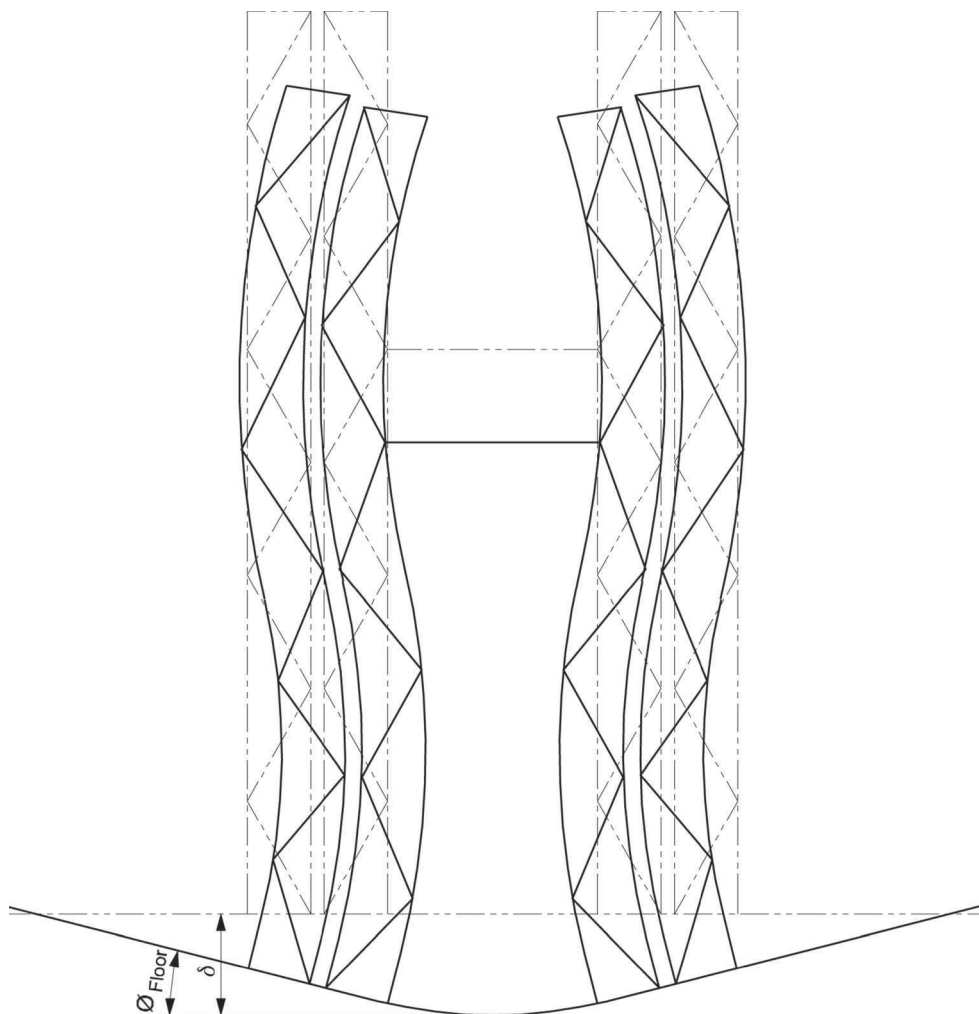
9.1.3.3 Plattenverformungsgrenzen für geschraubte Rahmen

Wenn die Auswölbung der Bodenplatte (ϕ_{Floor}) geringer ist als der in Tabelle 5 angegebene Grenzwert, darf angenommen werden, dass die Bodenplatte ein starres Fundament darstellt und die Bodenplattenverformung im Rahmen der Regalauslegung nicht berücksichtigt werden muss.

Wenn die Bodenplattenverformung den Grenzwert überschreitet, braucht nur die Verformung berücksichtigt zu werden, die über den Grenzwert hinausgeht.

Tabelle 5 — Bodenverformungsgrenzen bei angenommen quasi-starrem Boden

Spezifizierte Vorverdrehung der Einrichtung	Auswölbungsgrenzwert ϕ_{Floor} im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (siehe Bild 8)
1 / 350	1 / 700
1 / 500	1 / 1 000
1 / 750	1 / 1 500
1 / 1 000	1 / 2 000
ANMERKUNG 1/350 Schiefstellung bezieht sich auf die Klasse 400, 1/500 und 1/750 für die Klasse 300 und 1/1 000 für die Klassen 100 und 200, für weitere Informationen siehe EN 15620.	



Legende

- ϕ_{Floor} Plattenauswölbung
 δ Plattendurchbiegung

Bild 8 — Beispiel der Wechselbeziehung zwischen Bodenplatte und Durchbiegung des Regals

9.1.3.4 Plattenverformungsgrenzen für geschweißte Rahmen

Bei allen geschweißten Regalrahmen muss die Plattenverformung, die $\phi_{\text{Floor}} = 1/2\,000$ überschreitet, in der Auslegung berücksichtigt werden.

9.1.3.5 Einbeziehung von Bodenverformungen in die Analyse

Eines der folgenden Verfahren muss ausgewählt werden.

Verfahren 1: Regal und Platte werden zusammen modelliert.

Verfahren 2: Eine iterative Herangehensweise in Kooperation mit dem Bodenplattenplaner. Bei dieser Herangehensweise wird die Verformung der Bodenplatte an den Füßen der Stützen in die Analyse miteinbezogen und die vom Regal auf die Bodenplatte ausgeübten Reaktionen werden berechnet. Der Bodenplattenplaner berechnet die Plattendurchbiegung neu. Die Auslegung des Regals wird mit den neuen Durchbiegungen wiederholt. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis die Differenz zwischen aufeinanderfolgenden Durchbiegungen weniger als 5 % beträgt. An diesem Punkt kann die Auslegung als angenähert betrachtet werden.

Verfahren 3: Wenn die Rahmen nicht in Gangquerrichtung miteinander verbunden sind (zum Beispiel durch Querverbindungen oder vom Regal abgestützte Bühnen, siehe Bild 8), darf die Analyse in Gangquerrichtung mit der Vorverdrehung der Ständerrahmen, die durch die Bodenplattenwölbung, die der Vorverdrehung in 9.3.2 hinzugefügt wird, hervorgerufen wird, durchgeführt werden.

Wenn die Position des Regals auf der Platte bekannt ist, sollte die Analyse auf dieser bekannten Position basieren. Andernfalls sollte die ungünstigste Position des Regals in Bezug auf die verformte Platte berücksichtigt werden, siehe Bild 9.

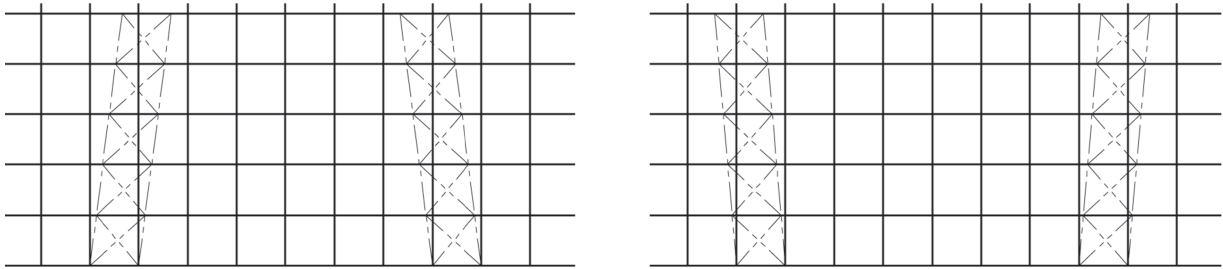


Bild 9 — Gespiegelte Auswölbung des Bodens

9.1.4 An der Gebäudekonstruktion abgestützte Regale

Wenn Regale an der Gebäudekonstruktion verankert sind, muss eine entsprechende Auslegung des Gebäudes und der Regalkonstruktion durchgeführt werden. Die beiden Konstruktionen üben Kräfte aufeinander aus und diese Wechselwirkungskräfte hängen von der Seitensteifigkeit von sowohl dem Regal als auch dem Gebäude ab.

9.2 Gesamtsystemanalyse

9.2.1 Auswirkungen deformierter Geometrie der Konstruktion

Die Auswirkungen der deformierten Geometrie (Auswirkungen II. Ordnung) sollten berücksichtigt werden, wenn sie die Auswirkungen der Einwirkungen deutlich vergrößern oder das statische Verhalten maßgeblich verändern.

Die Klassifizierung der Konstruktion basiert auf dem kritisch elastischen Lastverhältnis für allgemeines Knicken in jeder relevanten Richtung: $\alpha_{cr} = \frac{V_{cr}}{V_{Ed}}$

Dabei ist

α_{cr} der Faktor, um den die Bemessungswerte der Belastung erhöht werden müssten, um zu einer elastischen Instabilität in einem allgemeinen Modus zu führen;

V_{cr} die kritisch elastische Knicklast beim allgemeinen Instabilitätsmodus, basierend auf den elastischen Ausgangssteifigkeiten;

V_{Ed} die Bemessungsbelastung der Konstruktion.

Methoden zur Schätzung von V_{cr} mit ausreichender Genauigkeit für die Klassifizierung sind in Anhang B zu finden.

Eine Übersicht zu zugelassenen Analyseverfahren basierend auf Klassifizierung ist in Tabelle 6 zu finden.

Wenn $\alpha_{cr} \geq 10$, können die Auswirkungen II. Ordnung vernachlässigt werden. Die Analyseverfahren 0a und 1a dürfen verwendet werden (lineare Analyse I. Ordnung).

ANMERKUNG 1 Wenn $\alpha_{cr} \geq 10$, darf der Rahmen als verschiebungsfrei klassifiziert werden, d. h. seine Reaktion auf horizontale Kräfte in Rahmenebene ist steif genug für die Erfüllung folgender Bedingung: Bei Vernachlässigung etwaiger zusätzlicher interner Kräfte oder Momente, die aus horizontaler Verschiebung der Knotenpunkte entstehen, wird eine annehmbare Genauigkeit erzielt.

Wenn $3,333 \geq \alpha_{cr} > 10$ dürfen Auswirkungen II. Ordnung indirekt behandelt werden. Die Analyseverfahren 0b und 1b dürfen verwendet werden.

Wenn $\alpha_{cr} < 3,333$ dürfen Auswirkungen II. Ordnung direkt behandelt werden. Analyseverfahren 2 muss verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Der Grenzwert, bei dem eine Analyse II. Ordnung obligatorisch wird, ist großzügiger als der in EN 1993-1-1. Der Grund dafür ist, dass Palettenregale mit strengeren Toleranzen als normale Stahlbautoleranzen industriell hergestellt werden. Ferner sind sie mit halbsteifen Verbindungen ausgestattet und ihre Ausführung ist im Allgemeinen regelmäßig ausgelegt. Diesen Umständen entsprechend ist die Übereinstimmung zwischen genauen und ungefähren Methoden sehr verbessert worden, sodass die Gültigkeit der ungefähren Methoden erweitert werden darf.

ANMERKUNG 3 Nicht ausgesteifte Regale werden allgemein als Verschiebungsrahmen in Ganglängsrichtung klassifiziert und erfordern daher die Erwägung Effekte II. Ordnung.

9.2.2 Analyseverfahren

9.2.2.1 Allgemeines

Abhängig von der Klassifizierung aus 9.2.1 muss für eine 2D- oder 3D-Analyse ein Analyseverfahren aus Tabelle 6 übernommen werden.

ANMERKUNG Es ist zulässig, höhere Analyseverfahren wie die in EN 1993-1-1 zu verwenden.

Tabelle 6 — Analyseverfahren

Analyseverfahren		Materialverhalten	Geometrisches Verhalten	Gesamtimperfektionen nach 9.3.2	Vorkrümmung nach EN 1993-1-1 / EN 1993-1-3	Stabelementnachweis
0a	Näherung	linear	I. Ordnung	○		nach 6
0b			I. Ordnung mit Verstärkung	○		nach 6
1a	Finite-Element-Analyse ^a	linear	I. Ordnung	○		nach 6
1b			I. Ordnung mit Verstärkung	○		nach 6
2a		linear oder nichtlinear	II. Ordnung	○		nach 6
2b				○	○	nach 6, χ braucht nur TFB zu berücksichtigen

^a Ohne Verwölbungseffekt.

Bei jedem Analyseverfahren muss die Auswirkung von örtlichen Imperfektionen der Aussteifung nach 9.3.3 geprüft werden.

9.2.2.2 Analyseverfahren 0 — Näherung

Das Analyseverfahren muss in Übereinstimmung mit Anhang B sein und die Stabelementnachweise in Übereinstimmung mit Tabelle 6.

9.2.2.3 Analyseverfahren 1 — lineare Finite-Elemente-Analyse

Das Analyseverfahren muss in Übereinstimmung mit Abschnitt 9 sein.

9.2.2.4 Analyseverfahren 2 — Finite-Elemente-Analyse II. Ordnung

Das Analyseverfahren muss in Übereinstimmung mit Abschnitt 9 sein.

9.2.3 Strukturstabilität von Rahmen

9.2.3.1 Allgemeines

Folgendes ist bei der Strukturmodellierung zu berücksichtigen:

- a) Die Charakteristik von Anschlüssen nach 9.1.2 muss berücksichtigt werden.
- b) Torsion und Verwölbung müssen in der Gesamtsystemanalyse und den Stabelementnachweisen berücksichtigt werden, wenn sie die Gesamtstabilität der Struktur beeinflussen oder wenn sie zur Erhaltung des Gleichgewichts erforderlich sind.

ANMERKUNG 1 Bei der Auslegung von Ständerrahmen ist der Einfluss der Torsion auf die Flexibilität in die Schubsteifigkeitsprüfung des Rahmens nach A.2.8 miteinbezogen.

- c) Bei der Betrachtung von Auflasten aus gelagerten Waren muss das ungünstigste Belastungsschema (Vollbelastung und Schachbrettbelastung) für jedes der folgenden Kriterien bedacht werden:
 - 1) Gesamtstabilität in Ganglängsrichtung;
 - 2) Biegen und Knicken der Stützen;
 - 3) Durchbiegungen und Biegemomente an der Spannmitte der Träger;
 - 4) Momente in den Träger/Stütze-Verbindungen.

ANMERKUNG 2 Bei einer gleichmäßigen Regalauslegung ist es ausreichend, die in Anhang P angegebenen Fälle mit Schachbrettbelastung zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 3 Für die Auswirkung von Fällen mit Schachbrettbelastung darf eine Analyse I. Ordnung in Erwägung gezogen werden, wenn jene Ergebnisse mit den Ergebnissen einer Analyse II. Ordnung der Vollastbedingung kombiniert werden.

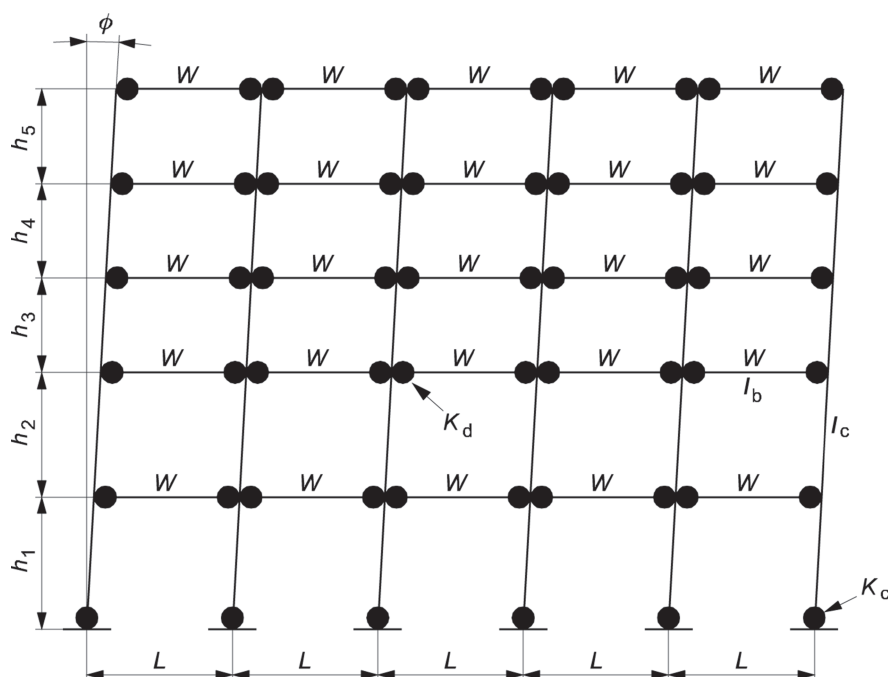
- d) Bei der Analyse der Rahmen in Gangquerrichtung ist es zulässig, zu berücksichtigen, dass alle verbundenen Rahmen voll belastet sind.
- e) Die örtlichen Aussteifungsimperfectionen brauchen nicht mit den Imperfectionen für die Gesamtsystemanalyse kombiniert zu werden. Die Kräfte und Momente der örtlichen Aussteifungsimperfectionen dürfen durch eine Berechnung I. Ordnung abgeleitet werden.
- f) Für den Zweck der Gesamtsystemanalyse sind Systemlinien zu verwenden, die mit den Schwerlinien des Bruttoquerschnitts, des äquivalenten Querschnitts oder des reduzierten Querschnitts der Stabelemente, von dem die Eigenschaften ermittelt werden sollen, koinzidieren.

- g) Obwohl ein Palettenregal eine Raumkonstruktion darstellt, darf zum Zwecke der Gesamtsystemanalyse davon ausgegangen werden, dass es aus einer Gruppe von ebenen Rahmen besteht, die in der vertikalen Ebene parallel und senkrecht zu den Regalgängen und in der horizontalen Ebene angeordnet sind, wobei angenommen wird, dass jeder Rahmen zunächst unabhängig wirkt. Imperfektionen in einer Ebene dürfen in der Gesamtanalyse der anderen Ebene vernachlässigt werden.
- h) Bei der Bemessung von Bauteilen müssen unter Anwendung geeigneter Wechselwirkungsgleichungen die Wirkungen in einer Ebene, die das Verhalten in einer anderen Ebene beeinflussen, berücksichtigt werden.
- i) Für die Gesamtsystemanalyse müssen äquivalente Querschnittswerte verwendet werden.
- j) Zur Bestimmung der kritischen elastischen Lasten müssen äquivalente Querschnittswerte verwendet werden.
- k) Imperfektionen nach 9.3.

9.2.3.2 Regalsysteme ohne Aussteifungsverbände

Wenn sämtliche Felder die gleiche Konfiguration aufweisen, beträgt die Mindestanzahl der Felder fünf oder die tatsächliche Anzahl an Feldern, wobei die kleinere Zahl genommen wird.

Typische mathematische Modelle sind in Bild 10 dargestellt.



a) Typisches nicht aussteiftes Regal mit Anfangsschiefstellung ϕ