

DIN EN 15512



ICS 53.080

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

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

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

Gesamtumfang 137 Seiten

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

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab 2010-09-01.

Nationales Vorwort

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

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

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

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

ICS 53.080

Deutsche Fassung

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Inhalt

Seite

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

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

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

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

Vorwort

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

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

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

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

Einleitung

0.1 Regale

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

Regale werden von Bauteilen aus Stahl, wie z. B. Rahmen, Träger und Facheinlagen konstruiert. Zur Bildung eines dreidimensionalen, gegen Verschiebung ausgesteiften, Rahmentragwerks aus Stahl werden Sonder- verbindungen zwischen Träger und Stützen eingesetzt. Zwischen den Regalzeilen werden Gänge gebildet, die den Zugang von Kommissionierern, Gabelstaplern oder Regalförderzeugen zu den Lagerplätzen ermög- lichen. Standardisierte Bauteile werden eingesetzt, die Standardisierung der Teile gilt jedoch nur für den jeweiligen Hersteller. Diese Bauteile unterscheiden sich von herkömmlichen Konstruktionen aus Stützen und Trägern durch folgende Merkmale:

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

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

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

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

Dies und die Notwendigkeit für harmonisierte Konstruktionsbestimmungen waren die Gründe, dass die europäische Regalvereinigung ERF/FEM Regale und Fachbodenregale die Initiative im Auftrag von CEN/TC 344 ergriffen hat. CEN/TC 344 arbeitet zurzeit an der Erstellung mehrerer Europäischer Normen für bestimmte Regaltypen und individuelle Anwendungen, die als vorläufige Europäische Normen (prEN) bzw. als Arbeitsgruppenaktivitäten (WG = Arbeitsgruppe) wie folgt bestehen:

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

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

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

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

0.3 Zusammenarbeit

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

0.4 Regale und Arbeitsmittelvorschriften

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

0.5 Weitere, speziell für EN 15512 anzuwendende Informationen

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

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

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

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

EN 15512 ist für den Gebrauch vorgesehen durch

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

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

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

1 Anwendungsbereich

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

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

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

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 528, *Regalbediengeräte — Sicherheit*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3 Begriffe

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

3.1

außergewöhnliche Einwirkung

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

3.2

Grundmaterial

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

3.3

Stahl-Charge

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

3.4

Träger

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

3.5

Verbindungslasche

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

3.6

Fachlast

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

3.7

Doppelregal

eine mit Verbindungsstücken verbundene Doppelregalzeile, von zwei Arbeitsgängen zugänglich

3.8

Gesamtsystemanalyse

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

3.9

gelochtes Profil

ein Element mit in der Länge gleichmäßig verteilten Mehrfachlochungen

3.10

Beschickungslast

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

3.11

Einfachregal

eine von nur einem Arbeitsgang zugängliche Regalzeile

3.12

Rückenverstrebung

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

3.13

Zurückfedern

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

3.14

ausgesteiftes Element

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

3.15

Verschiebung

die horizontale Verschiebung einer Konstruktion ohne etwaige Vorverdrehung

3.16

Ladeinheit

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

3.17

nicht ausgesteiftes Element

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

3.18

Ständerrahmen

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

ANMERKUNG Typische Beispiele sind in Bild 1 dargestellt.

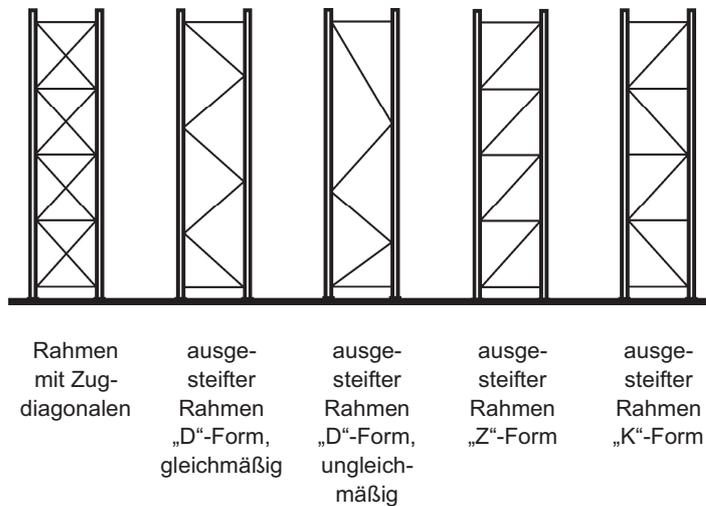


Bild 1 — Typische Ständerrahmen

4 Symbole

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

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

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

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

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

DIN EN 15512:2010-09
EN 15512:2009 (D)

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

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

Indizes

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

5 Auslegungsgrundlagen

5.1 Anforderungen

5.1.1 Grundanforderungen

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

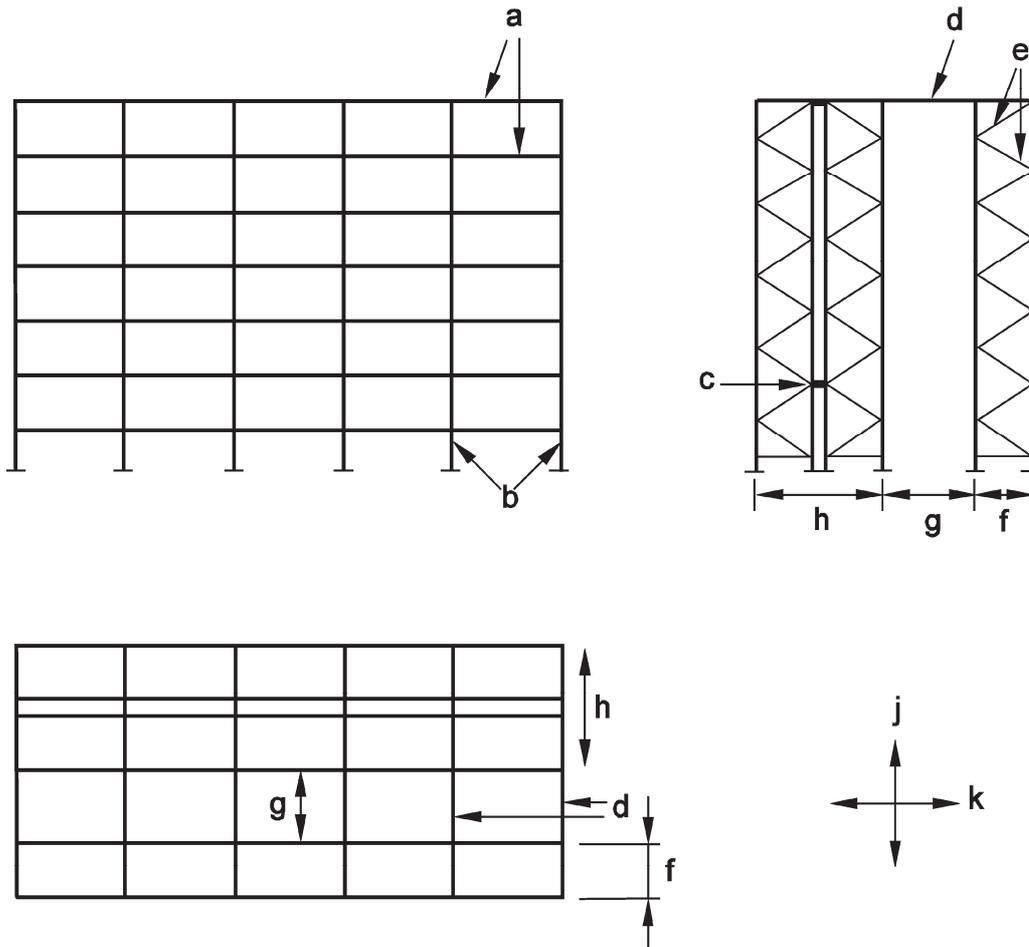
Die Bemessungs- und Konstruktionsanforderungen in diesem Dokument sind nach EN 1990, EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3 einzuhalten, es sei denn, dass bestimmte, abweichende Anforderungen angegeben sind.

Die Bemessung und Konstruktion sind auf der Grundlage der in EN 15620 angegebenen Montagetoleranzen und der in EN 15635 beschriebenen Betriebspraxis durchzuführen.

Für Regale in Erdbebengebieten siehe Literaturhinweise, Verweis [3].

5.1.2 Regalsysteme ohne Aussteifungsverbände

Bild 2 zeigt die Auslegung eines typischen Palettenregals ohne Aussteifungsverbände, bei dem die Stabilität in Ganglängsrichtung ausschließlich durch die Einspannwirkung der Trägeranschlusslaschen erzielt wird. Die Stabilität in der Gangquerrichtung ist durch die Aussteifung der Rahmen gegeben. Bei Doppelregalen sind diese Rahmen in der Höhe durch Distanzstücke zu verbinden.



Legende

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

Bild 2 — Beispiel einer Palettenregalkonstruktion ohne Aussteifungsverbände

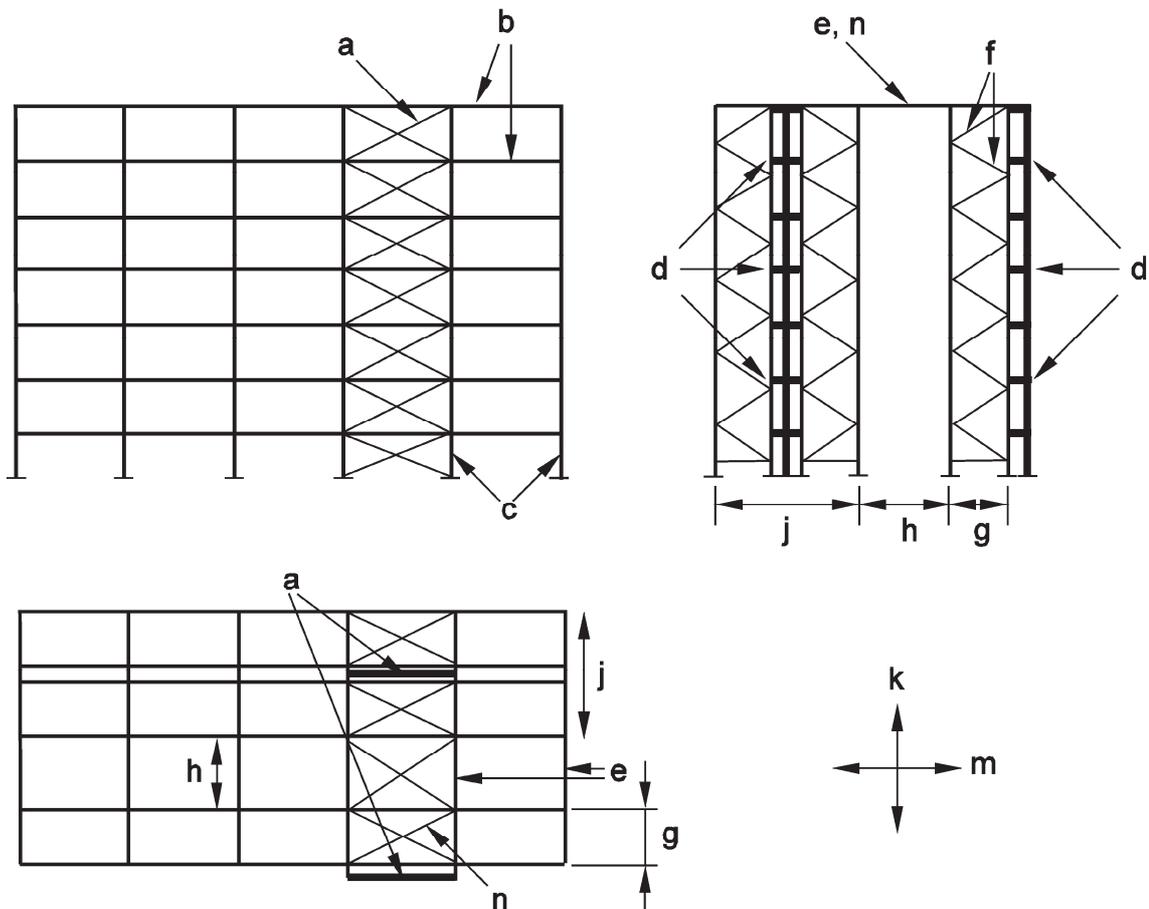
5.1.3 Regalsysteme mit Aussteifungsverbänden

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

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

Stabilität in der Gangquerrichtung wird mittels Aussteifung der Rahmen sichergestellt.

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



Legende

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

Bild 3 — Beispiel einer Palettenregalkonstruktion mit Aussteifungsverbänden

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

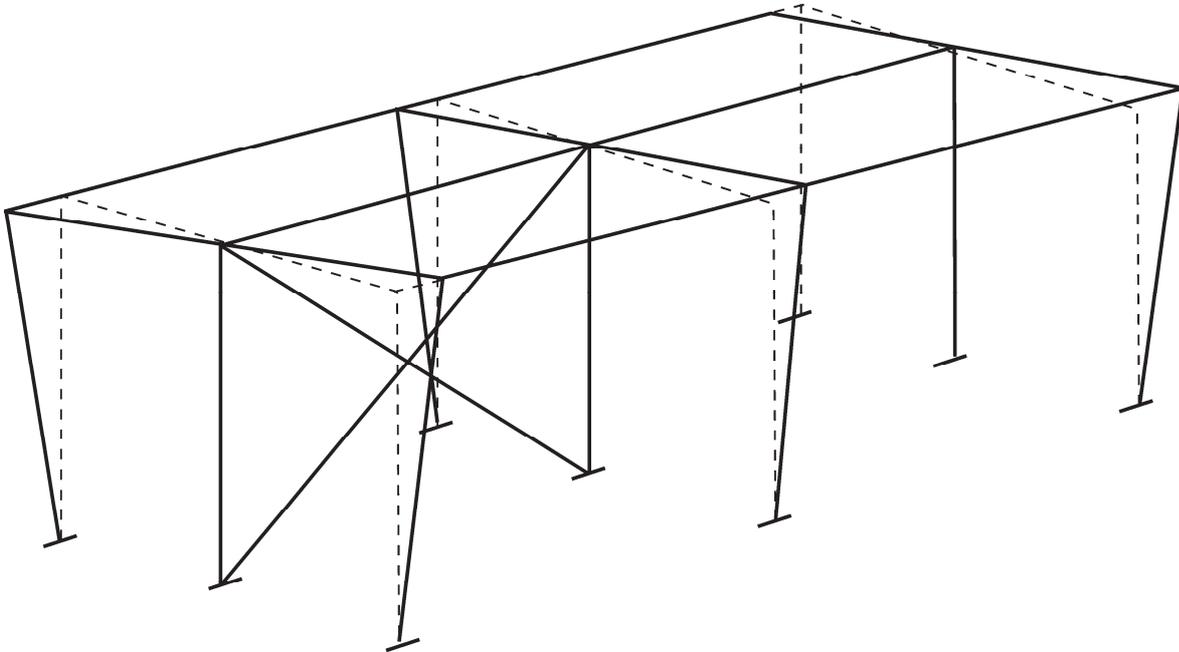
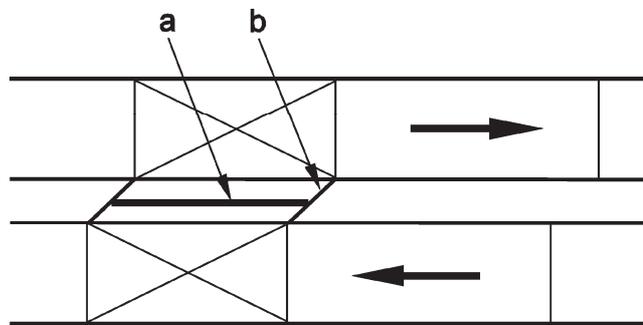


Bild 4 — Antisymmetrische Verschiebung eines Doppelregals

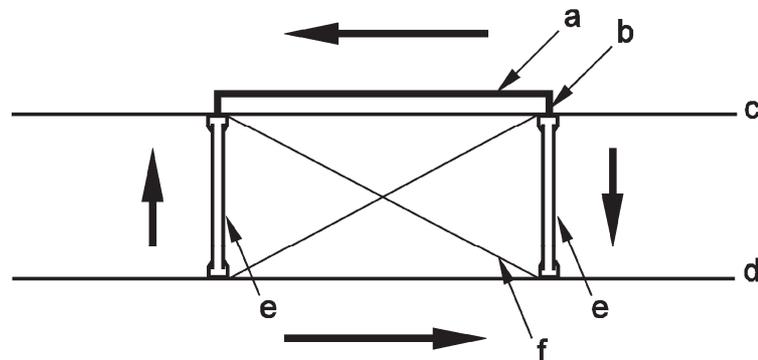


Legende

- a Rückenverstrebung
- b Aussteifungshalterungen

Bild 5 — Draufsicht eines alternativen Verschiebungsmodus in einem Doppelpalettenregal

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



Legende

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

Bild 6 — Kraftfluss für die Aussteifungskräfte eines Einfachregals mit Aussteifungsverbänden

5.1.4 Bemessungslebensdauer

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

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

5.1.5 Bodentoleranzen und -verformungen

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

5.2 Auslegungsmethoden

5.2.1 Allgemeines

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

5.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

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

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

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

5.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

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

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

5.3 Imperfektionen

5.3.1 Allgemeines

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

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

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

5.3.2 Rahmenimperfektionen in nicht ausgesteiften Systemen

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

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

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

Die Verschiebungs-Imperfektion ϕ wird wie folgt ermittelt:

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

Dabei ist

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

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

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

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

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

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

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

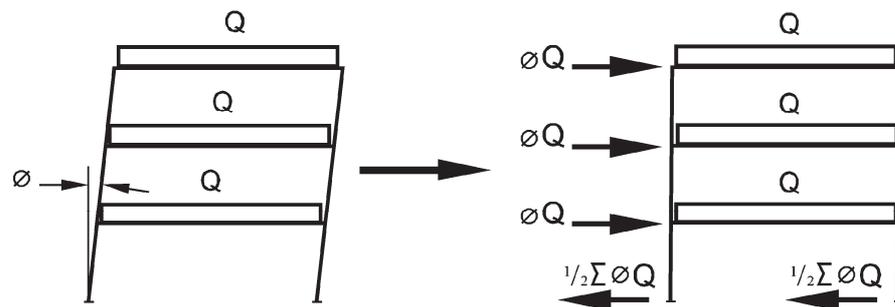


Bild 7 — Horizontale Ersatzlasten

5.3.3 Imperfektionen ausgesteifter Systeme

5.3.3.1 Allgemeines

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

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

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

5.3.3.2 Imperfektionen im vertikalen Aussteifungssystem und ihre Verbindungen

Die beschriebenen Imperfektionen dieses Abschnitts sind in der Gesamtsystemanalyse einzubeziehen.

Die Vorverdrehung ist zu bestimmen aus

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

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

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

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

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

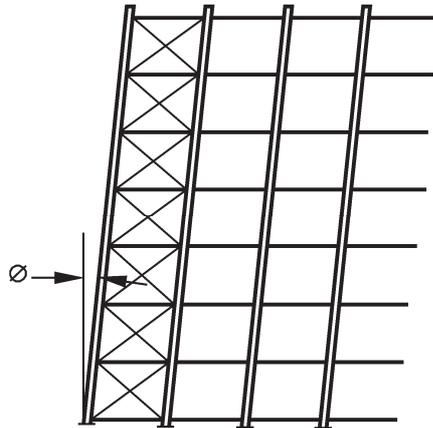


Bild 8 — Gesamtimperfektionen der Verstrebung

5.3.3.3 Örtliche Aussteifungsimperfektionen

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

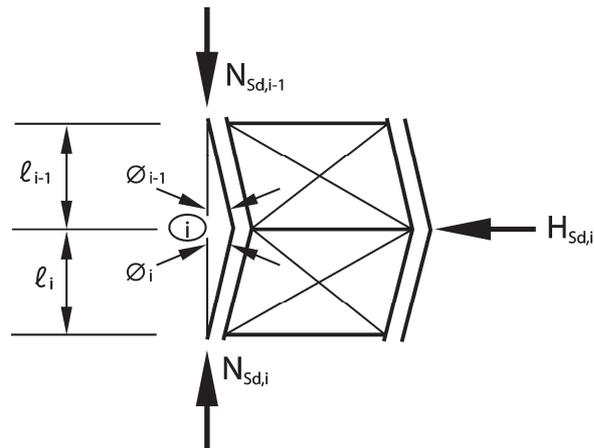


Bild 9 — Örtliche Aussteifungsimperfectionen

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

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

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

$$\text{und } \phi_i = \phi_{i-1} \frac{l_{i-1}}{l_i}$$

Dabei ist

n_u die Anzahl der Stützen je Aussteifungssystem;

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

$$\text{und } \phi_{i-1} = \phi_i \frac{l_i}{l_{i-1}}$$

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

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

Dabei ist

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

N_{Sd} die Bemessungslängslast eines Stabelements.

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

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

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

In diesen Gleichungen ist:

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

n_s die Anzahl der nicht ausgesteiften Trägerebenen.

5.3.5 Bauteilimperfektionen

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

6 Einwirkungen und Kombinationen von Einwirkungen

6.1 Allgemeines

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

6.2 Permanente Einwirkungen

6.2.1 Allgemeines

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

6.2.2 Gewichte der Materialien und Konstruktionen

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

6.3 Veränderliche Einwirkungen

6.3.1 Allgemeines

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

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

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

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

6.3.2 Einzulagernde Ladeeinheiten

Ladeeinheiten sind nach den Anforderungen von EN 15629 zu bestimmen.

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

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

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

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

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

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

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

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

Dabei ist

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

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

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

6.3.3 Vertikale Beschickungslasten

Wenn Ladeeinheiten platziert werden, sind folgende vertikale Mindestbeschickungslasten anzuwenden.

a) Wenn Ware mit mechanischen Hilfsmitteln eingelagert wird.

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

b) Wenn Ware manuell eingelagert wird.

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

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

6.3.4 Horizontale Beschickungslasten

6.3.4.1 Allgemeines

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

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

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

6.3.4.2 Auswirkungen der Betriebsarten

Folgende Betriebsarten sind zur Ermittlung der horizontalen Beschickungslast anzuwenden.

a) Wenn die Waren mittels manuell bedienter mechanischer Einrichtungen eingelagert werden (z. B. Gabel-stapler) gilt:

- 1) für Regale bis zu 3 m Höhe, ist Q_{ph} eine Last von 0,5 kN, die an jeder Höhe bis zum oberen Regal-ende angelegt wird;
- 2) für Regale mit einer Höhe über 6 m ist Q_{ph} der ungünstigste Fall einer Last von entweder 0,25 kN am Regalkopf angelegt, oder eine Last von 0,5 kN an jeder Höhe bis zu 3 m angelegt;
- 3) für Regale mit Höhen zwischen 3 m und 6 m ist Q_{ph} der schlechteste Fall aus zwei Möglichkeiten: eine Last am Regalkopf, dessen Größe von einer linearen Interpolation zwischen (1) und (2) bestimmt wird, oder eine Last von 0,5 kN an jeder Höhe bis zu 3 m.

b) Wenn die Waren mittels automatisch gesteuerten Regalfördergeräten eingelagert werden, ist Q_{ph} vom Lieferant des Gerätes festzulegen. Sie darf jedoch nie weniger als 0,25 kN betragen.

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

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

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

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

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

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

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

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

- e) Bei manueller Einlagerung.

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

6.3.4.3 Ansatz horizontaler Beschickungslasten in Ganglängsrichtung

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

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

6.3.4.4 Ansatz horizontaler Beschickungslasten in Gangquerrichtung

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

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

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

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

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

6.3.5 Auswirkungen von regalgeführten Geräten

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

Tabelle 1 — Gesamtheit der horizontalen Einwirkungen in Höhe der Führungsschienen

Anzahl RFZ	$Q_{h,t}$
1 oder 2	ΣQ_h
3	$0,85 \Sigma Q_h$
4	$0,70 \Sigma Q_h$
≥ 5	$3 Q_h$

Dabei ist

Q_h die maximale festgelegte Seitenstützungslast je RFZ ;

$Q_{h,t}$ die verminderte Summe (Σ) der Q_h -Kräfte, die an der oberen Führungsschiene wirken. Diese ist an einem Stabelement befestigt, das sämtliche Rahmen verbindet, siehe Bild 10.

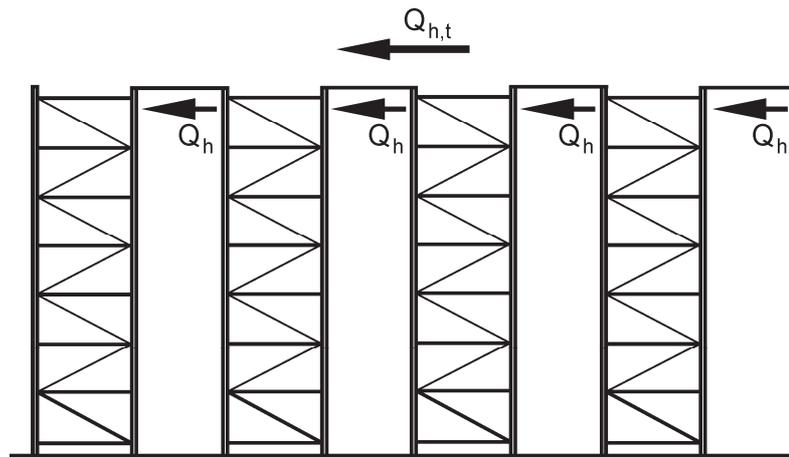


Bild 10 — Horizontallasten von regalgeführtem Bediengerät

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Auf Treppen mit einer Breite über 1,2 m

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

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

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

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

Die Punktlast muss auf die ungünstigste Stelle angelegt werden.

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

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

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

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

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

6.3.7 Einwirkungen, die aus Montagevorgängen entstehen

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

6.4 Einwirkungen aus Stoßlasten (außergewöhnliche Lasten)

6.4.1 Allgemeines

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

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

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

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

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

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

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

6.4.2 Außergewöhnliche vertikale Einwirkungen

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

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

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

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

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

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

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

worin Q_u das Gewicht der Ladeinheit ist.

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

6.4.3 Außergewöhnliche horizontale Last

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6.5 Windlasten

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

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

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

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

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

6.6 Schneelasten

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

6.7 Erdbebeneinwirkungen

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

7 Teilsicherheitsfaktoren und Kombinationsregeln

7.1 Allgemeines

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

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

7.2 Kombinationen von Einwirkungen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

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

- bei Berücksichtigung von nur der ungünstigsten veränderlichen Einwirkung

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

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

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

- Auslegung für außergewöhnliche Einwirkungen

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

Dabei ist

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

7.3 Kombination von Einwirkungen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

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

bei Berücksichtigung von nur der ungünstigsten veränderlichen Einwirkung

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

bei Berücksichtigung aller ungünstigen veränderlichen Einwirkungen

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

mit den in 7.2 festgelegten Bezeichnungen.

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

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

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

7.4 Belastungsfaktoren

Die Belastungsfaktoren γ_f sind in Tabelle 2 angegeben.

ANMERKUNG Nationale Vorschriften können andere Belastungsfaktoren erfordern.

Tabelle 2 — Belastungsfaktoren γ_f

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

7.5 Materialfaktoren

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

Tabelle 3 — Materialsicherheitsfaktoren γ_M

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

7.6 Stabilität gegen Kippen

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

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

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

7.7 An der Gebäudekonstruktion abgestützte Regale

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

8 Stahl

8.1 Allgemeines

8.1.1 Vorüberlegungen

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

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

Andere Stähle dürfen eingesetzt werden vorausgesetzt, dass

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

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

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

8.1.2 Materialeigenschaften

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

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

8.1.3 Bemessungsmaterialkoeffizienten (allgemeine mechanische Eigenschaften)

Der Bemessung sind folgende Stahleigenschaften zugrunde zu legen:

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

8.1.4 Stahltypen ohne garantierte mechanische Eigenschaften

8.1.4.1 Allgemeines

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

8.1.4.2 Zusatzprüfungen für Stahl

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

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

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

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

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

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

8.1.5 Ungeprüfte Stähle

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

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

8.2 Durchschnittsstreckgrenze von Profilen

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

8.3 Spezielle Auswahl von Produktionsmaterial

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

8.4 Bruchzähigkeit

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

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

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

8.5 Maßtoleranzen

8.5.1 Allgemeines

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

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

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

8.5.2 Materialdicke

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

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

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

8.5.3 Dickentoleranzen

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

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

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

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

8.5.4 Breite und Tiefe eines kaltgeformten Profils

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

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

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

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

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

8.5.5 Geradheit der Stabelemente

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

8.5.6 Verwindung

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

8.5.7 Toleranzen in Bezug auf Auslegung und Montage

8.5.7.1 Allgemeines

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

8.5.7.2 Lot

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

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

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

8.6 Verstrebungsexzentrizitäten

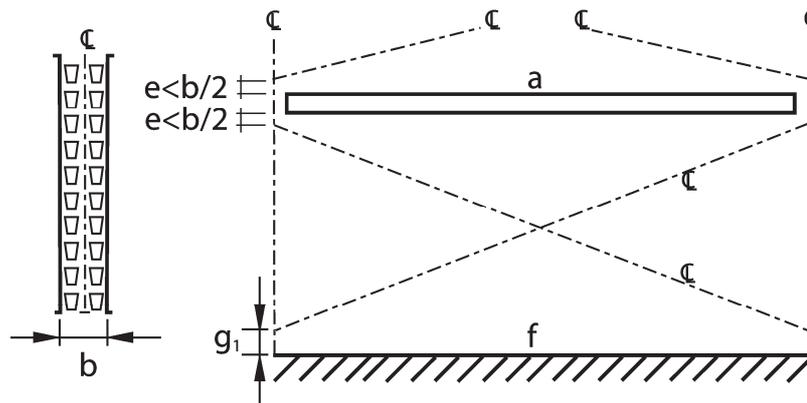
Wenn die Exzentrizitäten zwischen Systemlinien die nachstehenden Werte überschreiten, sind sie in der Gesamtsystemanalyse aufzunehmen, und die daraus folgenden Sekundärmomente in der Auslegung der Bauteile einzubeziehen.

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

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

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

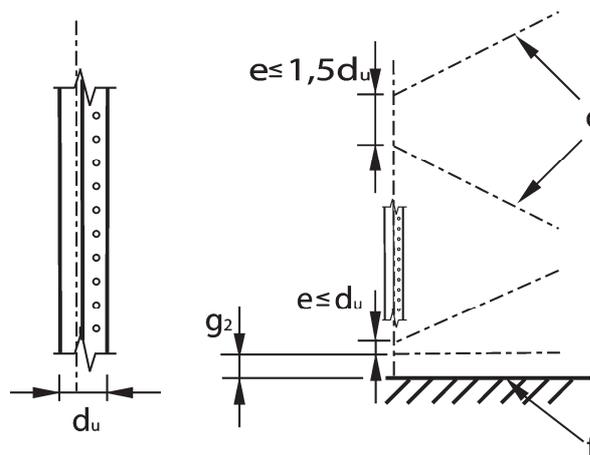
ANMERKUNG 2 Falls 8.6 eine Gesamtsystemanalyse einschließlich Exzentrizitäten in Gangquerrichtung erfordert, sind die Füße als gelenkig zu betrachten, es sei denn, dass die Steifigkeit des Fußes durch einen Versuch nach A.2.7 ermittelt wird.



Legende

- a Palettenträger
- b Stützenbreite
- c Systemlinien
- e Abstand zwischen Aussteifungsknotenpunkt und der oberen oder unteren Kante des Trägers
- f Boden
- g_1 Abstand zwischen Boden und unteren Rückenverstrebungsknotenpunkt

Bild 11 a) — Exzentrizitäten in Rückenverstrebungen



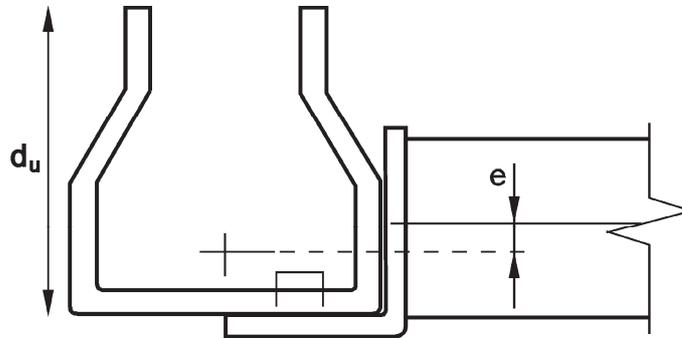
Legende

- c Systemlinien
- d_u Stützentiefe
- e Exzentrizität zwischen Verstrebungen
- f Boden
- g_2 Abstand zwischen Boden und unteren Aussteifungsknotenpunkt

Bild 11 b) — Exzentrizitäten in Rahmenaussteifungen

8.7 Exzentrizitäten zwischen Träger und Stützen

Es kann sein, dass die Schwerpunktschwerachse des Trägers nicht mit der Schwerpunktschwerachse der Stütze übereinstimmt. Daraus ergibt sich eine Exzentrizität „ e “ in Gangquerrichtung, wie in Bild 12 gezeigt.



Legende

d_u Stützentiefe
 e Exzentrizität

Bild 12 — Exzentrizität in Gangquerrichtung

Die Exzentrizität e in Bild 12 kann vernachlässigt werden wenn „ e “ weniger als $0,25 d_u$ beträgt.

ANMERKUNG Die Exzentrizität e in Bild 12 kann wichtig sein und sollte sowohl in die Gesamtsystemanalyse als auch in die Auslegung des Stabelementes einbezogen werden, z. B. wenn die Träger an der Außenseite der Rahmen angeschlossen sind.

8.8 Anforderungen an Trägeranschlusslaschen

In Palettenregalanlagen müssen sämtliche Trägeranschlusslaschen mit Sicherungselementen ausgestattet sein, damit sich die Anschlusslaschen nicht lösen können, wenn diese einer senkrechten Schublast ausgesetzt sind (d. h. versehentlich durch Beschickungsgeräte angelegt). Die Sicherung ist für eine nach oben gerichtete senkrechte Schublast, die als außergewöhnliche Überlastung betrachtet wird, auszulegen, wie in 6.4.2 festgelegt.

8.9 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:

- die Umgebung;
- der Grad des Ausgesetztseins;
- die Form der Stabelemente und die Stahlbaueinheiten;
- ob eine Wartung der Schutzschicht möglich ist.

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, sollten 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 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.

9.2 Berechnung von Querschnitten

9.2.1 Allgemeines

Die folgenden Abschnitte verweisen auf Gruppen von Querschnittswerten, die wie folgt definiert sind:

Bruttoquerschnittswerte sind Werte des Bruttoquerschnitts ohne jegliche Verminderung für Lochungen oder örtliches Knicken. Bruttoquerschnittswerte werden gewöhnlich in Gesamtberechnungen für interne Kräfte und Durchbiegungen eingesetzt.

Mindest-Querschnittswerte sind die Werte eines gelochten Stabelements entsprechend des Bruttoquerschnitts mit der Höchstverminderung für die Auswirkung der Lochungen. Die Verminderung für die Auswirkung der Lochungen ist in 9.2.3 angegeben.

Effektive Querschnittswerte sind die verminderten Querschnittswerte unter Berücksichtigung von örtlichem Beulen.

ANMERKUNG Manche Stützen weisen eine regelmäßige Anordnung von Lochungen auf, die aufgrund von deren Größe, Anzahl oder Anordnung eine signifikante Verminderung des Trägheitsmoments verursachen. Der Konstrukteur sollte sich in solchen Fällen der Implikationen bewusst sein und ein entsprechend reduziertes Trägheitsmoment sollte für die Gesamtberechnung eingesetzt werden.

9.2.2 Einfluss von Eckradien

Folgende Querschnittswerte dürfen auf der Annahme von scharfen Ecken berechnet werden, wobei keine Verminderung in Bezug auf Lochungen bzw. die effektive Breite von Elementen des Querschnitts, die unter Druckbeanspruchung stehen, vorgenommen wird:

- a) I_T = St Venantscher-Torsionswiderstand des Bruttoquerschnitts;
- b) I_W = Verwölbungskonstante des Bruttoquerschnitts;
- c) y_0 = Abstand zwischen dem Schubmittelpunkt und dem Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts auf der y-Achse;
- d) i_y, i_z = Trägheitsradius um die y- bzw. z-Achsen;
- e) i_0 = polarer Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts um den Schubmittelpunkt.

Der Einfluss von Eckradien auf alle anderen Querschnittswerte ist nach EN 1993-1-3, 5.1 zu berechnen.

9.2.3 Wirkung von Lochungen

Im Fall von Druckstäben sind die Auswirkungen von Lochungen nach dem entsprechenden Prüfverfahren dieses Dokuments zu berücksichtigen. Für Zugglieder ist folgende Berechnungsmethode anzuwenden.

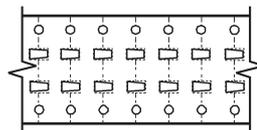
Im Fall von nicht versetzt angeordneten Löchern entspricht der Mindestquerschnitt der Mindestquerschnittslänge, vermindert um die Löcher in einem jeden Querschnitt rechtwinklig zur Spannungsrichtung des Stabelements, siehe Bild 13 a).

Im Fall von versetzt angeordneten Löchern entspricht der Mindestquerschnitt entweder der oben angegebenen Mindestquerschnittslänge oder der Bruttoquerschnittsfläche, vermindert um die Querschnittsfläche sämtlicher Löcher, die sich in jeglicher Zickzacklinie befinden, welche sich progressiv über das Stabelement erstreckt, abzüglich $s^2t/(4p)$ für jedes Schablonenmaß in der Lochkette, wie in Bild 13 b) gezeigt, wobei der niedrigste Wert genommen wird.

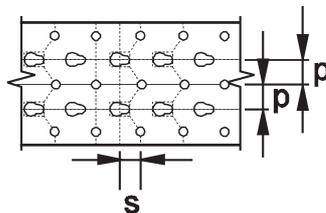
Dabei ist

- a) s das versetzt angeordnete Rastermaß, d. h. der Abstand der Mittellinien zwei aufeinanderfolgender Löcher in der Kette, gemessen parallel zur Achse des Stabelements;
- b) p der Abstand der gleichen beiden Löcher, rechtwinklig zur Achse des Stabelements gemessen.

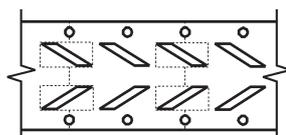
Im Fall von geneigten Schlitzlöchern ist der Mindestquerschnitt der Bruttoquerschnitt, reduziert um die Projektion des Schlitzloches auf den Querschnitt (siehe Bild 13 c)).



a) nichtversetzte Löcher



b) versetzte Löcher



c) geneigte Langlöcher

Bild 13 — Ermittlung des Mindestquerschnitts

9.2.4 Einfluss von Querschnittsverwindung

Bei Druckstäben mit offenem Querschnitt können drei Knickarten vorkommen. Diese sind in aufsteigender Reihenfolge der Wellenlänge (siehe EN 1993-1-3):

- a) örtliches Beulen;
- b) Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform;
- c) Biegedrillknicken.

ANMERKUNG Bei Stabelementen mittlerer Effektivlänge, die üblicherweise bei Rahmen typischer Palettenregale vorkommen, ist Beulen mit Veränderung der Querschnittsform wahrscheinlich am kritischsten.

Wenn das Stabelement gelocht ist, muss sein Verhalten in Bezug auf Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform durch Versuche festgestellt werden.

Wenn das Stabelement nicht gelocht ist, müssen zwei Fälle berücksichtigt werden:

- Fall 1: Beulen mit Veränderung der Querschnittsform wird durch einfache Lippen reguliert.

Bei Profiltypen, wovon typische Beispiele in Bild 14 dargestellt sind, die üblicherweise vier Abkantungen aufweisen, kann angenommen werden, dass die Verfahren zur Auslegung der Eckversteifungen in EN 1993-1-3 sowohl den Modus des Beulens mit Veränderung der Querschnittsform als auch den Modus des örtlichen Beulens beinhalten.

- Fall 2: Allgemeiner Fall von Beulen mit Veränderung der Querschnittsform.

Bei Profiltypen, wovon typische Beispiele in Bild 15 dargestellt sind, die üblicherweise mehr als vier Abkantungen aufweisen, und wo nicht durch einfache Lippen reguliert wird, muss die Festigkeit in Bezug auf Beulen mit Veränderung der Querschnittsform durch rationale Analyse, die Imperfektionen der Stabelemente berücksichtigt, festgestellt werden, oder durch Versuche nach A.2.2.

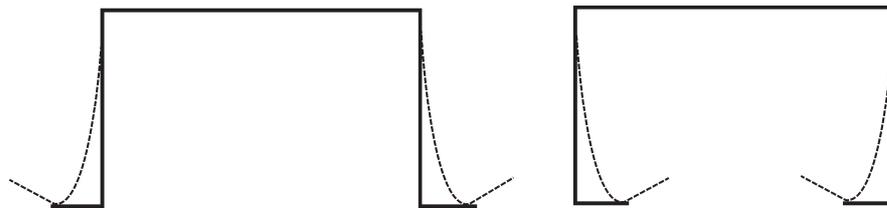


Bild 14 — Der Modus des Beulens mit Querschnittsveränderung wird durch einfache Lippen reguliert

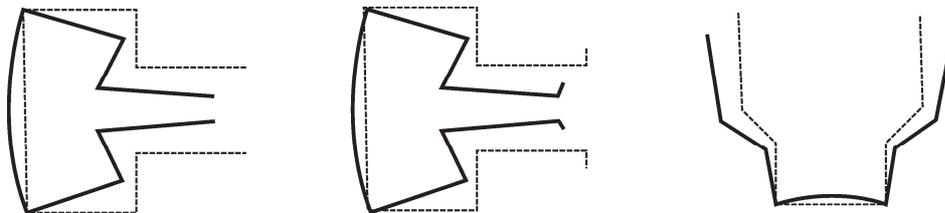


Bild 15 — Der Modus des Beulens mit Querschnittsveränderung wird nicht durch einfache Lippen reguliert

Geeignete Methoden der rationalen Analyse sind u. a.:

- a) Finite-Element-Methode Theorie II. Ordnung;
- b) Finite-Streifen-Methode Theorie II. Ordnung;
- c) allgemeine Trägertheorie II. Ordnung.

ANMERKUNG 1 Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform sind sehr empfindlich in Bezug auf die Endbedingungen (eingespannt oder einfach gestützt in Bezug auf den Modus des Beulens mit Querschnittsveränderung). Es sollte sorgfältig sichergestellt werden, dass die Randbedingungen für die Analyse oder für den Versuch mit denen des Prototyps des Stabelements übereinstimmen.

ANMERKUNG 2 Die Wellenlänge für Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform ist bedeutend länger als für örtliches Beulen. Dies bedeutet, dass Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform üblicherweise durch einen herkömmlichen Versuch mit einem kurzen Stützenstück nicht erkannt werden. Es kommt hinzu, dass wenn ein Versuch mit einem kurzen Stützenstück ein Versagen aufgrund von Beulen mit Querschnittsveränderung zeigt, es unwahrscheinlich ist, dass die Länge ausreicht, um die Mindestdeformationsknicklast feststellen zu können (siehe Anhang A.2.2).

9.2.5 Wirkung von örtlichem Beulen

Dünnwandige Druckstäbe neigen dazu, sich örtlich zu beulen. Bei der Berechnung der Tragfähigkeit und Steifigkeit muss die Wirkung von örtlichem Beulen berücksichtigt werden. Hier werden die effektiven Querschnittswerte, die auf der Basis der effektiven Breite einzelner Druckstäbe berechnet wurden, zugrunde gelegt. Effektive Querschnittswerte werden bei der Festigkeitsberechnung eingesetzt und sind für Druckstäbe ohne Lochungen nach EN 1993-1-3 zu berechnen bzw. mittels Druckversuche am kurzen Stützenstück nach A.2.1 zu ermitteln.

Gelochte Druckstäbe sind auf der Grundlage von Versuchen auszulegen (siehe A.2.1, A.2.2, A.2.3).

Druckstäbe ohne Lochungen können als völlig effektiv eingestuft werden, wenn das Verhältnis Breite zu Dicke mit folgenden Grenzwerten übereinstimmt:

- a) auf zwei Längskanten gestütztes Element

$$\frac{b_p}{t} \leq 1,28 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \tag{11}$$

- b) auf nur eine Kante gestütztes Element

$$\frac{b_p}{t} \leq 0,42 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \tag{12}$$

Für Elemente unter gleichmäßigem Druck, deren Grenzwerte für b_p/t , unterhalb den in Tabelle 6 angegebenen Grenzwerten liegen, braucht örtliches Beulen nicht berücksichtigt zu werden.

Tabelle 6 — Grenzwerte b_p/t bei Werten von f_y

f_y N/mm ²	Grenzwerte b_p/t	
	zwei Kanten abgestützt	eine Kante abgestützt
220	39,5	13
235	38	12,5
250	36,5	12
275	35	11,5
280	35	11
320	32	10,5
350	31	10
355	31	10
360	30	10
400	29	9
420	28	9
460	27	9
500	26	8

9.3 Träger

9.3.1 Allgemeines

Wo zutreffend, muss die Bemessung von kaltgeformten Regalbauteilen in Bezug auf Biegen folgende Faktoren berücksichtigen:

- a) örtliches Beulen;
- b) Stegkrüppeln;
- c) Biegeknicken;
- d) unelastisches Verhalten;
- e) Scherverzögerung;
- f) Flanschwellenbildung;
- g) Verdrehung.

ANMERKUNG 1 Regalträger mit offenem Querschnitt, wo die Biegungsebene keine Symmetrieebene ist, sind einer Kombination von Biegung und Torsion ausgesetzt und neigen auch in besonderer Weise zum Biegeknicken. Sie sind auch zum Teil durch die Lasten, die sie tragen, zurückgehalten. Die Tragkraft und die Steifigkeit solcher Träger, sowie Träger, wo die oben genannten Erscheinungen keine zuverlässige analytische Behandlung zulassen, werden am besten durch Versuche festgestellt (siehe A.2.10).

ANMERKUNG 2 Die Verdrehungsstabilität von Trägern von relativ großer Länge und/oder relativ großem Höhen-Breite-Verhältnis sollte bestätigt werden, insbesondere unter den normalen Bedingungen von zyklischen Belastungen und Entlastungen. Die Erscheinung von potentieller Inkrementalseitenverschiebung sollte berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 3 Eine Palette mit der Ladeeinheit kann steifer sein als die Träger, die sie unterstützen. Bei der Überprüfung der Träger in Bezug auf Stegkrüppeln bzw. Stegkrüppeln kombiniert mit Biegen, ist in einem solchen Fall davon auszugehen, dass die gesamte Last durch die zwei äußeren Elemente der Palette, wie in Bild 16 gezeigt, an die Träger angelegt werden.

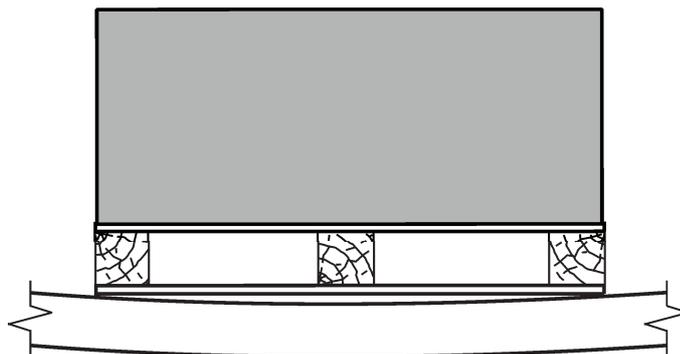


Bild 16 — Last durch die zwei äußeren Elemente der Paletten angelegt

ANMERKUNG 4 Hinweise über die Bedeutung von Positionierungenauigkeiten befinden sich im informativen Anhang E.

9.3.2 Biegetragmoment von Stabelementen, die keinem Biegeknicken ausgesetzt sind

Das Biegetragmoment von Trägern, die keinem Biegeknicken ausgesetzt sind, ist nach EN 1993-1-3:2006, 6.1.4 zu berechnen.

9.4 Auslegung von Trägern

9.4.1 Allgemeines

Die Trägerlänge kann als Abstand zwischen den Mittellinien von zwei nebenstehenden Stützen betrachtet werden. Für die Trägerprüfanalyse darf die Trägerlänge jedoch als Abstand zwischen den Stirnkanten der zwei nebenstehenden Stützen angenommen werden. Als Alternative kann der Träger mit der Stütze durch einen starren Arm verbunden werden, der die tatsächliche Exzentrizität des verwendeten Anschlusses darstellt.

ANMERKUNG Die in 9.4.1 angegebene Definition der Trägerlänge stimmt mit der Auswertung der Ergebnisse von Versuchen an Trägeranschlusslaschen überein.

Träger sind beim Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit wie folgt zu betrachten:

a) Grenzzustand der Tragfähigkeit

Träger müssen die Anforderungen nach 9.5 und 9.6 erfüllen, wenn sie den in 10.2 angegebenen Lasten ausgesetzt sind.

b) Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Empfohlene Grenzwerte sind in 11.2 angegeben.

ANMERKUNG Das Spiel von Trägeranschlüssen wird durch Versuche nach A.2.5 gemessen und ist üblicherweise gering genug, um bei der Auslegung des Trägers vernachlässigt zu werden. Der Konstrukteur sollte sich jedoch bewusst sein, dass dies nicht immer der Fall ist. Er sollte für übermäßiges Spiel, das ansonsten zu unannehmbaren Durchbiegungen bei der Betriebsbelastung und zu zusätzlicher Durchbiegung im Träger führen könnte, entsprechende Vorkehrungen treffen.

9.4.2 Belastungen auf Träger

Wenn nicht anderweitig festgelegt, wird die Belastung auf Träger gewöhnlich als gleichmäßig verteilt betrachtet. Bei Regalen, die gegen Verschiebung ausgesteift sind, können die in Anhang F angegebenen Koeffizienten verwendet werden, um die tatsächliche Belastungsanordnung in eine gleichmäßig verteilte Last umzuwandeln.

ANMERKUNG 1 Das Biegemoment an der Spannmitte und die Durchbiegung in der Mitte werden nicht von Verschiebungserscheinungen beeinflusst.

ANMERKUNG 2 Der Konstrukteur sollte aufpassen, dass besondere Fälle von gelagerten Waren erkannt werden, die gegebenenfalls zusätzliche Lasten auf den Träger verursachen. Zum Beispiel: Reifen oder Tonnen können nicht nur vertikale Lasten, sondern auch horizontale Lasten verursachen.

ANMERKUNG 3 Punktlasten aus Palettenquerträgern, die Stegverkrüppeln verursachen könnten, sollten beachtet werden. Eine Palette mit der Ladeinheit kann steifer sein als die Träger, die sie unterstützen. Bei der Überprüfung der Träger in Bezug auf Stegkrüppeln bzw. Stegkrüppeln kombiniert mit Biegen, darf in einem solchen Fall davon ausgegangen werden, dass die gesamte Last durch die zwei äußeren Elemente der Palette an die Träger angelegt wird.

Dort, wo Träger axiale Lasten als Teil eines Aussteifungssystems aufnehmen, sind die Träger nach 9.4.6 zu prüfen.

9.4.3 Bemessungsbiegemomente für Träger

9.4.3.1 Allgemeines

Wenn die Einspannwirkung der Verbindungslasche berücksichtigt wird, können die Bemessungsmomente direkt aus den Ergebnissen einer Berechnung II. Ordnung mit dem Bemessungs-Belastungsfaktor entnommen werden.

ANMERKUNG Bei Rahmen, die gegen Verschiebung ausgesteift sind, bietet eine Berechnung I. Ordnung eine ausreichende Schätzung des Biegemoments des Trägers im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

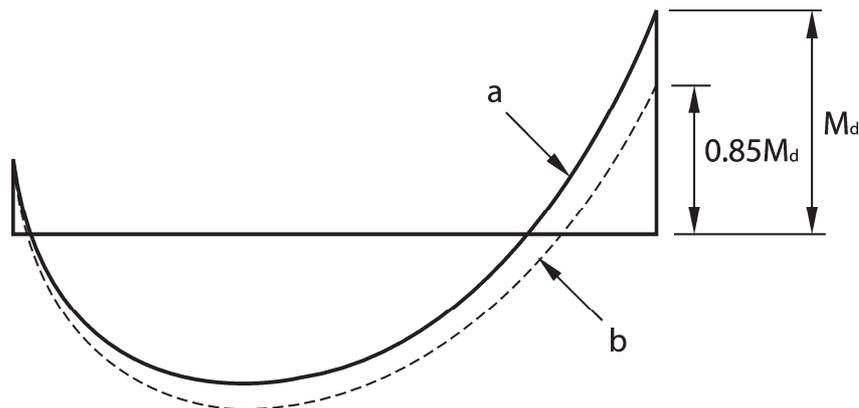
Bei Rahmen, die sich verschieben, können die Bemessungs-Biegemomente an der Trägermitte durch eine Berechnung I. Ordnung ermittelt werden.

Plastizitätstheorie darf für die Bemessung der Träger angewandt werden, auch wenn die Gesamtstabilität aufgrund der Elastizitätsberechnung nachgewiesen wurde, vorausgesetzt, dass das Rotationsvermögen der Trägeranschlusslaschen ausreichend berücksichtigt wird.

9.4.3.2 Neuverteilung der Biegemomente im Falle von elastischer Berechnung

Wenn eine elastische Berechnung bei linearem Verhalten der Verbindungslasche zeigt, dass das Bruchbiegemoment von einer oder von beiden Trägeranschlusslaschen überschritten wird, darf das Biegemoment im Träger sowie in der dazugehörigen Verbindungslasche bis zu 15 % des Endmomentes neu verteilt werden, wie in Bild 17 gezeigt, vorausgesetzt, dass:

- auch das Biegemoment an der Trägermitte neu verteilt wird, um das statische Gleichgewicht aufrechtzuerhalten;
- nach der Neuverteilung die Biegemomente an den Trägerenden nicht größer sind als das Bruchbiegemoment des Trägers bzw. der Trägeranschlusslasche. Siehe 9.5 und 9.6.



Legende

- a Moment aus der Berechnung
 b Moment nach Neuverteilung
 M_d Bemessungsmoment

Bild 17 — Neuverteilung von Trägermomenten

ANMERKUNG 1 Bei der Programmierung von Computern kann dieser Effekt aus praktischen Gründen durch die Aufnahme einer 15 %igen Erhöhung des Widerstandes der Trägeranschlusslasche sowie einer entsprechenden Verminderung des Widerstandes des Trägers simuliert werden.

ANMERKUNG 2 Es wird davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Überlastung der gesamten Regalkonstruktion gering genug ist, dass Neuverteilung sowohl für ausgesteifte als auch für unausgesteifte Palettenregale angewandt werden kann. Dies gilt nur, wenn das Regal fiktiven horizontalen Kräften und Beschickungslasten ausgesetzt wird (siehe 6.3.4.2 a)).

9.4.3.3 Näherungsbemessungsmethode

Eine Alternative für die Auslegung eines symmetrisch belasteten Trägerprofils besteht in einer Betrachtung, bei dem das Bemessungsbiegemoment des am höchsten belasteten Trägers seines Typs an der Spannmitte wie folgt angenommen wird:

$$M_{Sd} = \frac{W_d L}{8} \beta_m \left(1 - \frac{2/3 \beta_\theta}{\beta_m \left(1 + \frac{2EI_b}{k_e L} \right)} \right) \quad (13)$$

Dabei ist

$$k_e = \frac{k_b}{\left(I + \frac{k_b h}{3} EI_c \right)} \quad (14)$$

W_d die Gesamtbemessungslast auf Träger;

L die Spannweite zwischen den Stützenkanten;

H die Etagenhöhe;

k_b die Steifigkeit der Verbindungslasche;

I_b das Trägheitsmoment des Trägers;

I_c das Trägheitsmoment der Stütze;

worin

β_θ und β_m nach Anhang G sind.

9.4.4 Bemessungsscherkraft für Träger

Bei Regalen, die gegen Verschiebung ausgesteift sind, ist die Bemessungsscherkraft für den Träger und für die Verbindungslasche aus einer Gesamtsystemanalyse I. oder II. Ordnung zu ermitteln.

Bei Regalen, die sich frei verschieben können, ist die Bemessungsscherkraft direkt aus einer Berechnung II. Ordnung zu berechnen.

Wenn eine Berechnung I. Ordnung angewandt wird, müssen die Scherkräfte im Träger aufgrund von Verschiebung durch folgenden Faktor vergrößert werden

$$\beta = \frac{V_{cr}}{V_{cr} - V_{Sd}} \quad (15)$$

Dabei ist

V_{Sd} der Bemessungswert der vertikalen Last auf den Rahmen;

V_{cr} der kritische elastische Wert der vertikalen Last bei Versagen im Verschiebungsmodus.

Die Bemessungsscherkraft ist die Summe der Scherkraft aus vergrößerter Verschiebung und die Scherkraft aufgrund von vertikalen Lasten auf dem Regal.

Bei Regalen von regelmäßiger Konstruktion und Belastung, wo die Füße gelenkig gelagert sind, darf der Bemessungswert der Scherkraft wie folgt angenommen werden:

$$S_{Sd} = \frac{W_d}{2} + \frac{2\phi W_d h(3n_s - 1)}{4L} \beta \quad (16)$$

Bei Regalen von regelmäßiger Konstruktion und Belastung, wo die Stützenfüße teileingespannt sind, darf der Bemessungswert der Scherkraft wie folgt angenommen werden:

$$S_{Sd} = \frac{W_d}{2} + \frac{2\phi W_d h(2n_s - 1)}{4L} \beta \quad (17)$$

Dabei ist

- ϕ die Vorverdrehung;
- n_s die Anzahl der Trägerebenen.

9.4.5 Durchbiegung von Trägern

Beim Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist die maximale Durchbiegung eines Trägers durch eine Berechnung I. oder II. Ordnung, die eine Schachbrettbelastung ausreichend berücksichtigt, zu ermitteln.

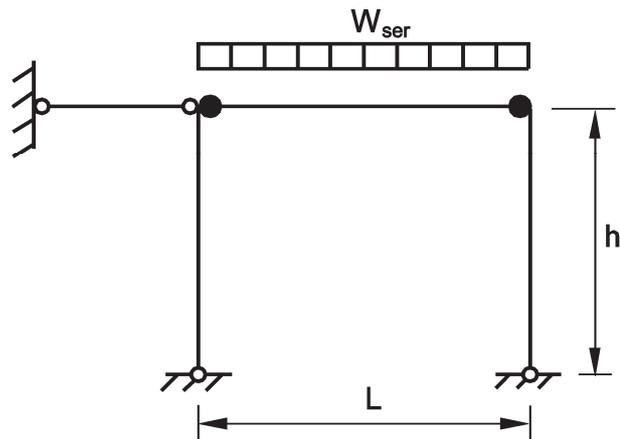
Bei Regalen von regelmäßiger Konstruktion und Belastung darf die maximale Durchbiegung eines Trägers wie folgt angenommen werden:

$$\Delta_{\max} = \frac{5W_{\text{ser}}L^3}{384EI_b} \beta_{\Delta} \left(1 - \frac{0,8\beta_{\theta}}{\beta_{\Delta} \left[1 + \frac{2EI_b}{k_e L} \right]} \right) \quad (18)$$

Dabei ist

- W_{ser} die Gesamt-Gebrauchstauglichkeitslast je Träger;
- β_{θ} und β_{Δ} nach Anhang G.

ANMERKUNG Das Modell für die in 9.4.5 angegebene Formel ist in Bild 18 dargestellt. Wenn Durchbiegungen aus einer Gesamtsystemanalyse der Gesamtkonstruktion im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berechnet werden, sollte die Auslegung des Trägers zugrunde gelegt werden, der die maximale Durchbiegung aufweist.



Legende

- halbstarrer Anschluss
- h Etagenhöhe
- L Spannweite
- W_{ser} Gebrauchslast

Bild 18 — Modell für die Näherungsberechnung von Trägerdurchbiegung

9.4.6 Träger als Bindeglied in ausgesteiften Palettenregalen

Die Träger von Palettenregalsystemen mit Rückenverstrebung haben eine zusätzliche Funktion indem sie die Stütze mit dem Aussteifungssystem verbinden und folglich eine zusätzliche Druck- oder Zuglast tragen.

ANMERKUNG Träger als Bindeglieder stellen oft den ausschlaggebenden Bemessungsfall bei ausgesteiften Hochregalen dar.

Bei der Betrachtung von Durchbiegung und Axialdruck dürfen folgende Kriterien angewandt werden:

- a) wenn der Träger voll belastet ist, ist eine Prüfung auf Knicken nicht erforderlich;
- b) wenn der Träger unbelastet ist, darf die Knicklänge der Träger als $L_b = L$ angenommen werden;
- c) wenn der Träger teilbelastet ist, dürfen die Knicklängen der Träger wie in Tabelle 7 dargestellt angenommen werden.

Tabelle 7 — K'-Faktoren (Knicklänge = $K \times$ Systemlänge)

Anzahl Ladeeinheiten je Fach	K für einfeldrige Träger	K für doppeltefeldrige Träger
n aus n	Prüfung auf Knicken nicht erforderlich	Prüfung auf Knicken nicht erforderlich
1 aus 2	0,6	0,5
1 in der Spannmitte aus 3	1,0	0,9
2 aus 3	0,6	0,5
2 in der Spannmitte aus 4	0,7	0,6
3 aus 4	0,5	0,45

9.4.7 Bemessungswiderstand bezogen auf Stegkrüppeln

Die Bemessung von Trägern in Bezug auf Stegkrüppeln, das durch eine örtliche Last bzw. einen Auflagedruck entsteht, ist nach der Anleitung in EN 1993-1-3 vorzunehmen.

9.4.8 Bemessungswiderstand bezogen auf Scherkräfte

Die Bemessung von Trägern in Bezug auf Scherkräfte ist nach der Anleitung in EN 1993-1-3 vorzunehmen.

9.4.9 Kombination von Scherkraft, Längskraft und Biegemoment

Die Bemessung von Trägern in Bezug auf kombinierte Scherkraft, Längskraft und Biegemoment ist nach der Anleitung in EN 1993-1-3 vorzunehmen.

9.4.10 Kombination von Biegemoment und Stegkrüppeln

Die Bemessung von Trägern in Bezug auf kombiniertes Biegemoment und Stegkrüppeln, die durch eine örtliche Last bzw. einen Auflagedruck entsteht, ist nach der Anleitung in EN 1993-1-3 vorzunehmen.

9.5 Auslegung von Trägeranschlusslaschen

9.5.1 Allgemeines

Verbindungslaschen müssen folgende Bedingungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfüllen:

Das Bemessungsbiegemoment in der Verbindungslasche darf das Biegetragmoment der Verbindungslasche nach Neuverteilung nicht überschreiten. Siehe 9.4.3.2.

Die Bemessungsscherkraft in der Verbindungslasche darf die Scherfestigkeit der Verbindungslasche nicht überschreiten.

Falls Prüfungen in der umgekehrten Richtung Ergebnisse für Steifigkeit und Festigkeit aufweisen, die weniger als 50 % der in der positiven Richtung gemessenen Werte betragen, so sind für die Bemessung die tatsächlichen Werte zu messen.

9.5.2 Bemessungsbiegemomente in Trägeranschlusslaschen

Bei Regalsystemen, die gegen Verschiebung ausgesteift sind, ist das Bemessungsbiegemoment der Trägeranschlusslasche entweder durch Anwendung einer Gesamtsystemanalyse der I. Ordnung oder der II. Ordnung zu berechnen.

Für Regalsysteme, die sich frei verschieben können, können die Biegemomente in der Verbindungslasche direkt aus der Berechnung II. Ordnung entnommen werden.

Die Bemessung der Trägeranschlusslasche darf auf das Biegemoment, das an der Stirnseite der Stütze berechnet wird, basieren, und nicht an der Systemlinie.

Wird eine Berechnung I. Ordnung angewandt, so müssen die Momente in der Trägeranschlusslasche aufgrund von Verschiebung um folgenden Faktor

$$\beta = \frac{V_{cr}}{(V_{cr} - V_{Sd})} \quad (19)$$

erhöht werden, wie in Anhang B festgelegt.

Die Trägeranschlusslasche muss für die Summe der vergrößerten Verschiebungsmomente und denen aus vertikalen Lasten ausgelegt werden.

Als Alternative für ein genormtes Regal dürfen die Trägeranschlusslaschen-Momente mit der Annahme berechnet werden, dass durch Lastverschiebung Wendepunkte in Trägern und Stützen an den Mittelpunkten sämtlicher Stabelemente entstehen.

Für eine Konstruktion mit gelenkigen Füßen ist das Bemessungsmoment für die Trägeranschlusslasche:

$$M_{Sd} = \frac{W_d L}{12} \frac{\beta_\theta}{\left(1 + \frac{2EI_b}{k_b L}\right)} + \frac{\phi W_d h(3n_s - 1)}{4} \beta \quad (20)$$

Wenn die Fußverbindungen des Regals halbsteif sind, mit einer Steifigkeit mindestens so hoch wie die der Trägeranschlusslasche, darf das Moment der Verbindungslasche wie folgt angenommen werden:

$$M_{Sd} = \frac{W_d L}{12} \frac{\beta_\theta}{\left(1 + \frac{2EI_b}{k_b L}\right)} + \frac{\phi W_d h(2n_s - 1)}{4} \beta \quad (21)$$

wobei β_θ Anhang G entspricht.

9.5.3 Bemessungswert der Scherkraft für Trägeranschlusslaschen

Der Bemessungswert für die Scherkraft der Verbindungslasche wird dem in 9.4.4 angegebenen Wert gleichgesetzt.

9.5.4 Bemessungswert der Scherkraft und Biegemoment für Trägeranschlusslaschen

Wenn die Bemessungsscherkraft an der Stirnseite der Stütze S_d größer ist als M_{Rd}/a (siehe A.2.4), ist folgende Anforderung zu erfüllen:

$$M_d / M_{Rd} + (S_d - M_{Rd} / a) / S_{Rd} \leq 1,0$$

9.6 Träger, die Biegung und Torsion ausgesetzt sind

9.6.1 Allgemeines

Wenn Verwölbungsspannungen aufgrund von Torsionseinflüssen auftreten, muss die Auslegung auf der Grundlage von Versuchen erfolgen, oder alternativ, durch Berechnung nach EN 1993-1-3 ermittelt werden.

ANMERKUNG Die richtige Kombination von Bieguings- und Verwölbungsspannungen ist schwierig. Die einspannende Wirkung typischer Palettenlasten auf Verdrehung kann berücksichtigt werden, und im normalen Fall eines Regalträgers mit einem symmetrischen oder geschlossenem Querschnitt können die aus exzentrischer Belastung herrührenden Torsionsspannungen vernachlässigt werden. Bei offenen Profilen und/oder schlanken Trägern zusammen mit asymmetrischen Trägern mit einem offenen Querschnitt ist ein Versuch üblicherweise erforderlich.

9.6.2 Biegedrillknicken in Trägern

Der Bemessungswiderstand $M_{b,Rd}$ von Trägern, welche Biegedrillknicken ausgesetzt sind, ist entweder durch Versuche nach A.2.10 oder durch folgende Berechnung zu ermitteln:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{f_y W_{eff,y}}{\gamma_M} \quad (22)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ aber } \chi_{LT} \leq 1 \quad (23)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (24)$$

Dabei ist

f_y der charakteristische Wert der Streckgrenze nach 8.1;

$W_{eff,y}$ das Widerstandsmoment des effektiven Querschnitts um die Hauptachse;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}} \right]^{1/2}$$

$\lambda_{LT} = 0,34$ (Knickkurve „b“ nach EN 1993-1-3);

M_{cr} das theoretische elastische kritische Moment für Biegedrillknicken.

ANMERKUNG Die Anwendung von Knickkurve „b“ wird als allgemein gültig für Palettenregalträger angesehen. Dieser Faktor kann jedoch in Abhängigkeit vom Trägerprofil variieren. Eine weitere Hilfestellung ist in EN 1993-1-3 zu finden.

Zur Berechnung von M_{cr} wird der Bruttoquerschnitt zugrunde gelegt (für Querschnitte, die um die kleine Achse symmetrisch sind, siehe EN 1993-1-1), wobei die Effektivlänge gleich Länge des Trägers eingesetzt wird.

ANMERKUNG Bilder 19 und 20 weisen darauf hin, ob typische Trägerprofile einem Biegedrillknicken ausgesetzt sein können oder nicht.

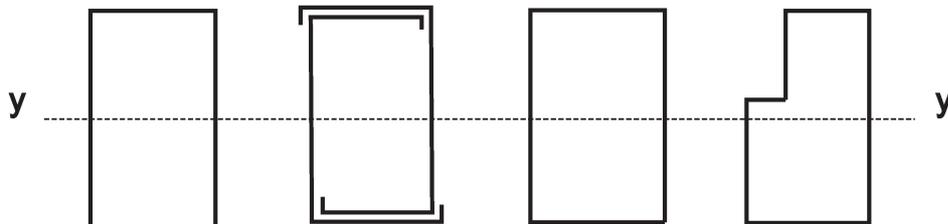


Bild 19 — Beispiele von Trägern mit einem mäßigen Höhen/Breiten-Verhältnis, für die Biegedrillknicken wahrscheinlich nicht kritisch ist

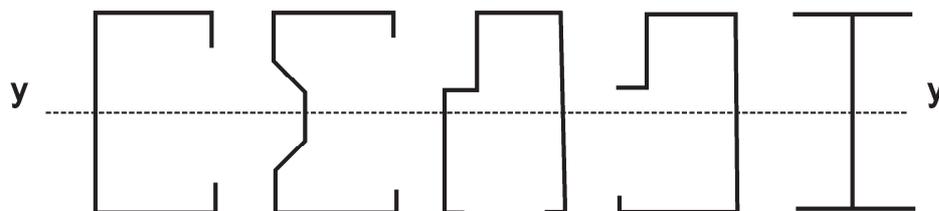


Bild 20 — Beispiele von Trägern, für die Biegedrillknicken wahrscheinlich kritisch ist

9.7 Druck, Spannung und Biegung in Stabelementen

9.7.1 Ungelochte Druckstäbe

Ungelochte Stabelemente sind entweder aufgrund von Berechnung oder Versuchen nach diesem Dokument auszulegen.

9.7.2 Gelochte Druckstäbe

Bei dem Auslegungsverfahren für gelochte Druckstäbe ist das Vorhandensein von regelmäßigen Anordnungen von Löchern oder Schlitzern richtig zu berücksichtigen. Es stehen drei Alternativverfahren zur Verfügung:

- a) Auslegung nach Versuchen nach A.2.1 und A.2.3
- b) Ein gänzlich theoretisches Verfahren, das die Lochungen (z. B. durch Anwendung von Finite-Elementen) zusammen mit örtlichem und allgemeinem Beulen und Beulen mit Veränderung der Querschnittsform, sowie Imperfektionen berücksichtigt. Die Gültigkeit der Art und Weise, wie Imperfektionen berücksichtigt werden, muss durch Versuche geprüft werden.

ANMERKUNG Es ist implizit, dass für die Bemessung von kontinuierlich gelochten Stabelementen Versuche erforderlich sind. Es ist hier nicht beabsichtigt, die Entwicklung analytischer Verfahren (z. B. anhand von finiten Elementen) zur Voraussage des Verhaltens von Stabelementen mit regelmäßigen Anordnungen von Löchern bzw. Schlitzern zu beschränken. Dort wo demonstriert werden kann, dass eine rationale Analyse ausreicht, darf diese als Alternative zum entsprechenden Versuchsverfahren angewendet werden.

- c) Folgendes Verfahren beruht auf dem Einsatz der durch Versuchsverfahren ermittelten effektiven Querschnittsfläche A_{eff} nach A.2.1. Diese wird aufgrund von Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform wie folgt modifiziert werden.

- 1) Ein Versuch von Beulen mit Veränderung der Querschnittsform ist nach A.2.2 mit einem Stützenstück durchzuführen. Die Länge der Stütze ist der Länge des einzelnen Aussteifungsfelds gleichzusetzen, das am nächsten zu einem Meter liegt, um eine Traglast $N_{\text{bd,Rd}}$ zu erreichen.

Im Falle, dass die Länge des Aussteifungsfelds eines Rahmens variiert, ist jede Aussteifungsfeldlänge je Stützenkombination zu prüfen. Die Anzahl der Prüfungen darf durch Anwendung von Finite-Element-Analyse auf ein Minimum reduziert werden. Die Gültigkeit des Finite-Element-Modells ist durch die Prüfergebnisse zu prüfen.

- 2) Die Nenntraglast $N_{\text{b,Rd}}$ bei dieser Stützenlänge, ohne Auftreten vom Beulen mit Veränderung der Querschnittsform, ist zu berechnen. Dies geschieht durch Einsatz der effektiven Querschnittsfläche und der Nennwerte der Streckspannung und Dicke und muss das Biegedrillknicken nach 9.7.4 und 9.7.5 berücksichtigen. Die Biegeknicklängen sind dem Abstand zwischen den Mittelpunkten der Auflagepunkte des Stabelements gleichzusetzen und die Drillknicklänge ist der Hälfte des kaltgeformten Profils des Prüfstücks gleichzusetzen.
- 3) Das Verhältnis $\varepsilon = N_{\text{db,Rd}}/N_{\text{b,Rd}}$ wird dann ermittelt. Wenn $\varepsilon \geq 1,0$, darf keine Anpassung der effektiven Querschnittsfläche vorgenommen werden.
- 4) Wenn $\varepsilon < 1,0$, ist der Wert von A_{eff} auf einen neuen Wert zu reduzieren, bei dem der berechnete Wert von $N_{\text{b,Rd}}$ dem Wert aus dem Versuch von Beulen mit Veränderung der Querschnittsform $N_{\text{db,Rd}}$ gleichgesetzt ist und $\varepsilon = 1$. Der neue Wert von A_{eff} ist für sämtliche nachfolgenden Berechnungen einzusetzen.

9.7.3 Verifikation von Querschnitten

Bei gleichmäßigem Druck muss folgende Bedingung verifiziert werden:

$$N_{Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (25)$$

Dabei ist

N_{Sd} die Druckkraft aufgrund der Bemessungslast;

$$N_{c,Rd} = \frac{f_y A_{eff}}{\gamma_M}$$

A_{eff} der effektive Querschnitt für gleichmäßig verteilten Druck;

γ_M nach 7.5.

Bei der Auslegung von Stützen für typische Palettenregale ist es nicht erforderlich, eine etwaige Verschiebung des Schwerpunkts der effektiven Querschnittsfläche im Verhältnis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnitts zu berücksichtigen.

9.7.4 Bemessungstragfähigkeit in Bezug auf Biegeknicken

9.7.4.1 Allgemeines

Der Bemessungswert für Knickfestigkeit $N_{b,Rd}$ wird wie folgt ermittelt:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_M} = \chi N_{c,Rd} \quad (26)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{aber } \chi \leq 1 \quad (27)$$

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (28)$$

Dabei ist

f_y der charakteristische Wert der Streckgrenze nach 8.1;

A_g die Gesamtquerschnittsfläche;

A_{eff} die effektive Fläche eines Querschnitts (bei gleichmäßigem Druck mit Spannung $= f_y$);

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \sqrt{\beta_1} \quad (29)$$

N_{cr} die kritische elastische Kraft für Biegeknicken des Querschnitts;

$$\beta_1 = \frac{A_{eff}}{A_g}$$

λ = Schlankheitsgrad für entsprechenden Knickmodus = l/i_d
(entweder $\lambda_y = l_y/i_{g,y}$ oder $\lambda_z = l_z/i_{g,z}$)

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

l die Knicklänge nach 9.7.4.3;

i_g der Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts um die entsprechende Achse;

α der Imperfektionsfaktor, nach 9.7.4.2 ermittelt.

9.7.4.2 Knickkurven

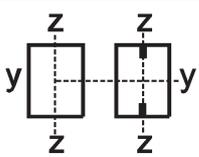
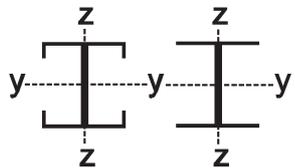
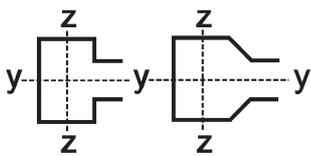
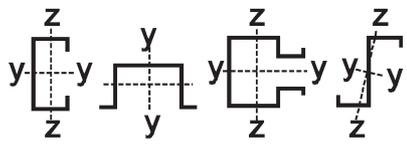
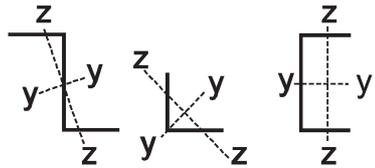
Vier Knickkurven (d. h. Verhältnis Bemessungsspannung zu Schlankheitsgrad), abhängig vom Querschnittstyp und Knickebene, stehen zur Verfügung. Die Knickkurven sind jeweils mit einem Wert des Imperfektionsfaktors α , wie in Tabelle 8 aufgeführt, verbunden.

Tabelle 8 — Imperfektionsfaktoren

Knickkurve	a_R	a	b	c
Imperfektionsfaktor α	0,13	0,21	0,34	0,49

Die entsprechende Knickkurve für ein bestimmtes Profil ist aus Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9 — Imperfektionsfaktor α für verschiedene kaltgeformte Querschnittstypen

Querschnittstyp		Knicken um die Achse	
		y - y	z - z
	wenn f_{yb} eingesetzt	$\alpha = 0,34$	$\alpha = 0,34$
	wenn f_{ya} eingesetzt	$\alpha = 0,49$	$\alpha = 0,49$
		$\alpha = 0,21$	$\alpha = 0,34$
		$\alpha = 0,34$	$\alpha = 0,34$
		$\alpha = 0,34$	$\alpha = 0,34$
		$\alpha = 0,49$	$\alpha = 0,49$
<p>ANMERKUNG Bei anderen Querschnittstypen, die hier nicht abgebildet sind, kann α entsprechend jenem Querschnitt ausgewählt werden, dessen Form am ähnlichsten ist.</p>			

Zusammengesetzte Profile sind mit einem der folgenden Werte zu kontrollieren:

- die Grundstreckgrenze f_{yb} des flachen Blechmaterials, aus dem das Stabelement kaltgeformt wird, mit Knickkurve b;
- die Durchschnittsstreckgrenze f_{ya} des Stabelements nach dem Kaltformen, ermittelt nach der in 8.2 angegebenen Definition mit Knickkurve c.

Wenn die Knickkurve durch Versuche nach A.2.3 ermittelt wird, so darf diese Knickkurve eingesetzt werden.

9.7.4.3 Knicklänge

Die Knicklänge ℓ für ein bestimmtes Stabelement, das ein Element eines Systems verkörpert, wird als die Länge einer Stütze gleichen Querschnitts mit beiden Enden gelenkig ermittelt, die die gleiche Eulersche Knicklast aufweist wie das bedachte System.

Wenn die Längskräfte und das Biegemoment in der Knickebene eines Stabelements aufgrund einer Berechnung II. Ordnung ermittelt wurden, sind sie bereits durch Effekte II. Ordnung vergrößert, darum darf die Knicklänge und die Systemlänge als gleichwertig betrachtet werden. Wenn eine Gesamtsystemanalyse II. Ordnung angewandt wird, ist es zulässig, die Knicklängen in der Knickebene für den Modus ohne Verschiebung anzuwenden.

Ein geeignetes Verfahren besteht darin, die nicht verschiebbare elastische kritische Last des Regals zu ermitteln und anschließend, für jede Ebene nacheinander, die zu verwendende effektive Länge mit der entsprechenden Stützenkurve zu berechnen.

ANMERKUNG 1 Die nachstehende Ermittlung der Knicklänge gilt für die Stabelemente von verstrebtten Rahmen sowie für Rahmen, bei denen keine Berechnung II. Ordnung vorliegt.

ANMERKUNG 2 Die Knicklänge ℓ eines Druckstabes kann durch rationale Analyse oder durch Versuche ermittelt werden, wobei das Verhalten des gesamten Rahmens und die Art der Einspannung an den Anschlüssen von verstrebtten Stabelementen bzw. anderen Einspannungselementen ausreichend berücksichtigt werden muss.

ANMERKUNG 3 Die Systemlängen zusammen mit den entstehenden Biege- und Drillknicklängen werden in Ganglängsrichtung und Gangquerrichtung im Allgemeinen nicht die gleichen sein. Hinzu kommen gegebenenfalls Stoßlaschen und Querschnittsveränderungen zwischen den Knotenpunkten der Aussteifung. In Gangquerrichtung bereiten Veränderungen der Schubbelastung zwischen den Knotenpunkten weitere Probleme. Es ist nicht möglich, eine Anleitung in Bezug auf die Bemessung von Druckstäben vorzuschreiben, welche sämtliche Möglichkeiten einschließt. Wird eine moderne 3-D-Analyse nach 10.1.3 angewandt, so entsteht dieses Problem nicht. In anderen Fällen basiert die Bemessung auf zwei orthogonalen Analysen, und von daher braucht der Konstrukteur möglicherweise zur Bestimmung entsprechender effektiver Längen der Stabelemente Urteilsvermögen. Bei einem ausgesteiften Rahmen bzw. bei einem unausgesteiften Rahmen, wo die Kräfte der Stabelemente durch eine Analyse II. Ordnung ermittelt wurden, sollten diese im Allgemeinen die entsprechende Systemlänge nicht überschreiten.

Wenn die Knicklänge nicht durch eine Gesamtsystemanalyse ermittelt wurde, sind folgende Werte des effektiven Längsfaktors K einzusetzen, wobei gilt:

$$\ell = K L$$

wobei L die Systemlänge (d. h. Länge zwischen den Verstrebungspunkten bezogen auf den bedachten Knickmodus) ist:

- a) für jedes Stabelement, dessen beide Enden, bezogen auf den bedachten Knickmodus in Position gehalten werden

$$K = 1$$

- b) für das untere Stück einer Stütze eines in der Gangquerrichtung verstrebtten Rahmens gilt nachstehender Wert für K

unter der Voraussetzung, dass:

- 1) Verstrebungselemente an beiden Flanschen der Stütze angeschlossen sind;
- 2) Verstrebungsexzentrizitäten die Anforderungen von 8.6 und 8.7 erfüllen;
- 3) eine Fußplatte an der Stütze angebracht ist;
- 4) der Fußboden aus Beton besteht.

dann $K = 0,9$

Wenn sämtliche oben angegebene Bedingungen außer 3) oder 4) erfüllt sind

dann $K = 1,0$.

L = Höhenabstand zwischen Boden und zweitem Knotenpunkt (h in Bild 21 a) und b)).

ANMERKUNG Bei einem ausgesteiften Rahmen, dessen unterster Knotenpunkt nicht nah am Fußboden angeordnet ist (siehe 8.6), sollte die zwischen Boden und erstem Knotenpunkt befindliche Länge als frei verschiebbar betrachtet werden.

- c) für alle anderen Teile der Stütze eines in der Gangquerrichtung verstrebtten Ständerrahmens gilt:

$K = 1,0$

L = Höhenabstand zwischen den Knotenpunkten (h_p in Bild 21 a) und b)).

ANMERKUNG Der in Bild 21 c) abgebildete Zustand kommt oft vor, und die Stabilität des nicht ausgesteiften oberen Teils der Stütze ist besonders zu beachten.

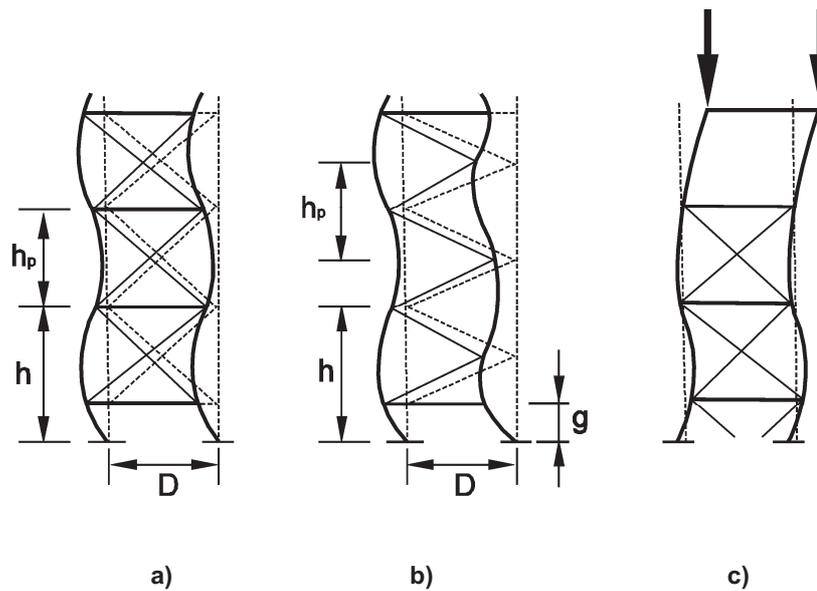
- d) für eine Horizontale und eine Diagonale eines Rahmens

vorausgesetzt, dass das Verstrebungselement mit einer Kehlnaht mit einer Mindestlänge von 20 mm an beiden Flanschen der Stütze geschweißt ist, gilt

$K = 0,9$ nur beim Knicken innerhalb der Tragwerksebene

In allen anderen Fällen, $K = 1,0$.

Wenn die Anschlüsse an den Enden eines Verstrebungselements mit dessen Mittellinie nicht zusammenfallen, d. h. die Exzentrizitäten stimmen nicht mit 8.6 überein, muss das Element für eine Kombination von Längslast und Biegung ausgelegt werden.



Legende

- D Stützenabstand in einem Rahmen
- g Exzentrizität
- h Etagenhöhe
- h_p Länge des längsten vollwandigen Elements

Bild 21 — Knickmodi in Rahmenebene bei ausgesteiften Rahmen

e) Bei Rahmen mit Verstrebung in der Ganglängsrichtung (Rückenverstrebung):

Der Faktor K ist der gleiche wie der in b) und c) angegebene Wert für die Gangquerrichtung.

Für das unterste Stück der Stütze müssen drei Fälle in Betracht gezogen werden (siehe Bild 22).

- Fall 1: Die Verstrebungspunkte fallen nicht mit den Knotenpunkten zusammen (d. h. sie erfüllen 8.6 nicht):

$L =$ Höhe vom Boden bis zur ersten Trägerebene (h in Bild 22).

- Fall 2: Der unterste Träger befindet sich in einer Höhe über dem Boden, ähnlich der Trägerabstandshöhe:

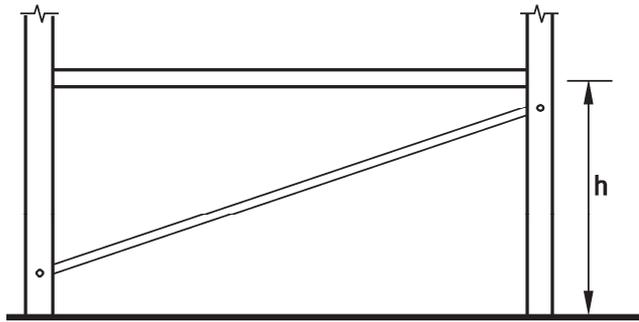
$L =$ Höhe vom Boden bis zur ersten Trägerebene (h in Bild 22).

- Fall 3: Der unterste Träger oder Verstrebungsknotenpunkt ist in Bodennähe (siehe 8.6) angeordnet:

$L =$ Höhe vom Boden bis zur zweiten Trägerebene oder der über dem Verstrebungsknotenpunkt befindlichen Trägerebene (h in Bild 22).

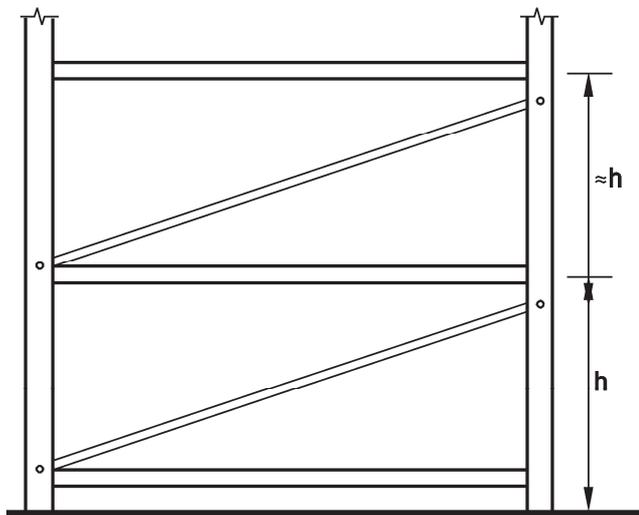
Bei anderen Stützenlängen.

$L =$ Höhenabstand zwischen Trägerebenen.



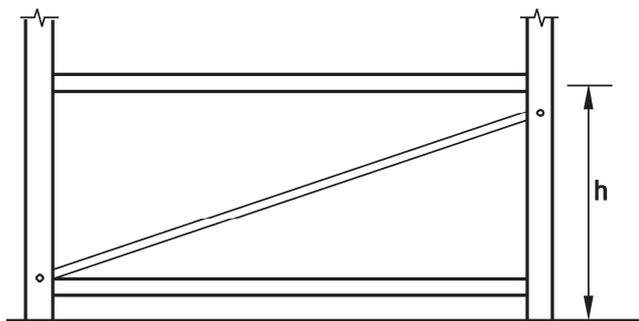
a)

Fall 1: Die Aussteifungsknotenpunkte stimmen mit den Träger-Knotenpunkten nicht überein.



b)

Fall 2: Der unterste Träger befindet sich in einer Höhe über dem Boden, ähnlich der Trägerabstandshöhe.



c)

Fall 3: Der unterste Träger oder Aussteifungspunkt ist in Bodennähe angeordnet.

Bild 22 — In Ganglängsrichtung ausgesteifte Rahmen

Wenn bei einem verstrebtten Rahmen in Ganglängsrichtung der unterste Knotenpunkt nicht nach 8.6 angeordnet ist, muss die Länge zwischen Boden und erstem Knotenpunkt als frei verschiebbar betrachtet werden.

- f) Bei Rahmen, die in der Ganglängsrichtung nicht ausgesteift sind.

Wenn die Berechnung II. Ordnung durchgeführt wird, wird die Gesamtstabilität bei den vergrößerten Biegemomenten berücksichtigt. Daher wird eine konservative Bemessung erfolgen, wenn $K = 1$ zusammen mit den im Punkt e) oben angegebenen Werten von L eingesetzt wird.

9.7.5 Drillknicken und Biegedrillknicken

9.7.5.1 Allgemeines

Drillknicken ist üblicherweise nur bei punktsymmetrischen offenen Profilen ein kritischer Faktor. Monosymmetrische und nichtsymmetrische Profile sind üblicherweise Biegedrillknicken ausgesetzt.

Zusätzlich zur Prüfung auf Drillknicken sollte auch auf Biegedrillknicken um die schwächere Hauptachse geprüft werden.

9.7.5.2 Bemessungswiderstand bezogen auf Drill- und Biegedrillknicken

Der Bemessungsknickwiderstand $N_{b,Rd}$, entsprechend dem Drill- oder Biegedrillknicken, muss unter Verwendung der in 9.7.4 angegebenen Ausdrücke ermittelt werden, wobei der kleinere Wert von $N_{cr,T}$ oder $N_{cr,FT}$ für N_{cr} eingesetzt wird, wobei gilt

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left(G I_T + \frac{\pi^2 E I_w}{L_{eT}^2} \right) \text{ kritische Kraft für Drillknicken} \quad (30)$$

$$N_{cr,FT} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left[1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left(1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right] \quad (31)$$

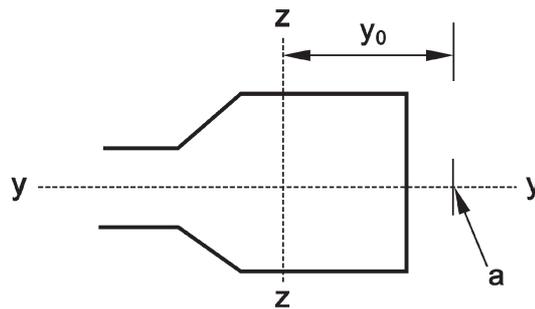
ANMERKUNG Der Ausdruck (31) gilt nur für Querschnittsflächen, die um die y-y Achse (z. B. $z_0 = 0$) symmetrisch sind. Für andere Bereiche sollte eine Anleitung über Literatur erhalten werden.

Dabei ist

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 \quad (32)$$

$N_{cr,FT}$ die kritische Last für Drill- und Biegedrillknicken;

$N_{cr,y}$ die elastische kritische Last der Stütze, bezogen auf die Knicklängen nach 9.7.4.3.



Legende

a Schubmittelpunkt

Bild 23 — Anordnung des Schubmittelpunktes

A_g die Bruttoquerschnittsfläche

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2$$

E der Elastizitätsmodul

G der Schermodul

$$B = 1 - (y_0/i_0)^2$$

y_0 der Abstand zwischen dem Schubmittelpunkt und dem Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts in der y-Achse (siehe Bild 23);

i_y, i_z der Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts um die y-Achse bzw. die z-Achse;

I_T der St Venantsche Torsionswiderstand des Bruttoquerschnitts;

I_W die Verwölbungskonstante des Bruttoquerschnitts;

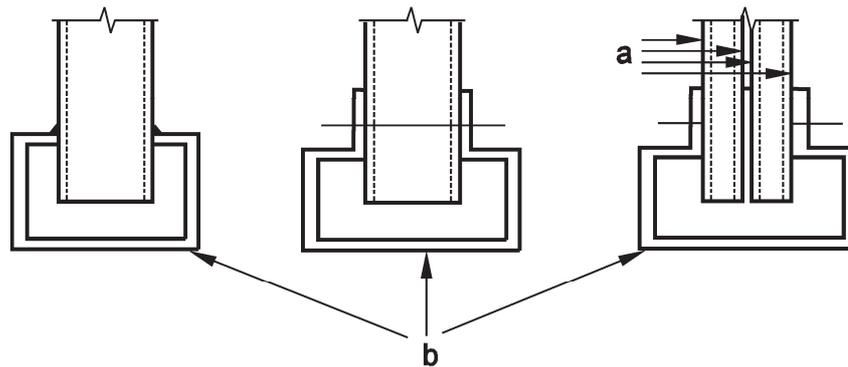
L_{eT} die effektive Länge des Stabelements bezogen auf Verdrehen.

Folgende Drillknicklänge ist einzusetzen, es sei denn, dass eine strengere Methode zu rechtfertigen ist:

- $L_{eT} = 1,0 \times$ Abstand zwischen Verstrebungsknotenpunkten, wo die Anschlüsse vollen Torsionswiderstand aufweisen;
- $L_{eT} = 0,5 \times$ Abstand zwischen Verstrebungsknotenpunkten, wo die Anschlüsse vollen Torsionswiderstand und vollen Verwölbungswiderstand aufweisen.

In der Praxis ist es schwierig, vollen Torsions- und vollen Verwölbungswiderstand zu erzielen.

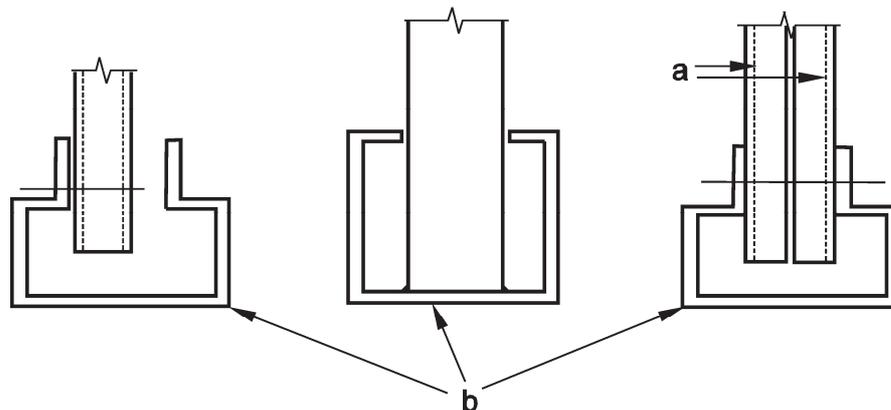
Die Beispiele in Bild 24 a) und 24 b) können hier eine Hilfestellung bieten.



Legende

- a Stege an Hohlprofilen mit Schrauben durch zwei Stege je Element
- b zu prüfende Stützen

Bild 24 a) — Beispiele von Anschlüssen von Aussteifungselementen mit großer Einspannung



Legende

- a Stege
- b zu prüfende Stützen

Bild 24 b) — Beispiele von Anschlüssen von Aussteifungselementen mit beschränkter Einspannung

Für Endanschlüsse, die ähnlich sind wie in Bild 24 a) abgebildet, wo angenommen werden kann, dass sie einen großen Verwölbungswiderstand und Torsionswiderstand bieten, ist L_{eT} als $0,7 \times$ Abstand zwischen Knotenpunkten anzunehmen.

Für Endanschlüsse, die ähnlich sind wie in Bild 24 b) abgebildet, wo angenommen werden kann, dass sie teilweise einen Verwölbungswiderstand und Torsionswiderstand bieten, ist L_{eT} als $1,0 \times$ Abstand zwischen Knotenpunkten anzunehmen.

ANMERKUNG Niedrigere Werte für L_{eT} , z. B. wo L_{eT} größer als $0,5 \times$ Abstand zwischen den Knotenpunkten ist, können auch durch einen Vergleich zwischen den theoretischen Ausdrücken für Drillknicken und Biegedrillknicken mit den Ergebnissen der Druckversuche an Stützen, wie in A.2.3 festgelegt, erreicht werden.

9.7.6 Kombinierte Biegung und Längsbelastung

9.7.6.1 Allgemeines

Dies kann behandelt werden wie folgt oder durch Verweisung auf EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3.

9.7.6.2 Biegung und Längsdruck

Bei Stabelementen, welche einer Kombination aus Biegung und Längsdruck ausgesetzt sind, muss folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1 \quad (33)$$

wobei sich N_{Sd} , M_{Sd} aufgrund der Bemessungslasten ergeben und $N_{c,Rd}$ und $M_{c,Rd}$ nach 9.3 und 9.7.3 sind.

9.7.6.3 Biegung und Längsdruck ohne Biegedrillknicken

Bei Stabelementen, die einer Kombination von Biegung und Längslast ausgesetzt sind, müssen nicht nur die Bedingungen von 9.7.6.2 erfüllt werden, sondern auch folgende zusätzliche Bedingung:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} A_{\text{eff}} f_y l \gamma_M} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{\text{eff},y} f_y l \gamma_M} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{\text{eff},z} f_y l \gamma_M} \leq 1 \quad (34)$$

Dabei ist

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A_{\text{eff}} f_y} \quad \text{aber } k_y \leq 1,5$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{M,y} - 4) \quad \text{aber } \mu_y \leq 0,90$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Sd}}{\chi_z A_{\text{eff}} f_y} \quad \text{aber } k_z \leq 1,5$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (2\beta_{M,z} - 4) \quad \text{aber } \mu_z \leq 0,9$$

χ_{\min} = der kleinere von χ_{db} , χ_y und χ_z , worin χ_{db} der in 9.7.2 c) berechnete Abminderungsfaktor und χ_y und χ_z die Abminderungsfaktoren für die y-y- bzw. z-z- Achse aus 9.7.4 sind. Der Einfluss etwaiger Auswirkungen von Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform muss berücksichtigt werden.

$N_{db,Rd} = N_{\text{crit}} = \chi_{\min} A_{\text{eff}} f_y$ kann entweder als der durch die Druckversuche (nach A.2.3) an Stützen ermittelte charakteristische Wert des Widerstands oder durch Berechnung auf der Grundlage von Druckversuchen am kurzen Stützenstück entnommen werden, vorausgesetzt, dass die Auswirkungen von Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform nach 9.7.2 berücksichtigt werden.

$\beta_{M,y}$ und $\beta_{M,z}$ sind die äquivalent gleichmäßigen Moment-Beiwerte für Biegeknicken (siehe 9.7.6.4).

Wenn die Spannungsergebnisse aus dem Ergebnis einer Methoden-Theorie II. Ordnung mit allgemeinen Imperfektionen entstehen, dann gilt: k_y und/oder k_z ist nicht größer als 1.

Wenn die Spannungsergebnisse aus dem Ergebnis einer Methoden-Theorie II. Ordnung mit allgemeinen und örtlichen Imperfektionen entstehen, ist χ_y und/oder $\chi_z = 1$, wo zutreffend, vorausgesetzt, dass kein Effekt durch Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform entstanden ist.

$W_{\text{eff},y}$ ist das effektive Widerstandsmoment des Querschnitts, wenn er nur einem Moment um die y-y-Achse ausgesetzt ist.

$W_{\text{eff},z}$ ist das effektive Widerstandsmoment des Querschnitts, wenn er nur einem Moment um die z-z-Achse ausgesetzt ist.

9.7.6.4 Biegung und Längsdruck mit Biegedrillknicken

Bei Stabelementen wo Biegedrillknicken als potentieller Versagensmodus vorkommt, muss nicht nur die Bedingung von 9.7.5 erfüllt werden, sondern auch folgende zusätzliche Bedingung:

$$\frac{N_{\text{Sd}}}{\chi_{\text{min}} A_{\text{eff}} f_y / \gamma_M} + \frac{k_{\text{LT}} M_{y,\text{Sd}}}{\chi_{\text{LT}} W_{\text{eff},y} f_y / \gamma_M} + \frac{k_z M_{z,\text{Sd}}}{W_{\text{eff},z} f_y / \gamma_M} \leq 1 \quad (35)$$

wobei die y-y-Achse die Hauptachse ist.

Dabei ist

$$k_{\text{LT}} = 1 - \frac{\mu_{\text{LT}} N_{\text{Sd}}}{\chi_z A_{\text{eff}} f_y} \text{ aber } k_{\text{LT}} \leq 1 \quad (36)$$

$$\mu_{\text{LT}} = 0,15 \bar{\lambda}_z \beta_{\text{M,LT}} - 0,15 \text{ aber } \mu_{\text{LT}} \leq 0,9 \quad (37)$$

$\beta_{\text{M,LT}}$ ein äquivalenter gleichmäßiger Moment-Beiwert für Biegedrillknicken (siehe weiter unten);

k_z , A_{eff} , W_{eff} und $W_{\text{eff},z}$ nach 9.7.6.3;

χ_{min} die kleinste von χ_{db} aus 9.7.2 c) und χ_y und χ_z aus 9.7.4 und den entsprechenden Abminderungsfaktoren für Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform bzw. Biegedrillknicken;

χ_{LT} der Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken (siehe EN 1993-1-3);

$\bar{\lambda}_y$ der Schlankheitsgrad für Biegeknicken. Als Knicklänge kann der maximale vertikale Trägerabstand angenommen werden.

Die äquivalenten gleichmäßigen Moment-Beiwerte $\beta_{\text{M,y}}$, $\beta_{\text{M,z}}$ und $\beta_{\text{M,LT}}$ werden mit Hilfe von Bild 25 ermittelt, und zwar nach der Form des Biegemomentendiagramms zwischen Verstrebungspunkten nach Tabelle 10.

Tabelle 10 — Äquivalente Momentbeiwerte

Faktor	Moment um Achse	Verstrebung zu Achse
$\beta_{\text{M,y}}$	y-y	y-y
$\beta_{\text{M,z}}$	z-z	z-z
$\beta_{\text{M,LT}}$	y-y	z-z

Widerstandswerte in den oben aufgeführten Formeln können in der Praxis durch Versuche wie folgt ermittelt werden:

$A_{\text{eff}} f_y$ als charakteristischer Widerstandswert bestimmt, der durch einen Druckversuch am kurzen Stützenstück nach A.2.1 ermittelt wurde;

$W_{\text{eff}} f_y, \chi_{\text{LT}} W_{\text{eff}} f_y$ als charakteristischer Widerstandswert bestimmt, der durch einen Biegeversuch nach A.2.9 durch Anwendung der entsprechenden Anordnung ermittelt wurde;

$\chi_{\text{min}} A_{\text{eff}} f_y$ kann als charakteristischer Widerstandswert bestimmt werden, der von einem Druckversuch an Stützenprofilen nach A.2.3 ermittelt wurde. Alternativ kann dies durch eine Berechnung aufgrund von Versuchen mit kurzen Stützenstücken (siehe A.2.1) ermittelt werden, vorausgesetzt kann nachgewiesen werden, dass Beulen mit Veränderung der Querschnittsform nicht vorkommt (siehe 9.7.2).

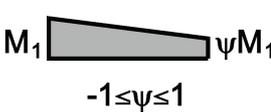
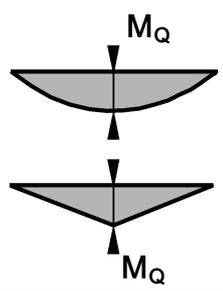
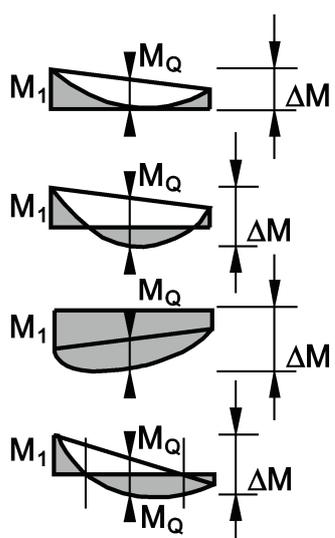
Momentendiagramm	Äquivalenter gleichmäßiger Momentfaktor β_M
Endmomente  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
Momente aus Biegelasten in der Ebene  M_Q	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
Momente aus Biegelasten in der Ebene zuzüglich Endmomente  M_1 , M_Q , ΔM	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \max M \quad \text{nur aus Biegelast}$ $\Delta M = \begin{cases} \max M & \text{bei Momentendiagramm} \\ & \text{ohne Vorzeichnung} \\ \max M + \min M & \text{bei Momentendiagramm mit} \\ & \text{Vorzeichenänderung} \end{cases}$

Bild 25 — Äquivalente gleichmäßige Momentbeiwerte

9.7.6.5 Biegung und Längszuglast

9.7.6.5.1 Nur Zuglast

Warmgewalzte Zugelemente sind nach EN 1993-1-1, 6.2.3 zu bemessen.

Kaltgeformte Zugelemente sind nach EN 1993-1-3, 6.1.2 zu bemessen.

9.7.6.5.2 Kombinierte Biegung und Zuglast

Bei Stabelementen, die kombinierter Biegung und Zugkraft ausgesetzt sind, muss folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd}} \leq 1 \quad (38)$$

Dabei sind

M_{Sd} und N_{Sd} Bemessungswerte jeweils für Moment und Zugkraft. Die Widerstandsterme sind in 9.3.2 und 9.7.6.5.1 definiert.

Wenn das Biegetragmoment durch plastische Berechnungsmethoden ermittelt wird, ist die in EN 1993-1-1 angegebene Wechselwirkungsformel anzuwenden.

9.8 Auslegung von Stoßlaschen

Stoßlaschen sind entweder durch Berechnung oder durch Versuche nach A.2.11 zu bemessen.

- Stoßlaschen müssen mindestens die gleiche Tragkraft wie das schwächere der verbundenen Stabelemente aufweisen oder für eine konzentrische Drucklast N_{Sd} und ein Biegemoment $M_{j,Sd}$ ausgelegt werden.
- Stoßlaschen und Verbindungen müssen so ausgelegt werden, dass Lasten, Längskraft und Biegemoment auf die effektiven Teile des Querschnitts übertragen werden können.
- Wenn durch Versuche (siehe A.2.11) demonstriert werden kann, dass die Steifigkeit und das Biegetragmoment der zwei mittels Stoßlasche verbundenen Stützen gleich oder größer ist, als das in der einteiligen Stütze von gleicher Länge, darf das Vorhandensein der Stoßlasche in der Gesamtssystemanalyse vernachlässigt werden.
- Wenn die Konstruktionselemente an den Enden eines Stabelements so beschaffen sind, dass Zweifel über den Einwirkungspunkt der Last besteht, muss für die Auslegung eine geeignete Exzentrizität M_{ecc} angenommen werden.
- Wenn eine angelenkte Stoßlasche im Gesamtmodell angenommen wurde, so brauchen nur der Längswiderstand und die Scherkraft und nicht die Steifigkeit überprüft zu werden.

Die Stoßlasche ist für folgende Bedingungen zu bemessen:

$$\frac{N_{Sd}}{A_{sp} f_y / \gamma_M} + \frac{M_{ecc} + M_{j,Sd}}{M_{sp} / \gamma_M} \leq 1 \quad (39)$$

mit

$$M_{j,Sd} = M_{y,Sd} + N_{Sd} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{eff}}{A_{eff}} \sin \frac{\pi x}{\ell} \quad (40)$$

Dabei ist

- χ wie in 9.7.4 angegeben;
- A_{eff} die Fläche des effektiven Querschnitts des schwächeren Elements;
- W_{eff} das Elastizitätsmodul des effektiven Querschnitts des schwächeren Elements im Biegen;
- x der Abstand zwischen dem Biegungspunkt und der Stoßlasche oder Endverbindung;
- ℓ die effektive Länge;
- A_{sp} die Nettoquerschnittsfläche der Stoßlasche;
- M_{sp} das Biegetragmoment der Stoßlasche;
- M_{ecc} das Moment aufgrund von Exzentrizitäten.

Die internen Kräfte und Momente sind als nicht geringer anzunehmen, als ein Moment von 10 % des Biegetragmoments des schwächeren Profils um beide Achsen und einer Scherkraft von 1,5 % des normalen Kraftwiderstands des schwächeren Profils in den Richtungen von beiden Achsen. Falls die Stoßlasche als ein gelenkiger Anschluss in der Analyse vorgesehen ist, braucht der Mindestwert des Moments nicht angesetzt zu werden.

9.9 Auslegung von Fußplatten

9.9.1 Allgemeines

Jede Stütze muss mit einer Fußplatte ausgestattet werden.

Der Widerstand der Fußplatte, der Sohldruck und der Bodenanker sind zu prüfen.

Der Sohldruck und der Fußplattenwiderstand dürfen unter der allgemeinen Einwirkung der Normalkraft ermittelt werden. Etwaige Momente durch Einspannung dürfen ignoriert werden.

ANMERKUNG Die Stützen-Boden-Verbindung ist üblicherweise auf Druck und Biegung beansprucht. Bei der Ermittlung der Konstante C_{Boden} nach A.2.7 wird der Einfluss dieses Biegemoments jedoch bereits berücksichtigt. Folglich braucht bei der Bemessung der Fußplatte lediglich die Druckspannung für eine konzentrisch belastete Fußplatte geprüft zu werden.

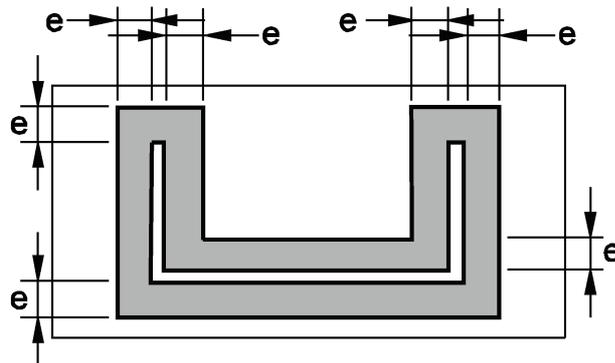
9.9.2 Effektive Fläche A_{bas} für Fußplatten

Bei der Auslegung der Fußplatte wird davon ausgegangen, dass der Auflagedruck auf die effektive Fläche der Fußplatte über die effektive Fläche gleichmäßig verteilt wird. In Bild 26 wird die effektive Fläche durch Straffierung angezeigt, wobei gilt:

$$e = t_b \sqrt{\frac{f_y}{3f_j}} \quad (41)$$

Dabei ist

- t_b die Dicke der Fußplatte;
- f_y die Bemessungstragkraft der Fußplatte;
- f_j die Bemessungsfestigkeit des Bodenmaterials für Sohldruck (siehe 9.10).



Legende

e Abstand zwischen Stützenkante und Fußplattenkante

Bild 26 — Effektive Fläche für die Auslegung von Fußplatten

Wenn der Abstand von der Stützensseite bis zur Kante der Fußplatte geringer ist als e , ist ein reduzierter Wert von e zu nehmen, der gleich dem Abstand von der Stütze bis zur Fußplattenkante ist.

Die Bemessungslängskraft der Stütze an der Fußplattenebene V_{Sd} muss folgende Bedingung erfüllen:

$$V_{Sd} \leq f_j A_{bas} \quad (42)$$

Dabei ist

A_{bas} die effektive Fläche der Fußplatte, wie in Bild 26 bestimmt.

9.10 Bodenmaterialien

9.10.1 Betonböden

Für die Bemessung der Fußplatte kann die Sollfestigkeit des Betons f_j auf der charakteristischen Zylinderfestigkeit f_{ck} basieren, so dass:

$$f_j = 2,5 \frac{f_{ck}}{\gamma_m} \quad (43)$$

Dabei ist

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

γ_m 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:

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

Anderenfalls müssen Versuche zur Ermittlung der tatsächlichen Festigkeit des Betons unternommen werden.

9.10.2 Bitumenböden

Werte für zulässige Langzeitspannungen f_c für Bitumenböden verschiedener Arten sind in Tabelle 11 aufgelistet. Zwei Werte sind für jedes Material angegeben. Der geringere der zwei angegebenen Werte muss eingesetzt werden, wenn das Material nicht einwandfrei identifiziert werden kann und eine Unsicherheit über die Bestimmung des Typs besteht. Der höhere Wert darf eingesetzt werden, wenn das Material einwandfrei identifiziert worden ist, entweder durch eine Sichtprüfung von einem Fachmann oder durch einen Versuch.

Falls der Lieferant des Bodenmaterials einen haltbaren Nachweis zur Begründung für den Einsatz höherer Werte für zulässige Langzeitdruckspannungen erbringen kann, dürfen solche Werte für die Bemessung eingesetzt werden.

Die Beziehung der Bemessungsspannung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit f_j zu der zulässigen Langzeitspannung f_c ist:

$$f_j = 1,5 f_c \quad (44)$$

Die Werte in Tabelle 11 beziehen sich auf den zulässigen Sohldruck auf der oberen Schicht, der bei der Bemessung der Fußplatte eingesetzt wird.

Für Bitumenböden jeder Art ist der Stützen-Boden-Anschluss als gelenkig anzunehmen.

ANMERKUNG Sämtliche Schichten der Bodenkonstruktion widerstehen der Last der Fußplatte.

Tabelle 11 — Zulässige Sohldrücke für Bitumen-Industrieböden

Bodentyp		$f_c^{2)}$	$f_c^{3)}$
Gruppe	oberste Schicht	N/mm ²	N/mm ²
warmer bituminöser Asphalt	herkömmlicher Asphaltbeton	0,3	0,8
	Asphaltbeton mit polymermodifiziertem Bindemittel	0,3	0,8
	mit einem Sand/Zement-Gemisch imprägnierter, poröser Asphalt	0,3	0,8
	Splittasphalt	0,3	0,8
Asphaltemulsion	Asphaltemulsion + Zement + Zuschlag	0,3	4,0
kalter bituminöser Asphalt	offene Struktur, auf wenig stabilem Untergrund	0,3	–
Asphaltmastix	Thermoplastik und Visokoelastik	0,3	–

1) Die Werte dieser Tabelle beziehen sich auf die Oberfläche und gelten für Temperaturen unter 25 °C in Bodenebene.
2) Der geringere Wert von f_c muss eingesetzt werden, wenn das Bodenmaterial nicht einwandfrei identifiziert wurde.
3) Der höhere Wert von f_c darf eingesetzt werden, nachdem das Bodenmaterial einwandfrei identifiziert wurde.

9.10.3 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 muss 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.

9.10.4 Auslegung der Fußverdübelung

Die Bemessungskräfte in den Bodenankern müssen für die schwerste Lastkombination beim Grenzzustand der Tragfähigkeit berechnet werden, und die Befestigungen sind nach ETAG Nr. 001 auszulegen.

Jeder Stützen-Bodenanschluss muss eine Mindesthöchstlast von 3 kN auf Zug und 5 kN auf Schub übertragen können.

ANMERKUNG Bei Befestigung in Beton sind die folgenden Parameter von Bedeutung:

- a) die Dicke der Beton-Bodenkonstruktion (eine zusätzliche Estrichschicht trägt nicht zur Festigkeit der Befestigung bei);
- b) die Betonqualität;
- c) der prozentuale Stahlgehalt im oberen Bereich der Platte;
- d) ob sich die Befestigung in der Zug- oder Druckzone der Betonplatte befindet;
- e) der Abstand zwischen den Befestigungen;
- f) der Abstand zwischen der Befestigung und dem Rand der Betonplatte;
- g) der Unterschied zwischen der Größe des Lochs in der Fußplatte und dem Ankerdurchmesser.

Wenn die Betonplatte direkt auf der Erde liegt, sind die Zugspannungen in den oberen Betonschichten gewöhnlich klein, und der obere Bereich der Platte darf als Teil der Druckzone angesehen werden.

9.11 Auslegung der Distanzstücke

In Doppelregalen werden zwischen jedem nebenstehenden Paar Rahmen mindestens zwei Distanzstücke benötigt (siehe Bild 2). Diese müssen an den Knotenpunkten der Rahmen angebracht und dabei so weit wie möglich voneinander entfernt angeordnet sein. Ein zusätzlicher Rahmenabstandhalter wird nahe etwaigen Stoßlaschen benötigt. Das unterste Distanzstück muss üblicherweise auf der Ebene des ersten Knotenpunktes über dem am niedrigsten liegenden Knotenpunkt über dem Boden angebracht werden.

Jeder Abstandhalter muss einen Zugwiderstand aufweisen, der mindestens der horizontalen Beschickungslast entspricht.

Wenn die Abstandhalter in der Bemessung berücksichtigt werden, so müssen sie imstande sein, den entsprechenden Kräften zu widerstehen.

10 Gesamtsystemanalyse von Palettenregalen mit Trägern

10.1 Allgemeine Erwägungen

10.1.1 Allgemeines

Die Auslegung des Regalsystems ist in zwei Stufen zu verifizieren. In der ersten Stufe findet eine Gesamtanalyse der Konstruktion statt, um die Verteilung der Kräfte und Verschiebungen festzustellen. In der zweiten Stufe werden einzelne Elemente der Konstruktion kontrolliert, um sicherzustellen, dass sie einen ausreichenden Widerstand im Grenzzustand aufweisen, und dass sich unzulässige Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nicht entwickeln können.

Für den Zweck der Gesamtsystemanalyse sind Systemlinien zu verwenden, die mit den Schwerlinien des Bruttoquerschnitts oder des reduzierten Querschnitts der Stabelemente, von dem die Eigenschaften ermittelt werden sollen, koinzidieren.

Palettenregalsysteme werden üblicherweise aus kaltgeformten Profilen hergestellt. Demzufolge dürfen allgemeine elastische Berechnungsmethoden für die Gesamtsystemanalyse angewendet werden. Nichtlineares Anschlussverhalten darf jedoch in die Analyse einbezogen werden, vorausgesetzt, dass die nichtlineare

Charakteristik auf Versuchsergebnissen beruht, die eine ausreichende Rotationskapazität 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.

10.1.2 Zweidimensionale Analyse

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. Bei der Bemessung von Bauteilen müssen jedoch unter Anwendung geeigneter Wechselwirkungsgleichungen die Wirkungen in einer Ebene, die das Verhalten in einer anderen Ebene beeinflussen, berücksichtigt werden.

Alternativ darf die Bemessung auf einer detaillierten dreidimensionalen Analyse nach 10.1.3 zu basieren.

Die in diesem Abschnitt angegebenen Verfahren gelten sowohl für nicht ausgesteifte als auch für ausgesteifte Regale, wie in 5.1.2 und 5.1.3 beschrieben.

10.1.3 Höhere dreidimensionale Analyse

Die Gesamtsystemanalyse ist auf einer detaillierten dreidimensionalen Finite-Elemente-Analyse II. Ordnung zu basieren, die sämtliche Anforderungen dieses Dokuments berücksichtigt. Die angewandte Methode muss im Allgemeinen mit EN 1993-1-1, 5.3.2 (11) übereinstimmen. Die Analyse muss folgende Merkmale einschließen.

Gesamtimperfektionen in Ganglängsrichtung und Gangquerrichtung.

Stabelementimperfektionen (anfangsgebogene Elemente) sind die in EN 1993-1-1, 5.3.2(11) implizierten Imperfektionen. Wenn die Knickkurve durch Versuche nach A.2.3 ermittelt wird, ist der benötigte Wert von α_{LT} von den Versuchsergebnissen durch stochastische Kurvenermittlung zu bestimmen.

Anschlusskonzentrationen, falls zutreffend.

Biegedrillknicken der Stabelemente.

Der Einfluss von Verwölbungsverformungen auf Drillknicken (Wagner-Effekt), Verwölbungsverdrehung und Schubmittelpunktzentrität.

In solchen Fällen ist das Knicken des Einzelbauteils bei der detaillierten Bemessung zu vernachlässigen, d. h. der Beulspannung-Abminderungsbeiwert $\chi = 1$.

10.2 Auslegungsverfahren

10.2.1 Einwirkungen

10.2.1.1 Allgemeines

Regalkonstruktionen sind für die in Abschnitt 6 festgelegten Einwirkungen auszulegen.

10.2.1.2 Bemessungswerte

Der Bemessungswert einer Einwirkung am Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie am Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird durch Multiplizieren der Einwirkungen durch die in 7.4 angegebenen Lastfaktoren und die in 7.2 und 7.3 angegebenen Kombinationsfaktoren ermittelt.

10.2.2 Verfahren

10.2.2.1 Allgemeines

Die Berechnung eines Regal- bzw. Fachbodenregalsystems ist so durchzuführen, dass zunächst die Ganglängsrichtung und anschließend die Gangquerrichtung betrachtet wird. Um die Stützen auszulegen, werden die Kräfte, die aus diesen zwei Berechnungen entstehen, unter Anwendung der Wechselwirkungsformel von 9.7 kombiniert. Wo angebracht, sind andere Elemente auf der Grundlage der einen oder anderen Berechnungen für ebene Rahmen entsprechend auszulegen.

ANMERKUNG Zur Auslegung der Stützen wird eine Kombination von Lasten zugrunde gelegt. Diese besteht aus der Längslast aus eingelagerten Waren usw., zuzüglich etwaiger zusätzlicher Last aus Beschickungslasten usw. zusammen mit Biegemomenten um die beiden Querschnittsachsen. Nach 5.3.2 brauchen Vorverdrehungen und Beschickungslasten in verschiedenen Richtungen jedoch nicht gleichzeitig berücksichtigt zu werden.

10.2.2.2 Lastkombinationen für die Berechnung in der Ganglängsrichtung

Die Konstruktion muss in Ganglängsrichtung auf folgende Lasten in Kombination untersucht werden:

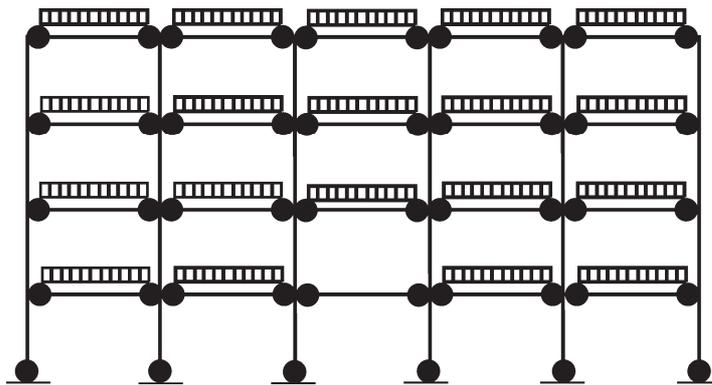
- a) Eigenlast;
- b) Auflast aus gelagerten Waren;
- c) Auflast aus Laufgängen oder Bühnen;
- d) Einwirkungen aus Imperfektionen in Ganglängsrichtung;
- e) Auflast aus Fördereinrichtungen.
- f) Bei der Betrachtung von Auflasten aus gelagerten Waren muss das ungünstigste Belastungsschema für jedes der folgenden Kriterien bedacht werden:
 - g) Gesamtstabilität in Ganglängsrichtung;
 - h) Biegen und Knicken der Stützen;
 - i) Durchbiegungen und Biegemomente an der Spannmitte;
 - j) Momente in den Träger/Stütze-Verbindungslaschen.

Für die Gesamtstabilität in Ganglängsrichtung reicht eine Betrachtung der vollbelasteten Konstruktion zusammen mit den Einwirkungen, die aus den in 5.3 festgelegten Imperfektionen herrühren.

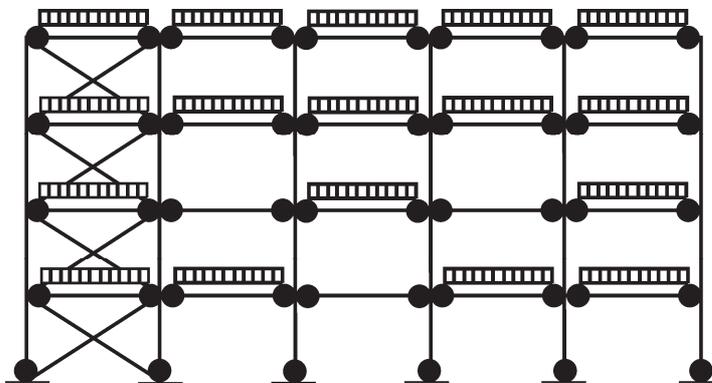
Bei der Auslegung von Stützen sind sowohl der Vollbelastungszustand als auch der Schachbrettbelastungszustand zu behandeln. Bei einer gleichmäßigen Regalauslegung ist es gegebenenfalls ausreichend, wenn die Konstruktion als vollbelastet betrachtet wird, mit Ausnahme von einem einzelnen unbelasteten Träger nahe der Mitte der Konstruktion in der niedrigsten Träger-Ebene, siehe Bild 27 a). Bei ausgesteiften Regalen muss ein alternatives Belastungsschema, das eine einfache Krümmung der Stützen verursacht, zusätzlich berücksichtigt werden, siehe Bild 27 b).

ANMERKUNG 1 Wenn der unterste Träger in Nähe des Bodens angeordnet ist, kann eine kritischere Situation entstehen, wenn die Last eines einzelnen Trägers in der zweiten Träger-Ebene ausgelassen wird, darum sollte der in Bild 27 c) gezeigte Fall auch berücksichtigt werden.

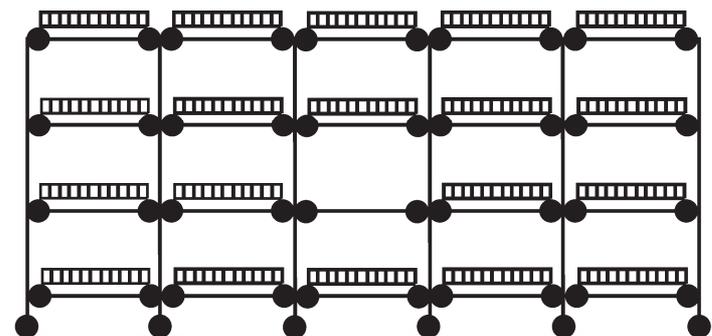
ANMERKUNG 2 Aus dieser Berechnung ergeben sich primäre Längslasten und Biegemomente in Ganglängsrichtung in den Stützen. Für die Bemessung von Fällen mit Schachbrettbelastung darf eine Analyse I. Ordnung in Erwägung gezogen werden, wenn jene Ergebnisse mit den Ergebnissen einer Analyse II. Ordnung der Vollastbedingung kombiniert werden.



a) Typisches Belastungsmuster eines nicht ausgesteiften Regals



b) Typisches Belastungsmuster eines ausgesteiften Regals



c) Zusätzliches Belastungsmuster, wo der unterste Träger in Bodennähe angeordnet ist

Legende

- halbstarre Verbindung

Bild 27 — Typische Schachbrettbelastung für Berechnungen in Ganglängsrichtung

10.2.2.3 Lastenkombinationen für Berechnungen in Gangquerrichtung

Die Konstruktion muss in Gangquerrichtung auf folgende Lasten in Kombination untersucht werden:

- a) Eigenlast;
- b) Auflast aus gelagerten Waren;
- c) Auflast aus Laufgängen oder Bühnen;
- d) Auflast aus Fördereinrichtungen (einschl. Beschickungslasten nach 6.3.3 bis 6.3.4);
- e) Einwirkungen aus Imperfektionen in Gangquerrichtung.

ANMERKUNG 1 Bei diesen Kombinationen ist es nicht erforderlich, Schachbrettbelastung zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Auflasten aus Fördereinrichtungen kommen üblicherweise horizontal in Gangquerrichtung vor.

ANMERKUNG 3 Aus dieser Berechnung ergeben sich Biegemomente in Gangquerrichtung und Sekundärlängslasten in den Stützen.

10.2.2.4 Verschiebungsgrenzwert in Ganglängsrichtung

Es muss sichergestellt werden, dass für eine Konstruktion von einer Gesamthöhe h , die Verschiebung des vollbelasteten Regals mit den Einwirkungen aus den in 5.3 festgelegten Imperfektionen (jedoch nicht die Beschickungslasten wie in 6.3.4.3 spezifiziert) unter dem Verschiebungsgrenzwert für den in 11.2 festgelegten Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit liegt.

Wo erforderlich, aufgrund von Rahmenklassifizierung nach 10.3.3, sind bei dieser Analyse die Effekte II. Ordnung zu berücksichtigen.

10.2.3 Berechnung von nicht ausgesteiften und ausgesteiften Regalen in Ganglängsrichtung

Die Stabilität in Ganglängsrichtung muss anhand einer rationalen Analyse dargestellt werden, die folgende Faktoren berücksichtigt:

- a) die destabilisierenden Effekte Längsdrucklasten in den Stützen (Effekte II. Ordnung);
- b) die Moment/Verdrehungscharakteristik der Träger/Stütze-Verbindungen;
- c) die Moment/Verdrehungscharakteristik der Stütze/Boden-Verbindungen;
- d) die Schubsteifigkeit des Aussteifungssystems und seiner Anschlüsse;
- e) die Moment/Verdrehungscharakteristiken der Stoßlaschen in den Stützen;
- f) Einwirkungen aufgrund von in 5.3 festgelegten Imperfektionen in Ganglängsrichtung.

Da es nicht möglich ist, die Schubsteifigkeit des Aussteifungssystems und seiner Verbindungen zu berechnen, ist dies anhand eines Versuchs ähnlich dem in A.2.8 beschriebenen Versuch zu bestimmen.

ANMERKUNG 1 Verstrebelemente leiten zusätzliche Längskräfte in die nebenstehenden Stützen, die in der Auslegung dieser Elemente berücksichtigt werden sollten.

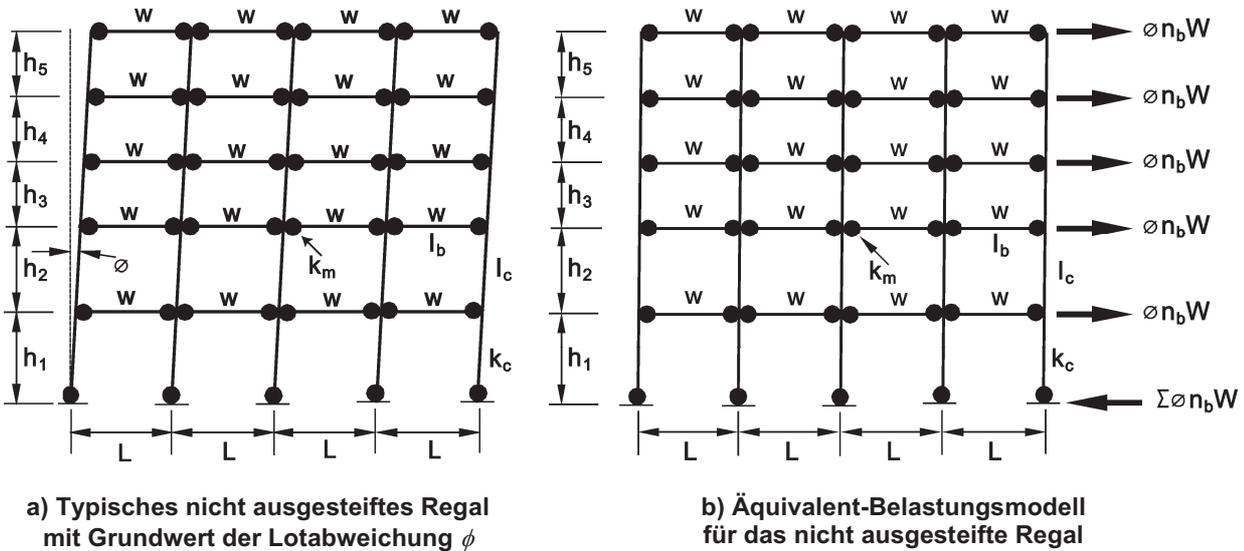
ANMERKUNG 2 Horizontalverbände werden auch Horizontallasten in Ganglängsrichtung zurück zur Ebene der Rückenverstrebung übertragen und dadurch zusätzliche Längskräfte in die nebenstehenden Stützen leiten. Diese sollten in der Auslegung dieser Stabelemente berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 3 Diese zwei Möglichkeiten (Anmerkungen 1 und 2) werden oft berücksichtigt, indem ein unabhängiger ausgesteifter Rahmen angebracht wird, der als Rückenverstrebung fungiert.

ANMERKUNG 4 Regale können in Ganglängsrichtung gegen das Gebäude oder gegen eine andere feste Konstruktion abgestützt werden. Wird dieser Vorteil bei der Konstruktion genutzt, sollte die Kraft in der (den) Abstützung(en) berechnet und die Abstützung und die Stützkonstruktion entsprechend ausgelegt werden.

ANMERKUNG 5 Wenn die in den Bildern 28 und 29 dargestellten Modelle verwendet werden, können die Biegemomente an den Trägeranschlusslaschen und an den Trägern korrigiert werden, um die begrenzte Dicke der Stützen zu berücksichtigen.

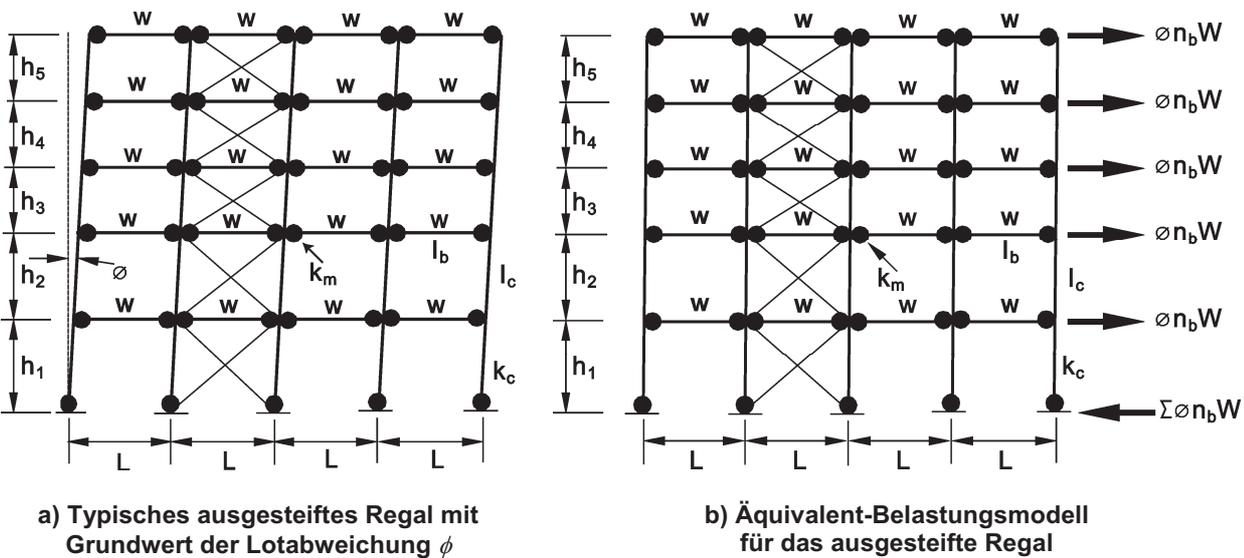
Typische mathematische Modelle sind in den Bildern 28 und 29 dargestellt.



Legende

- halbstarre Verbindung

Bild 28 — Berechnungsmodell für die Stabilität eines nicht ausgesteiften Regals in Ganglängsrichtung



Legende

- halbstarre Verbindung

Bild 29 — Berechnungsmodell für die Stabilität eines ausgesteiften Regals in Ganglängsrichtung

10.2.4 Moment/Verdrehungscharakteristiken von Träger/Stütze-Verbindungen

Im Allgemeinen sind die Moment/Verdrehungscharakteristiken der Träger/Stütze-Verbindungen als Bemessungswerte der Steifigkeit und des Biegetragmoments durch Versuche nach A.2.4 zu ermitteln.

10.2.5 Moment/Verdrehungscharakteristiken der Bodenverbindungen

Die Steifigkeit der Stützen/Boden-Verbindung kann als eine gelenkige Verbindung angenommen werden.

Für eine Stütze mit einer flachen Endkante kann die Steifigkeit der Stützen/Boden-Verbindung = $\frac{EI}{h}$ angenommen werden.

Dabei ist

EI die Biegesteifigkeit der Stütze in Ganglängsrichtung;

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

Die Bemessung des Stützenprofils und der Fußplatte hängt von den internen Kräften der Gesamtanalyse ab.

Wird ein höherer Wert der Steifigkeit der Stützen/Boden-Verbindung in der Berechnung eingesetzt, so muss sie anhand von Versuchen nach A.2.7 ermittelt werden. Hierzu wird eine passende Längslast entsprechend dem Grenzzustand der Tragfähigkeit für die zu bemessende Konstruktion eingesetzt.

Als Alternative kann eine ausführlichere Variation der Steifigkeit und Festigkeit mit der Längslast angewandt werden.

Eine Bemessungskontrolle ist durchzuführen, welche die Schwankungen des Widerstands und der Steifigkeit der Fußplatte bei Schwankungen der Längskraft berücksichtigt.

10.3 Berechnung von nicht ausgesteiften und ausgesteiften Regalen in Gangquerrichtung

10.3.1 Allgemeines

Die Stabilität in Gangquerrichtung muss durch eine rationale Analyse nachgewiesen werden, die folgende Faktoren berücksichtigt:

- a) die Schubelastizität des Verstrebungssystems einschließlich der Elastizität der Verbindungen zwischen Stützen und Aussteifungselementen. Diese muss durch Versuche nach A.2.8 ermittelt werden;
- b) die Moment/Verdrehungscharakteristik der Stoßlaschen der Stützen;
- c) von Fördereinrichtungen verursachte Lasten;
- d) die Moment/Verdrehungscharakteristik der Stützen/Boden-Verbindungen;
- e) die Gesamtstabilität des ausgesteiften Rahmens;
- f) Einwirkungen, die aufgrund von den in 5.3.3 festgelegten Imperfektionen in Gangquerrichtung verursacht sind.

Eine Moment/Verdrehungscharakteristik, die ungleich null ist, darf eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass voller Kontakt mit dem Boden bestehen bleibt.

ANMERKUNG 1 Es ist gebräuchlich und sicher, einen gelenkigen Anschluss zwischen den Stützen und dem Boden voranzusetzen. Ein typisches mathematisches Modell ist in Bild 30 dargestellt.

ANMERKUNG 2 Regale können in Gangquerrichtung gegen das Gebäude oder gegen eine andere feste Konstruktion abgestützt werden. Wird dieser Vorteil bei der Konstruktion genutzt, muss die Kraft in der (den) Abstützung(en) berechnet und die Abstützung und die Stützkonstruktion entsprechend ausgelegt werden.

10.3.2 Stabilität außerhalb der Rahmenebene

Ungleiche Druckbelastung der beiden Stützen eines Ständerrahmens wird verursacht durch:

- a) Grundwert der vertikalen Imperfektionen;
- b) angelegte horizontale Last;
- c) Effekte II. Ordnung.

Die höchstbelastete Stütze ist auf Biegeknicken und Drillknicken außerhalb der Ebene (in Ganglängsrichtung) zu kontrollieren. Es kann angenommen werden, dass diese Kontrolle für nicht ausgesteifte Regale nicht bestimmend ist.

10.3.3 Rahmenklassifizierung

Die Rahmenklassifizierung basiert auf dem kritisch elastischen Lastverhältnis V_{Sd}/V_{cr} .

Wenn $V_{Sd}/V_{cr} \leq 0,1$, ist ein Rahmen als verschiebungsfrei zu klassifizieren, 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. In einem solchen Fall ist eine Berechnung I. Ordnung ausreichend. Jeglicher andere Rahmen ist als Verschiebungsrahmen einzustufen, und die Auswirkungen der horizontalen Verschiebung seiner Knotenpunkte müssen bei der Auslegung berücksichtigt werden.

Methoden zur Schätzung von V_{cr} mit ausreichender Genauigkeit für Rahmenklassifizierung sind in den Anhängen B, C und G zu finden.

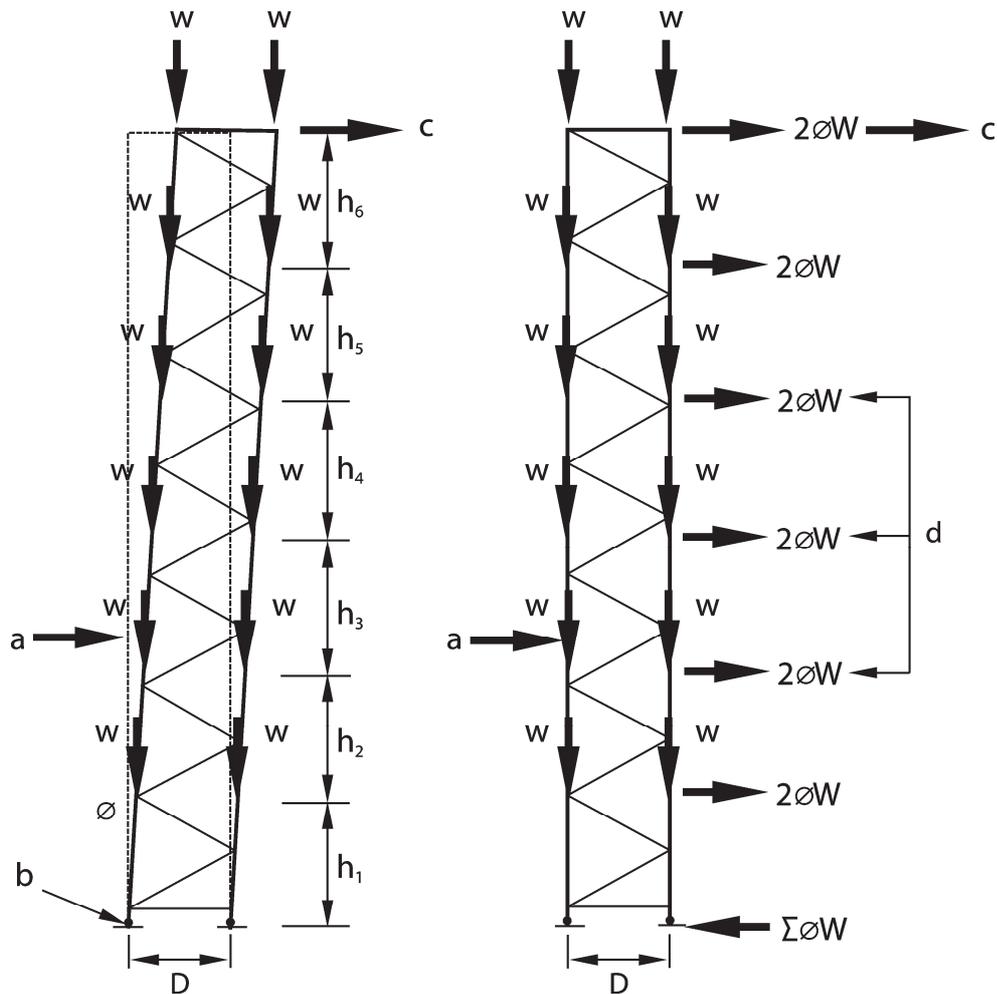
ANMERKUNG Nicht ausgesteifte Regale werden ausnahmslos als Verschiebungsrahmen in Ganglängsrichtung klassifiziert und erfordern daher die Erwägung Effekte II. Ordnung.

Berechnungsniveaus sind in 10.4 angegeben.

Wenn $0,1 < V_{Sd}/V_{cr} \leq 0,3$, darf eine Stufe-2-Berechnung angewandt werden, bei der Effekte II. Ordnung indirekt behandelt werden

Wenn $V_{Sd}/V_{cr} > 0,3$, ist eine Stufe-1-Berechnung erforderlich, bei der Effekte II. Ordnung direkt behandelt werden.

ANMERKUNG Der Grenzwert, bei dem eine genaue 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 kann.



Legende

- a Beschickungslast
- b Bruttoschwerlinie der Stützen
- c Seitenlast aus Fördereinrichtung
- D Rahmentiefe
- d Imperfektionslasten
- h_1 bis h_6 Trägerabstände
- w Trägerlast
- \emptyset Anfangsschiefstellung

Bild 30 — Mathematische Modelle für die Stabilität von ausgesteiften Rahmen in Gangquerrichtung

ANMERKUNG 1 Die Steifigkeit der inneren Aussteifungselemente kann eingeschränkt sein, (siehe Anhang G) oder Federn an beiden Enden aufweisen.

ANMERKUNG 2 Bei diesen Modellen in Bild 30 sollten die Aussteifungsexzentrizitäten die Anforderungen nach 8.6 erfüllen.

10.4 Methoden der Gesamtsystemanalyse

Eine umfassende Analyse eines kompletten Rahmens oder bei einem langen Regal mit einer repräsentativen Anzahl Felder in der Ganglängsrichtung oder Gangquerrichtung muss in einer der zwei Methoden durchgeführt werden:

Stufe 1: Die Anwendung elastischer oder elastisch-plastischer Berechnung II. Ordnung, wobei die Bauteile durch prismatische Stäbe und die Anschlüsse mit passenden Moment/Verdrehungscharakteristiken dargestellt sind.

Es gibt zwei alternative Verfahren für die Flexibilität der Trägeranschlüsse:

- 1) Die Träger/Stützen-Verbindungen dürfen als Rotationsfedern mit konstanter Steifigkeit betrachtet werden. In diesem Fall muss nach 5.3.2 das Spiel der Träger/Stützen-Verbindungen in die Rahmenimperfectionen miteinbezogen werden.
- 2) Die Träger/Stützen-Verbindungen dürfen als nichtlineare Rotationsfedern betrachtet werden. In diesem Fall darf das Spiel der Träger/Stützen-Verbindungen entweder in der Gesamtsystemanalyse integriert werden, indem ein angemessenes Anfangsspiel in die nichtlineare Federcharakteristik aufgenommen wird oder nach 5.3.2 in die Rahmenimperfectionen miteinbezogen werden muss.

Stufe 2: Die Anwendung elastischer Berechnung I. Ordnung, wobei die Bauteile durch prismatische Stäbe und die Anschlüsse durch Federn dargestellt sind. Die Effekte II. Ordnung werden indirekt durch eine der folgenden Methoden behandelt:

- 3) Anwendung vergrößerter Verschiebungsmomente, wie in Anhang B beschrieben, wobei die aus einer elastischen Berechnung I. Ordnung ermittelten Verschiebungsmomente durch Multiplizieren mit folgendem Quotient vergrößert werden:

$$\frac{V_{cr}}{V_{cr} - V_{Sd}} \quad (45)$$

Wenn die Methode der vergrößerten Verschiebungsmomente angewandt wird, müssen zur Auslegung der Stabelemente Knicklängen in Rahmenebene für den verschiebungsfreien Modus eingesetzt werden.

- 4) Die in Anhang C angegebene Methode, bei der vereinfachte Gleichungen verwendet werden, darf als eine Version der vergrößerten Verschiebungsmomentmethode betrachtet werden und unterliegt den gleichen Anforderungen.
- 5) Anwendung sonstiger rationaler Vereinfachung von Effekten II. Ordnung, vorausgesetzt, dass die Methode gegenüber einer vollen Berechnung II. Ordnung kalibriert wird, und dass sie für die Konstruktionsreihe, für die sie angewandt wird, als vorsichtig nachgewiesen werden kann.

Werden die Methoden in den Anhängen B oder C angewandt und ist eine Stoßlasche unterhalb der dritten Trägerebene angeordnet, muss entweder nachgewiesen werden, dass die Stoßlasche keinen Steifigkeitsverlust verursacht, oder es muss eine ganzheitliche Berechnung II. Ordnung unter Berücksichtigung der Stoßlaschenelastizität durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Verschiebungsmomente sind solche, die mit der horizontalen Verschiebung einer Trägerebene gegenüber der darunterliegenden Trägerebene in Verbindung stehen. Sie werden von horizontalen Belastungen verursacht und können auch von vertikalen Belastungen herrühren, wenn entweder die Konstruktion oder die Belastung asymmetrisch ist.

ANMERKUNG 2 Wenn sämtliche Felder die gleiche Konfiguration von Trägerebenen aufweisen, beträgt die Mindestanzahl der Felder fünf oder die tatsächliche Anzahl, wobei die kleinere Zahl genommen wird.

ANMERKUNG 3 Die in Anhang C angegebene vereinfachte Methode darf nur für genormte Palettenregalauslegungen, welche folgende Anforderungen erfüllen, angewandt werden:

- a) gleiche Trägerlänge;
- b) etwa gleicher Höhenabstand zwischen den Trägerebenen mit Ausnahme der ersten Etage;
- c) gleiches Stützenprofil im gesamten Regal;
- d) gleiches Trägerprofil im gesamten Regal;
- e) keine Änderung der Trägerebenen innerhalb der Regallänge;
- f) gleiche Trägeranschlusslasche im gesamten Regal.

ANMERKUNG 4 Wenn nachgewiesen werden kann, dass eine Stoßlasche in dieser Position Drehsteifigkeit, Biege- und Festigkeit aufweist, die gleich groß bzw. größer sind als diejenigen der schwächeren Stütze der Stoßstelle mit der gleichen Länge, so dürfen ihre Auswirkungen bei der Gesamtanalyse vernachlässigt werden.

10.5 Vereinfachte Berechnungsmethode für Stabilität in Gangquerrichtung

Eine Beschreibung einer entsprechenden Stufe-2-Methode auf der Grundlage der Methode der vergrößerten Verschiebungen befindet sich in Anhang G.

10.6 Auslegung von Stützen

10.6.1 Allgemeines

Es muss sichergestellt werden, dass beim Grenzzustand der Tragfähigkeit die Anforderungen in 9.7 von den Stützen erfüllt werden, wenn sie den in Abschnitt 6 angegebenen Lasten ausgesetzt sind.

10.6.2 Bemessungslängskräfte und -biegemomente

Die Längskräfte und Biegemomente, die für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ermittelt werden, sind direkt in die entsprechenden in 9.7.6 angegebenen Wechselwirkungsformeln einzusetzen, aber etwaige außerhalb der Ebene auftretende Effekte, die aus dem Gesamtverhalten der Konstruktion entstehen, sind zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Die Bemessungslängskraft in einem Stabelement besteht aus der angelegten Last, vergrößert durch etwaige zusätzliche Einflüsse aufgrund von Verschiebungen in beiden Richtungen, die gegebenenfalls wiederum durch den Einfluss von Imperfektionen, Beschickungslasten, Effekte II. Ordnung usw. vergrößert werden (siehe 7.1). Diese Längskraft sollte mit den Bemessungsbiegemomenten um beide Achsen kombiniert werden.

ANMERKUNG 2 Der kritische Bemessungsfall für eine Stütze kann aufgrund der Tatsache, dass Effekte II. Ordnung in einer Ebene durch Effekte II. Ordnung in der anderen Ebene vergrößert werden können, verkompliziert werden. Es ist im Allgemeinen nicht erforderlich, diese Wechselwirkung zu berücksichtigen. Die Bemessungslängslast für eine Stütze darf daher durch Effekte II. Ordnung mit Imperfektionen in einer Ebene und Effekte II. Ordnung ohne Imperfektionen in der anderen Ebene vergrößert werden. Wenn diese Auslegung zu einer höheren Längslast führt als diejenige, die in der entsprechenden Berechnung II. Ordnung verwendet wurde, ist es nicht erforderlich, diese Berechnung zu wiederholen.

ANMERKUNG 3 Bei einer ausgesteiften Konstruktion sind die Längskräfte und Biegemomente, die sich aus einer Berechnung I. Ordnung beim Grenzzustand der Tragfähigkeit ergeben, direkt in den Wechselwirkungsformeln einzusetzen. Die kritischen Stützen in ausgesteiften Rahmen sind diejenigen, die neben den Verstrebungen angeordnet sind.

ANMERKUNG 4 Die Längslasten in den Stützen von ausgesteiften Feldern werden von Kippmomenten aufgrund von Rahmenimperfektionen usw. beeinflusst. Dies erhöht die Längslast in einer Stütze und kann eine hebende Kraft am Fuß der anderen Stütze verursachen. Dieser hebenden Kraft muss durch die Befestigungsanker an der Fußplatte widerstanden werden.

11 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

11.1 Allgemeines

Eine Stahlkonstruktion ist so zu bemessen und zu gestalten, dass alle einschlägigen Gebrauchstauglichkeitskriterien erfüllt sind.

Im Allgemeinen sollten Verformungen oder Durchbiegungen, die das Aussehen oder die effektive Nutzung der Konstruktion beeinflussen, betrachtet werden.

Wenn eine plastische Gesamtsystemanalyse für den Grenzzustand der Tragfähigkeit verwendet wird, kann eine plastische Neuverteilung von Kräften und Momenten am Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit auftreten. Ist dies der Fall, sollte kontrolliert werden, ob die Kriterien für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit noch gültig sind.

11.2 Grenzzustände der Regalgebrauchstauglichkeit

Bei der Berechnung der Durchbiegungen sind die in Abschnitt 6 festgelegten Lasten und die in 5.2.3, 7.3 und 7.4 angegebenen Lasten und Kombinationsfaktoren am Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen.

Die Grenzwerte der Durchbiegung sind bei jedem Projekt mit dem Verfasser der Spezifikation zu vereinbaren, wobei die individuellen Anforderungen der Anlage zu berücksichtigen sind.

Verformungsgrenzwerte bezogen auf sichere Betriebsbedingungen sind in EN 15620 angegeben.

In Ermangelung spezifischer Anforderungen sind folgende Grenzwerte der Durchbiegung einzusetzen:

- a) maximale Verdrehung eines Trägers (siehe 8.5.6):
6 Grad;
- b) maximale vertikale Durchbiegung in der Stützkonstruktion eines Laufgangs bzw. einer vom Regal abgestützten Bühne:
Spannweite/250.

Der Grenzwert Spannweite/250 für Stützkonstruktion eines Laufgangs bzw. einer vom Regal abgestützten Bühne gilt für eine Last von $2,5 \text{ kN/m}^2$ (siehe 6.3.6). Wird eine höhere Last festgelegt, kann eine höhere Durchbiegung verhältnismäßig zugelassen werden, sollte jedoch nicht über Spannweite/200 liegen.

12 Kennzeichnung und Beschilderung

12.1 Kennzeichnung der Leistung von Regalanlagen

Jede Anlage ist mit permanenten Schildern an einer oder mehreren auffälligen Stellen zu versehen, worauf erklärt wird, dass die Anlage nach diesem Dokument ausgelegt ist. Außerdem muss das Schild das maximal zulässige Gewicht der Ladeinheit und die maximal zulässige Feldlast in gut lesbarer Druckschrift angeben. Dort, wo die Regale Bühnen oder Laufwege abstützen, sind die zulässigen Lasten (z. B. Lasten aus Lagerung oder Radlasten von Fördermittel) auch anzuzeigen (siehe EN 15635).

Dort, wo die zulässigen Lasten in der Anlage nicht durchgehend identisch sind, sind Belastungsschilder so zu platzieren, dass die maximal zulässige Last für jede Lage in der Konstruktion gut erkennbar ist.

13 Prüfverfahren und Auswertung der Ergebnisse

13.1 Allgemeines

Dort wo Prüfungen zur Ermittlung von Leistungsdaten zur Anwendung in der Auslegung durchgeführt werden, sind sie nach Anhang A auszuführen.

Eine Hilfestellung zur geeigneten werkseigenen Produktionskontrolle in Übereinstimmung mit diesem Dokument ist in Anhang H zu finden.

Liegen keine spezifischen Anforderungen an der Prüfung vor, ist jeder zu ermittelnde Wert von Festigkeit, Steifigkeit oder Verformung von mindestens drei Versuchen abzuleiten. Die Prüfbauteile sind in Form von Fertigprodukten nach der normalen Spezifikation aus der normalen Produktion zu entnehmen.

Eine Übersicht der in Anhang A festgelegten Bemessungsprüfungen ist in Tabelle 12 aufgeführt.

ANMERKUNG Hersteller dürfen Stahlgüte wählen, die nah an der Nennstreckspannung liegen.

Tabelle 12 — Prüfungen für Material- und Auslegungszwecke

Abschnitt	Titel	Versuchsmethode
8.1.4	Materialprüfungen	A.1
8.1.4.2	Zugprüfungen	A.1.1
8.1.1 b)	Faltprüfungen	A.1.2
	Prüfungen an Bauteilen und Anschlüssen	A.2.
9.7.2	Druckprüfungen an kurzen Stützenstücken	A.2.1
9.7.2	Druckprüfungen an Stützen	A.2.2/A.2.3
10.2.4	Biegeprüfungen an Trägeranschlusslaschen	A.2.4
5.3.2	Prüfungen zur Ermittlung des Anschlussspiels	A.2.5
6.4.2	Scherprüfungen an Trägeranschlusslaschen und Sicherungsklemmen	A.2.6
9.9	Fußanschlussprüfungen	A.2.7
10.3.1	Schubsteifigkeitsprüfungen an Ständerrahmen	A.2.8
9.7.6	Stützenbiegeprüfungen	A.2.9
9.4.3	Biegeprüfungen an Trägern	A.2.10
9.8	Prüfungen an Stützenstoßlaschen	A.2.11

13.2 Anforderungen an Prüfungen

13.2.1 Ausrüstung

Prüfungen zum Nachweis der Übereinstimmung des Fertigproduktes mit diesem Dokument sind mit Einrichtungen nach den in diesem Dokument aufgeführten Prüfungen durchzuführen.

Sämtliche Wäge-, Mess- und Prüfeinrichtungen sind so zu kalibrieren, dass dies auf die einschlägigen Normen zurückverfolgt werden kann. Dort, wo keine entsprechenden Normen bestehen, ist die Grundlage der internen Versuche und Kalibrierung zu dokumentieren.

Der Hersteller muss sicherstellen, dass die Behandlung, Erhaltung und Lagerung der Prüfeinrichtungen geeignet sind, um die angeforderte Genauigkeit aufrecht zu erhalten.

Wenn die Produktion unterbrochen wird, muss der Hersteller sicherstellen, dass vor deren Einsatz alle Versuchsgeräte, die ggf. von der Unterbrechung beeinflusst werden, geprüft und/oder kalibriert werden.

Die Kalibrierung sämtlicher Prüfeinrichtungen ist in regelmäßigen Abständen sowie in allen Fällen, wo eine Reparatur oder ein Versagen vorkommt, welche(r) die Kalibrierung der Versuchseinrichtung beeinträchtigen könnte, zu wiederholen.

ANMERKUNG Die Genauigkeit der Messgeräte muss für die zu messenden Messgrößen geeignet sein. Diese ist üblicherweise besser als $\pm 2\%$ des zu messenden Wertes. Außerdem sollte die zu messende Messgröße mindestens das Dreifache der kleinsten Aufzeichnungseinheit des Messgerätes betragen.

13.2.2 Auflagebedingungen

Die Prüfbedingungen müssen die normalen Auflagebedingungen widerspiegeln, wie sie in der realen Konstruktion vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, muss der Prüfenieur darlegen, dass die gewählten Bedingungen zu konservativen Ergebnissen führen.

13.2.3 Ansetzen der Lasten

Die Prüflast muss so aufgebracht werden, dass keine anormalen Einflüsse auf oder Verhinderung von Verformungen auftreten können.

13.2.4 Laststufen

Die Lasten müssen entweder stufenweise oder kontinuierlich aufgebracht werden. Wird die Last stufenweise aufgebracht, müssen die ersten vier Stufen jeweils ungefähr 5 % der erwarteten Versagenslast betragen, und die übrigen Stufen müssen so gewählt werden, dass das zu beobachtende Verhalten klar definiert ist.

Verformungen an kritischen Punkten des Prüfaufbaus sind erst dann zu beurteilen, wenn sie sich stabilisiert haben.

Wenn die Last kontinuierlich steigend aufgebracht wird, muss die Laststeigerungsrate langsam genug sein, um sicherzustellen, dass statische Lastbedingungen überwiegen. Verformungen müssen in regelmäßigen Abständen und oft genug beobachtet werden, um das Verhalten klar zu definieren.

13.2.5 Zusammenstellen von Prüfstücken

Prüfstücke für Prüfungen sind nach den Montageanleitungen des Herstellers zusammenzustellen.

13.2.6 Prüfberichte

Für jede Prüfserie ist eine formelle Dokumentation vorzubereiten, die alle relevanten Daten enthält, so dass die Prüfserie exakt reproduzierbar ist.

Die Ergebnisse von Besichtigungen, Versuchen und Bewertungen, die eine Handlung erfordern, sind aufzuzeichnen, dies gilt auch für etwaige durchgeführte Handlungen. Der Schritt, der vorzunehmen ist, wenn Kontrollwerte oder -kriterien nicht erreicht sind, ist aufzuzeichnen.

Zusätzlich zu den Versuchsergebnissen sind folgende Mindestdaten ebenfalls festzuhalten:

- a) Herstellungsdatum;
- b) Nummer der Fertigungszeichnung der Bauteile im Versuch;
- c) Details über Fertigungs- und Montageablauf;
- d) Materialspezifikation der Bauteile im Versuch;
- e) Datum der Prüfdurchführung;

- f) tatsächliche Abmessungen der Prüfbauteile;
- g) tatsächliche Materialeigenschaften der Prüfbauteile;
- h) Details über den Prüfaufbau (Abmessungen, Auflagebedingungen, Anschlüsse usw.);
- i) durchgeführte Messungen während der Prüfungen (Last, Durchbiegung, Verdrehung, Spannung usw.);
- j) Beobachtungen über den Beginn sichtbarer Verformungen (Beulen, Anrisse usw.);
- k) Versagensart;
- l) photographischer Bildnachweis des Prüfablaufs.

13.3 Beurteilung der Prüfergebnisse

13.3.1 Definition der Versagenslast

Versagen des Bauteils gilt als eingetreten wenn:

- a) die aufgebrachte Versuchslast die oberste Grenze erreicht;
- b) Verformungen in einer solchen Größenordnung aufgetreten sind, dass das Bauteil nicht länger seine vorgesehene Funktion erfüllen kann.

13.3.2 Korrektur der Prüfergebnisse

Grobe Prüfergebnisse sind zu berichtigen, um Unterschieden in der tatsächlichen Materialdicke im Versuch und der vom Hersteller spezifizierten Nenndicke des Materials Rechnung zu tragen und um Unterschiede zwischen der Streckgrenze des Prüfmaterials und der vom Hersteller garantierten Mindeststreckgrenze zu berücksichtigen. Die Art und Weise, wie solche Berichtigungen durchzuführen sind, ist abhängig von der Art der Versuche und ist in A.2 für jeden Versuch getrennt beschrieben.

Wenn Prüfstücke für Zugversuche zur Bestimmung der Streckgrenze des Materials vorbereitet werden, müssen diese immer aus einem unbeschädigten Bereich des Versuchskörpers herausgeschnitten werden, der außerhalb von Wärmeeinflusszonen, Abkantungen des Querschnitts sowie außerhalb anderer Flächen liegt, bei denen Kaltverformungen das Ergebnis beeinflussen können.

ANMERKUNG Alternativ dürfen die Prüfstücke aus dem Originalcoil vor der Kaltformung herausgeschnitten werden.

13.3.3 Ableitung von charakteristischen Werten

Nachdem die einzelnen Ergebnisse einer Gruppe von Versuchen bezüglich der Unterschiede in Materialdicke und Streckgrenze korrigiert wurden, ist der charakteristische Wert R_k der gemessenen Parameter wie folgt zu errechnen:

$$R_k = R_m - k_s s \quad (46)$$

Dabei ist

R_m der Mittelwert der berichtigten Prüfergebnisse;

$$R_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ni}$$

R_{ni} das Einzelergebnis der Prüfungen, korrigiert bezüglich Dicke und Streckgrenze;

- n die Anzahl der Versuche in der Gruppe ($n \geq 3$);
- s die Standardabweichung der berichtigten Prüfergebnisse;

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_{ni} - R_m)^2}$$

k_s der Beiwert nach Tabelle 13.

Tabelle 13 — k_s -Beiwert basiert auf die 95 %-Fraktile bei einer Aussagewahrscheinlichkeit von 75 %

n	k_s
3	3,37
4	2,63
5	2,33
6	2,18
7	2,08
8	2,00
9	1,95
10	1,92
15	1,82
20	1,76
30	1,73
40	1,71
50	1,69
100	1,68
∞	1,64

13.3.4 Charakteristischer Wert für eine Versuchsserie

Eine Versuchsserie muss aus einer Vielzahl von Versuchsreihen bestehen, bei der (üblicherweise) ein Bemessungsparameter (z. B. Spannweite, Dicke) variiert wird. Durch diesen Abschnitt wird ermöglicht, dass eine Versuchsserie als ein einziges Versuchsergebnis behandelt werden kann.

Um die Auswertung der charakteristischen Festigkeit durchführen zu können, ist es erforderlich, einen Ausdruck zu benutzen, der das Verhältnis zwischen den Versuchsergebnissen und allen relevanten Parametern der Versuchsserie definiert. Für diesen Bemessungsausdruck dürfen entweder die entsprechenden Gleichungen der Statik oder empirische Daten zugrunde gelegt werden.

Der Bemessungsausdruck wird als der Mittelwert der Prüfergebnisse erachtet. Die Standard-Abweichung s_n wird für die gesamte Versuchsserie berechnet, nachdem die Versuchsergebnisse normalisiert wurden, d. h. jedes Ergebnis durch den entsprechenden Wert im Bemessungsausdruck dividiert wurde. Die charakteristische Festigkeit R_k für eine bestimmte Gruppe Parameter innerhalb einer Serie wird durch folgende Gleichung gegeben:

$$R_k = R_m (1 - k \cdot s_n) \tag{47}$$

Dabei ist

- R_m der Wert vom Bemessungsdruck;
- k der in Tabelle 13 angegebene Wert, wobei n = Gesamtanzahl der Versuche einer Versuchsserie;
- s_n die Standardabweichung der normalisierten Versuchsergebnisse.

ANMERKUNG Je genauer der Bemessungsausdruck den Mittelwert des gemessenen Widerstandes widerspiegelt, desto günstiger werden die Werte aus der Bewertung. Die Beiwerte im Bemessungsausdruck dürfen zur Optimierung der Korrelation justiert werden.

13.3.5 Korrekturen an Bruchlast oder -moment

Dort, wo in Anhang A gefordert wird, dass eine Korrektur der Bruchlast bzw. des Bruchmoments aufgrund von Schwankungen der Streckgrenze des Materials und der Dicke des Prüfstücks anzusetzen ist, ist folgendes Verfahren anzuwenden.

$$R_{ni} = R_{ti} \left(\frac{f_y}{f_t} \right)^\alpha \left(\frac{t}{t_t} \right)^\beta \quad (48)$$

Dabei ist

R_{ni} die berichtigte Bruchlast bzw. das Bruchmoment für Versuch Nr. (i);

R_{ti} die beobachtete Bruchlast bzw. das Bruchmoment für Versuch Nr. (i);

f_t die beobachtete Streckgrenze für das Prüfstück;

f_y die Nennstreckgrenze;

t_t die beobachtete Dicke des Prüfstücks

t die Bemessungsdicke;

$\alpha = 0$ wenn $f_y \geq f_t$;

$\alpha = 1,0$ wenn $f_y < f_t$.

Wenn nicht anders in Anhang A festgelegt:

für $t \geq t_t$ $\beta = 0$

$$\text{für } t < t_t \quad \beta = \frac{b_p}{k \sqrt{\frac{E}{f_t}}} - 1 \text{ aber } 1 \leq \beta \leq 2 \quad (49)$$

Dabei ist

$k = 0,64$ für ausgesteifte Elemente;

$k = 0,21$ für nicht ausgesteifte Elemente;

wobei b_p die fiktive Ebenenbreite ist.

Anhang A (normativ)

Prüfung

A.1 Materialprüfungen

A.1.1 Zugversuch

Zugversuche sind nach EN 10002-1 durchzuführen.

Zugversuche sind in Walzrichtung an Materialproben durchzuführen, die der normalen Produktion entnommen wurden, mit dem Zweck:

- den Nennwert der Streckgrenze des in der Produktion verwendeten Materials zu schätzen;
- die tatsächliche Streckgrenze von Material festzustellen, welches in einem Versuch verwendet wurde;
- Korrektur von Prüfergebnissen.

ANMERKUNG Etwaige Flächen, die durch Scheren oder Druck gehärtet wurden, sind durch maschinelle Bearbeitung zu entfernen.

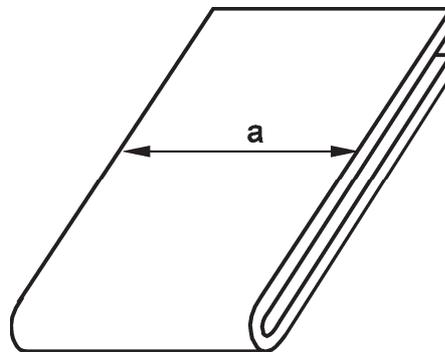
A.1.2 faltversuche

Der faltversuch ist nach EN ISO 7438 durchzuführen.

Dieser versuch ist nur dann erforderlich, wenn 8.1.1 b) oder H.4 berücksichtigt werden muss.

faltversuche sind durchzuführen, um zu zeigen, dass das bei der herstellung verwendete material über ausreichende dehnbarkeit verfügt. Die versuche müssen an musterstücken erfolgen, die der normalen produktion entnommen wurden und nach einem kaltwalzvorgang, wenn solch ein prozess verwendet wird, um erhöhte mechanische eigenschaften zu erreichen.

Der faltversuch ist bei umgebungstemperatur durchzuführen. Das querbiegeprüfstück muss einer 180°-biegung in der in bild A.1 gezeigten richtung widerstehen, wobei der innere biegeradius von der zweifachen materialdicke der biegeprobe entsprechen muss und keine anrisse auf der außenseite des gebogenen teils entstehen dürfen.



Legende

a Walzrichtung

Bild A.1 — Querbiegeprüfstück nach dem Falten

Das Prüfstück ist nach diesem Dokument als den Anforderungen genügend zu erachten, wenn eine visuelle Kontrolle des Prüfstücks keine Anrisse auf der Außenseite der 180°-Biegung außerhalb der Enden zeigt. Einige örtliche Risse nahe der Biegung von nicht mehr als 1 mm Ausdehnung von Kante des Prüfstücks sind zulässig.

A.2 Prüfungen an Bauteilen und Anschlüssen

A.2.1 Druckversuch am kurzen Stützenstück

A.2.1.1 Zweck der Prüfung

Der Zweck der Prüfung ist es, den Einfluss von Faktoren wie Ausstanzungen und örtliches Beulen auf die Drucktragfähigkeit einer kurzen Stütze festzustellen. Diese Prüfung darf nicht angewandt werden um den Einfluss des Beulens in Verbindung mit Veränderung der Querschnittsform festzustellen.

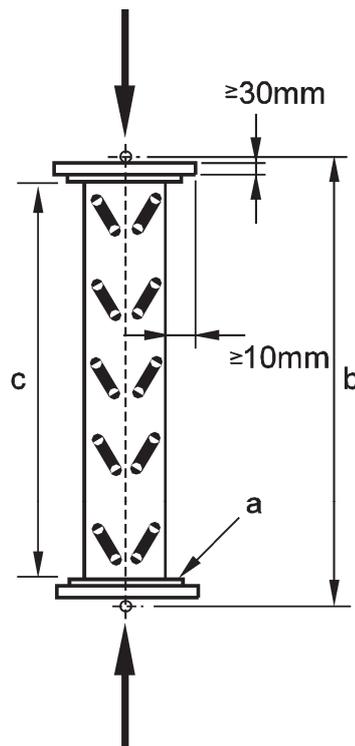
A.2.1.2 Prüfanordnung und Verfahren — Alternative 1

Das Prüfstück ist wie folgt und in Bild A.2 dargestellt vorzubereiten.

- a) Seine Länge muss größer sein als die größte dreifache flache Breite des Querschnitts (Zwischenaussteifungen unberücksichtigt). Sie muss mindestens fünf Rasterlochungen enthalten.
- b) Das Prüfstück ist rechtwinklig zur Längsachse mittig zwischen zwei Lochgruppen zu schneiden.
- c) Fuß- und Kopfplatten müssen an jedem Ende des Stützenstücks angeschraubt oder angeschweißt sein.

ANMERKUNG Der Querschnitt darf beim Anschweißen der Fußplatte gegen Zurückfedern gerichtet werden (Verwinden der Form des Querschnitts nach dem Schneiden wegen Restspannungen).

Die Längskraft muss auf die Kopf- und Fußplatten durch ausreichend dicke Druckplatten übertragen werden, um sicherzustellen, dass Verformungen der Druckplatten unter der Versuchslast das Versuchsergebnis nicht beeinflussen. Die Druckplatten müssen seitlich mindestens 10 mm überstehen. Die Fuß- und Kopfplatten sind zwangsschlüssig auf den Druckplatten an beiden Enden in Position zu halten. Die Druckplatten müssen eine kleine gebohrte Vertiefung aufweisen, um ein Lager für eine Kugel zu erhalten, wie in Bild A.2 dargestellt.



Legende

- a Fuß/Kopfplatten
- b Knickeinrichtung
- c Länge des kaltgeformten Profils

Bild A.2 — Prüfanordnung am kurzen Stützenstück

Die Ausgangsposition muss entweder der Schwerpunkt des Nettoquerschnitts oder des Bruttoquerschnitts oder ein Punkt zwischen beiden sein.

Das Prüfstück ist in die Prüfvorrichtung einzubauen und axial über die Lagerkugeln an jedem Ende zu belasten. Die Position der Lagerkugeln in Bezug auf den Querschnitt muss an beiden Enden der Stütze gleich sein, darf jedoch auf ein Erreichen der maximalen Bruchlast eingerichtet werden.

Die Last ist zu steigern bis das Prüfstück einknickt und keine weitere Last mehr aufnimmt. Diese Last ist als Bruchlast festzuhalten.

Die charakteristische Bruchlast ist auf einer Serie von Versuchen mit der gleichen Lastposition zu basieren.

A.2.1.3 Prüfanordnung und Verfahren — Alternative 2

Um diesen Versuch ausführen zu können, ist eine Druckprüfmaschine einzusetzen, in der mindestens eine der Lastplatten eine drehende Justierung um zwei horizontale Achsen ermöglicht und in der gewünschten Stelle festgeklemmt werden kann.

Das Prüfstück ist mit dem Schwerpunkt seines Bruttoquerschnitts in die Mitte der Prüfmaschine zu montieren, wobei sich eine Lastplatte drehen können muss, damit sie eine etwaige Ausrichtungsabweichung an den Endplatten des Prüfstücks ausgleichen kann. Nun wird eine geringe Last (z. B. 0,5 % der erwarteten Bruchlast) angebracht, damit die verstellbare Lastplatte der Maschine völlig gerade auf den Endplatten des Prüfstücks sitzt. Die verstellbare Lastplatte ist dann in ihrer Position festzuklemmen.

Die Vorbereitung des kurzen Stützenstücks als Prüfstück für dieses Prüfverfahren ist die gleiche wie in A.2.1.2 beschrieben, außer dass in c) keine Vertiefung in den Druckplatten erforderlich ist.

Die Belastung ist dann schrittweise bis zum Versagen zu erhöhen und die größte getragene Last aufzuzeichnen.

A.2.1.4 Korrektur der Beobachtungen

Die festgestellten Bruchlasten müssen berichtigt werden, um der tatsächlichen Dicke und Streckgrenze des Versuchsmusters nach 13.3.5 Rechnung zu tragen.

A.2.1.5 Ableitung von Ergebnissen

Die charakteristische Bruchlast R_k muss nach 13.3.3 abgeleitet werden und die effektive Fläche des Querschnitts A_{eff} berechnet werden mit:

$$A_{\text{eff}} = \frac{R_k}{f_y} \quad (\text{A.1})$$

Wenn in dem Versuch am kurzen Stützenstück die maximale Schlankheit der Stütze den Wert von $\bar{\lambda} = 0,2$ überschreitet, darf die effektive Fläche wie folgt korrigiert werden:

Die Mindesttraglast in Längsrichtung $N_{b,Rd,min}$ aufgrund von Biegeknicken oder Biegedrillknicken nach 9.7.4 und 9.7.5 muss mit dem Wert A_{eff} aus den Prüfungen berechnet werden. Der Wert A_{eff} muss dann neu berechnet werden bis zum berechneten Wert von $N_{b,Rd,min} = R_k/\gamma_M$.

Wenn in diesem Prozess die Prüfergebnisse mittels Alternative 1 in A.2.1.2 ermittelt wurden, ist die Biegeknicklänge gleich dem Abstand b einzusetzen. Dies ist der Abstand zwischen den Auflagepunkten und die Biegedrillknicklänge muss gleich der halben Länge der kaltgeformten Profile in dem Prüfstück sein. Wenn Alternative 2 in A.2.1.3 angewandt wird, muss die Biegeknick- und Biegedrillknicklänge gleich der halben Länge des kaltgeformten Profils c (siehe Bild A.2) im Prüfstück sein.

A.2.2 Druckversuche an Stützen — Den Einfluss von Beulen mit Veränderung der Querschnittsform prüfen

A.2.2.1 Zweck der Prüfung

Der Zweck der Prüfung ist es, den Einfluss von Beul-Knickerscheinungen auf die Längstragfähigkeit des Stützenprofils zu ermitteln. Das Prüfergebnis bietet eine Handhabe zur Korrektur der theoretisch ermittelten Längstragfähigkeit nach 9.7.2.

ANMERKUNG Falls der Druckversuch an Stützen nach diesem Anhang über eine gesamte Reihe von Stützenlängen durchgeführt wird, sind die Auswirkungen von Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform bereits in den Knickkurven berücksichtigt und somit Prüfungen nach diesem Abschnitt nicht mehr notwendig.

A.2.2.2 Prüfanordnung und Ausführung

Es sind mindestens drei Versuche an einzelnen Stützen mit Kopfplatten nach A.2.1.2 durchzuführen. Die Stützenlänge muss wie in 9.7.2 c) festgelegt sein. Als Teil einer Versuchsserie zur Ermittlung einer Knickkurve für die Stütze, nach A.2.3, kann der Versuch auch an einem einzelnen Rahmenfeld ausgeführt werden.

Falls eine signifikante Verdrehung am Ende des Prüfstücks beobachtet wird, muss diese zurückgehalten werden, um dieser Verdrehung entgegenzutreten. Dies muss auf eine Art und Weise geschehen, dass sich kein zusätzlicher Widerstand zur Verwindung des Profils bietet.

Das Prüfstück ist in die Prüfvorrichtung einzubauen und axial über die Lagerkugeln an jedem Ende zu belasten. Die Position der Lagerkugeln in Bezug auf den Querschnitt muss an beiden Enden der Stütze gleich sein, darf jedoch auf ein Erreichen der maximalen Bruchlast eingerichtet werden.

A.2.2.3 Ableitung der Prüfergebnisse

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Bezug auf die Streckspannung und Dicke nach A.2.3.4 zu korrigieren.

Die charakteristische Bruchlast R_k ist dann nach 13.3.3 abzuleiten und die entsprechende Bemessungstragkraft $N_{bd,Rd}$ zu berechnen. Dieser Prüfwert wird in 9.7.2 angewandt, um die Wirkung von Beulen in Verbindung mit Veränderungen der Querschnittsform zu überprüfen.

A.2.3 Druckversuche an (langen) Stützen — Ermittlung von Knicklängen

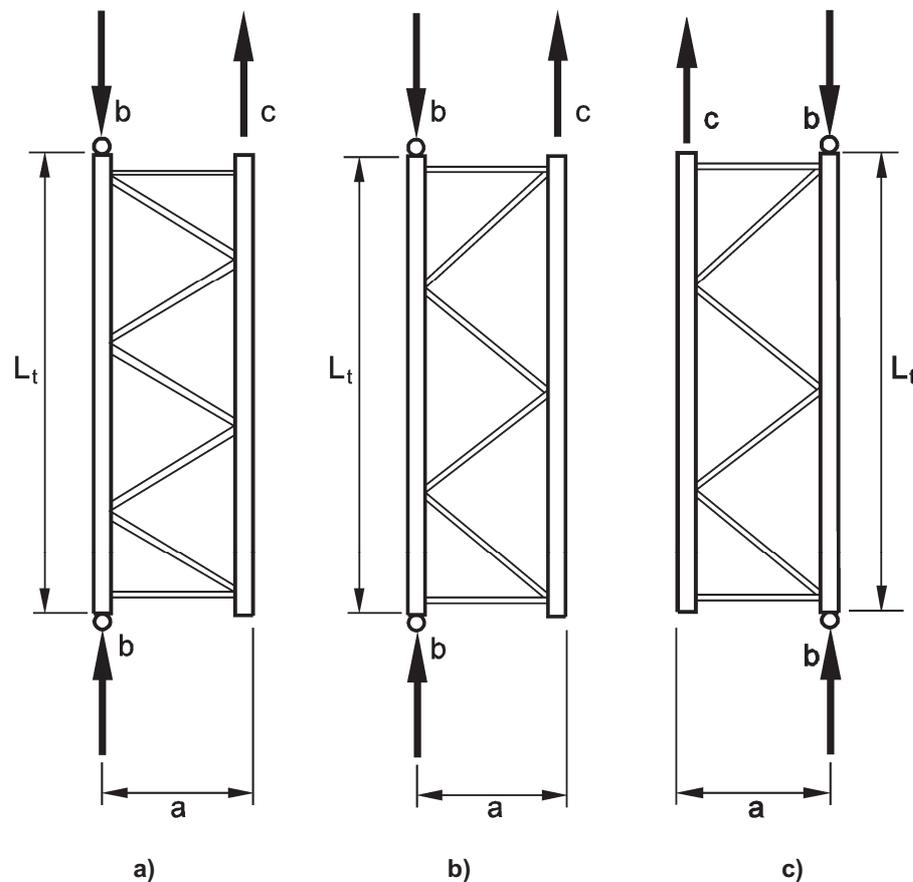
A.2.3.1 Zweck der Prüfung

Der Zweck der Prüfung ist es, die Längstragfähigkeit des Stützenprofils für eine Reihe von Knicklängen in Ganglängsrichtung zu ermitteln; unter Berücksichtigung aller Einflüsse durch Knicken und der Torsionsbehinderung, welche durch die Verbände und ihre Anschlüsse an die Stützen gegeben ist.

ANMERKUNG Die Ergebnisse dieser Versuchsserien liefern eine Knickspannungslinie, die den Abminderungsfaktor χ für das Knicken und den dimensionslosen Wert der Schlankheit $\bar{\lambda}$ darstellt. Der Wert von $\bar{\lambda}$ ergibt sich aus der Schlankheit für das Knicken außerhalb der Ebene (= L/i), auch wenn die Versagensursachen Beulen-, Biegedrill- oder eben Biegeknickerscheinungen in der Ebene sind. Der Sinn dieser Vorgehensweise ist, die Knickspannungslinie für die Bemessung zu verwenden und Knicklasten allein mit Knicklängen in Ganglängsrichtung zu verknüpfen. Es darf angemerkt werden, dass dies vorsichtig eingeschätzt ist, da die behindernden Einflüsse der Trägeranschlüsse nicht berücksichtigt sind.

A.2.3.2 Prüfanordnung

Der Prüfaufbau enthält einen kompletten Rahmen mit der größten für das Produkt verwendeten Rahmentiefe, wobei eine der beiden Stützen zentrisch belastet ist, wie in Bild A.3 dargestellt. Die Vergitterungsart, die Vergitterungsprofile und die Anschlüsse der Vergitterung sind die Bauteile, die in der Anwendung für die Knickkurven eingesetzt worden sind. Die belastete Stütze muss über Lagerkugeln belastet und mit Fuß- und Kopfplatten versehen werden, wie in A.2.1.2 beschrieben.



Legende

- a Rahmengröße
- b Last
- c Rahmengewicht, unabhängig getragen
- L_t Knicklänge

Bild A.3 — Alternative Anordnungen für Druckversuche an Stützen

Einige Verstärkungssysteme, wie in Bild A.3 a) dargestellt, haben Knotenpunkte, die nicht symmetrisch auf der Längsachse des Rahmens angeordnet sind. In solchen Fällen sind Vorversuche an jeder Stützensseite nach den Bildern A.3 b) und c) durchzuführen, um festzustellen, welche Konfiguration bei Versuchen zur Ermittlung der Druckfestigkeit die schwächere ist, die dann angewandt wird.

Als Alternative zum oben beschriebenen Prüfverfahren darf eine komplette Rahmeneinheit in der Prüfanordnung, wie in Bild A.4 dargestellt, für den Druckversuch eingesetzt werden. Bei diesem Versuch dürfen die Verteilerträger gegen Verdrehung um die Längsachse eingespannt werden.

Wenn ein Stützentyp mit verschiedenen Aussteifungsfeldgrößen bzw. Rahmenbreite verwendet werden kann, muss entweder jede Größe getrennt geprüft oder der Rahmen mit der größten Aussteifungsfeldgröße und Rahmenbreite für alle Rahmen benutzt werden.

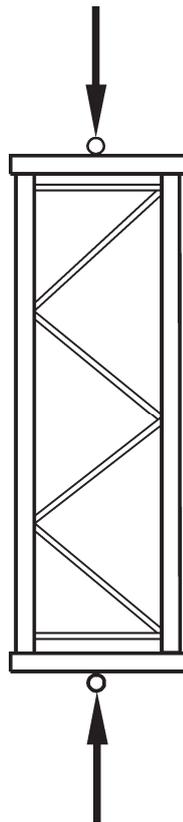


Bild A.4 — Alternative Anordnungen für Druckversuche an Stützen

A.2.3.3 Prüfverfahren

Die Stütze muss in einer Serie von Längen getestet werden. Die kleinste davon muss gerade einen einzelnen Vergitterungsabstand zulassen. Die größte Länge muss einem dimensionslosen Schlankheitsverhältnis $\bar{\lambda} \approx 1,5$ für Knicken in Ganglängsrichtung zugeordnet sein. Mindestens drei andere Prüflängen, annähernd gleichmäßig aufgeteilt zwischen diesen beiden Extremen, sind zusätzlich auszuwählen. Es sind mindestens 5 Versuche auszuführen, gleichmäßig verteilt über die Prüflängen. Eine Mindestanzahl von zwei Versuchen je Länge ist jedoch durchzuführen. Im Versuch ist die Last bis zum Versagen zu steigern. Der Versagensmodus ist zu notieren.

A.2.3.4 Korrektur der Beobachtungen

Korrekturen sind an jedem Beobachtungswert der Traglastgrenze nach den Bestimmungen von 13.3.5 mit folgendem Zusatz durchzuführen.

Die festgestellten Versagenslasten müssen so ausgeglichen werden, dass die tatsächliche Dicke und die Streckspannung des Prüfstücks berücksichtigt werden, so dass:

$$R_{ni} = R_{ti}(C)^\alpha \left(\frac{t}{t_t} \right)^\beta \quad (\text{A.2})$$

wobei gilt

$$0 \leq \bar{\lambda} \leq 0,2; \quad C = \left(\frac{f_y}{f_t} \right)$$

$$0,2 \leq \bar{\lambda} \leq 1,5; \quad C = \frac{\bar{\lambda} - 0,2 + \frac{f_y}{f_t} (1,5 - \bar{\lambda})}{1,3}$$

$$1,5 \leq \bar{\lambda}: \quad C = 1,0$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}} \tag{A.3}$$

λ der Schlankheitsgrad entsprechend des festgestellten Versagensmodus.

Sämtliche andere Terme sind wie in 13.3.5 festgelegt.

A.2.3.5 Ableitung der Stützenkurve

In diesem Abschnitt sind sämtliche Druckversuchsergebnisse zu berücksichtigen.

Das Verfahren ist wie folgt:

- a) Für jeden Versuch sind die Werte des Spannungsverminderungsfaktors χ_{ni} sowie des dimensionslosen Schlankheitsgrads λ_{ni} zu berechnen:

$$\chi_{ni} = \frac{R_{ni}}{A_{\text{eff}} f_y} \tag{A.4}$$

und

$$\bar{\lambda}_{ni} = \frac{\lambda_{ni}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_1} \tag{A.5}$$

Dabei ist

R_{ni} die berichtigte Bruchlast für Versuch Nr. i;

f_y die Nennstreckgrenze;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

λ_{ni} der Schlankheitsgrad für Biegeknicken bezogen auf den Bruttoquerschnitt;

$$\beta_1 = \frac{A_{\text{eff}}}{A_g}$$

- b) Es folgt eine graphische Darstellung von χ_{ni} gegen $\bar{\lambda}_{ni}$.

- c) Nun muss ein geeigneter algebraischer Ausdruck für χ_{cu} ($= \chi_{cu}(\bar{\lambda}_{ni})$) gewählt werden, der die Ortskurve der Mittelwerte der Versuchsergebnisse χ_{ni} darstellt. Dieser Ausdruck darf nicht mehr als fünf unabhängige Koeffizienten enthalten. Dies darf durch Zeichnen einer Best-Fit-Kurve per Hand oder mit Hilfe der Fehlerquadratmethode erreicht werden.
- d) Die Einzelwerte χ_{ni} sollten dadurch normalisiert werden, dass jeder Wert durch den entsprechenden Mittelwert χ_{cu} dividiert wird. Die Standardabweichung s dieser normalisierten Werte darf dann berechnet werden.
- e) Der charakteristische Wert für den Spannungsverminderungsfaktor χ wird nun berechnet unter Anwendung des Ausdrucks

$$\chi = \chi_{cu}(1 - k_s s) \quad (\text{A.6})$$

wobei k_s in Tabelle 12 auf der Basis der gesamten Anzahl der Versuchsergebnisse aufgeführt ist.

Die Knickspannungslinie gilt für die Reihe der geprüften Stützenlängen. Für Stützenlängen außerhalb dieser Reihe sollte die Berechnung des Spannungsverminderungsfaktors nach 9.7.4 und 9.7.5 erfolgen. Bevor jedoch die Berechnung erfolgen kann, sollte das Beulen mit Veränderung der Querschnittsform überprüft werden. Dies wird mit Hilfe der Ergebnisse der Versuche an Einzelfeldrahmen ausgeführt, siehe A.2.2.

A.2.4 Biegeversuche an Trägeranschlüssen

A.2.4.1 Zweck der Prüfung

Der Zweck der Prüfung ist es, die Steifigkeit und die Biegetragfähigkeit des Trägeranschlusses zu ermitteln. Das strukturelle Verhalten des Zusammenwirkens von Stütze und Trägeranschluss ist kritisch für das Verhalten der Gesamtkonstruktion. Es wird beeinflusst durch eine große Zahl von Faktoren. Im Besonderen von:

- a) dem Stütztyp;
- b) der Materialdicke der Stütze;
- c) dem Trägertyp;
- d) der Position des Trägers an der Anschlusslasche;
- e) die Verbindungsart zwischen Träger und Anschlusslasche;
- f) dem Anschlusslaschentyp;
- g) den Eigenschaften des verwendeten Materials.

Alle Kombinationen dieser Faktoren, die bei der Bemessung des konstruktiven Systems auftreten, sind getrennt zu prüfen, es sei denn, es kann hinreichend bewiesen werden, dass eine Interpolation der Ergebnisse eine vorsichtige Schätzung der Leistung ergibt.

Für jedes Stützen- und Trägeranschlusspaar sind mindestens drei praktisch identische Versuche durchzuführen, damit die Ergebnisse statistisch nach 13.3.3 ausgewertet werden können.

Alternativ darf eine Versuchsreihe, in der nur ein signifikanter Parameter verändert ist, wie Trägertiefe, Stützendicke usw., geprüft und als eine Einheit für statistische Zwecke behandelt werden, wie in 13.3.4 dargestellt. Die Versuchsreihe sollte aus mindestens 10 Versuchen bestehen.

In einer großen Versuchsreihe mit Stützen, Trägeranschlüssen und Trägern dürfen nach Ermessen des Prüingenieurs Versuche an bestimmten Kombinationen von Stützen, Trägern und Verbindungen ausgelassen werden, wo die Ergebnisse mittels Interpolation zuverlässig vorausgesagt werden können.

A.2.4.2 Prüfaufbau

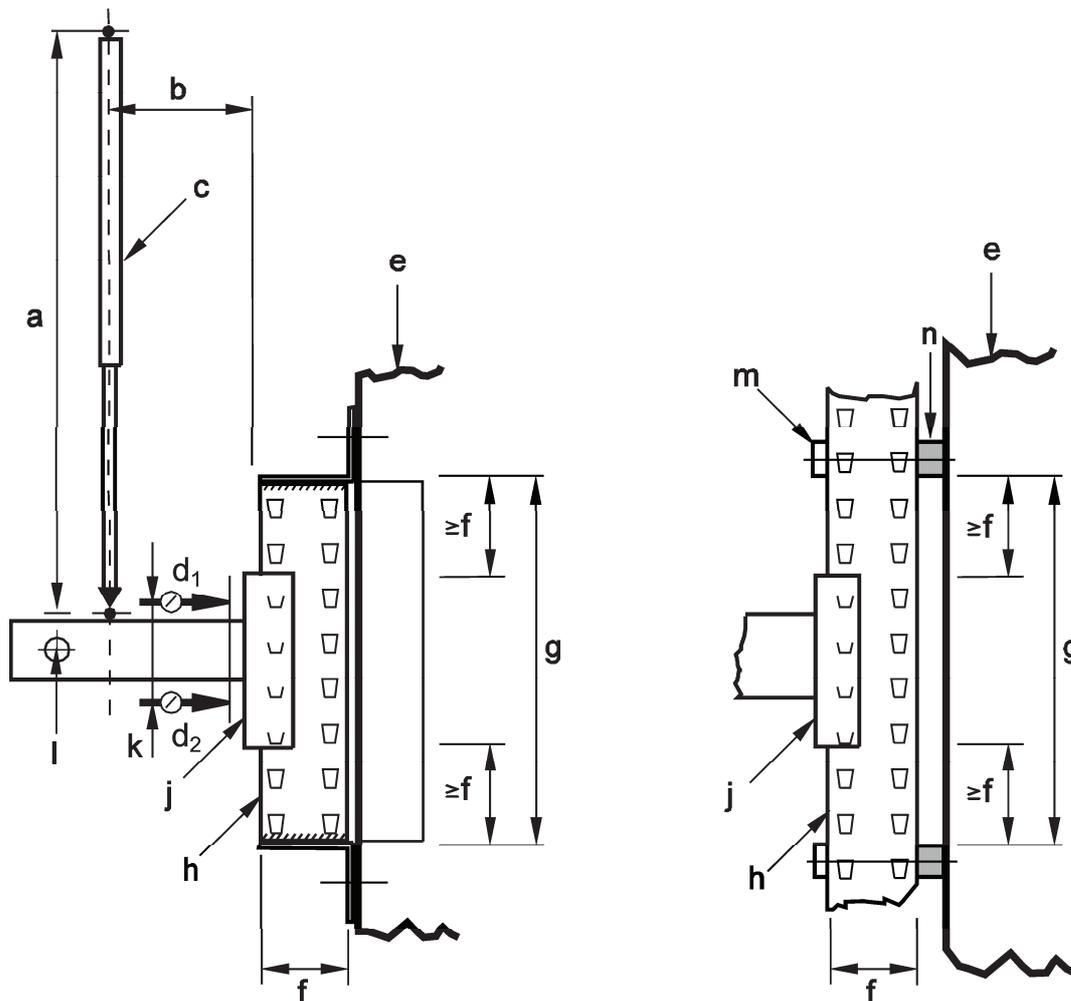
Der Prüfaufbau ist wie folgt zu gestalten:

- a) Ein kurzes Stützenstück ist an zwei Punkten an einem relativ sehr steifen Versuchsrahmen zu befestigen, wobei der lichte Abstand h zwischen den zwei Befestigungspunkten sein muss, wobei:

$$h_c \geq \text{Trägeranschlusslasche} + 2 \times \text{Stützenstirnweite}$$

Über diese Länge dürfen sich während des Versuchs Stütze und Versuchsrahmen nicht berühren. Ein kurzes Trägerstück mit der Anschlusslasche, die geprüft werden soll, wird an der Stütze angeschlossen, wobei Trägersicherungen eingebaut sein müssen. Typische Beispiele von geeigneten Prüfanordnungen sind in Bild A.5 dargestellt.

- b) Seitliches Ausweichen und Verdrehen des (freien) Trägerendes ist durch eine seitliche Abstützung zu verhindern, jedoch muss eine freie Bewegung des Trägerstücks in Richtung der Last möglich sein. Ersatzweise dürfen Anschlusslaschen auch paarweise parallel untersucht werden.
- c) Die Last ist durch einen Lastgeber (Druckgeber) 400 mm von der Stützenkante entfernt einzuleiten, welcher zwischen den gelenkigen Anschlussenden mindestens 750 mm lang ist, wie in Bild A.5 gezeigt.
- d) Die Verdrehung ist mit einem der folgenden Instrumente zu messen:
- 1) Weggeber an einer Platte gelagert, die am Träger dicht an der Anschlusslasche befestigt sind, jedoch mit genügend Abstand, welcher Verformung der Anschlusslasche erlaubt (Messgeräte C_1 und C_2 in Bild A.5);
 - 2) einem Neigungsmessgerät, dicht an der Anschlusslasche am Träger angeschlossen.



Legende

- a ≥ 750 mm
- b 400 mm
- c Lastgeber
- d Messinstrumente
- e Versuchsstand
- f Stützenstirnweite
- g Prüfstüklänge
- j Trägeranschlusslasche
- k Abstand der Messinstrumente
- l Seiteneinspannung, die vertikale Biegung erlaubt
- m Klemmvorrichtung
- n Distanzstücke

**Bild A.5 — Aufbau für Trägeranschlussbiegeversuch
 (Darstellung alternativer Befestigungsarten der Stützen)**

A.2.4.3 Durchführung

In den in Bild A.5 beschriebenen Versuchen werden die Trägeranschlüsse senkrecht nach unten belastet. Getrennte Werte für die Steifigkeit und Tragfähigkeit sind für linke und rechte Ausführungen von Anschlusslaschen zu ermitteln und der Mittelwert ist in der Berechnung anzuwenden.

Eine Anfangslast F von etwa 10 % der voraussichtlichen Versagenslast darf auf die Versuchsanordnung als Vorlast zum Einbetten der Komponenten aufgebracht und wieder entfernt werden. Dann werden die Messeinrichtungen in Ausgangsstellung gebracht. Die Last F wird dann stufenweise gesteigert, bis die maximale Last erreicht ist und der Anschluss versagt. Die Verdrehung des Anschlusses ist zu beobachten und für jeden Versuch ist Moment M und die Verdrehung θ zeichnerisch darzustellen, wobei:

$$M = a F \quad (\text{A.7})$$

und

$$\theta = \frac{\delta_2 - \delta_1}{d} \quad (\text{A.8})$$

Dabei ist

- A der Hebelarm für die Last F ;
- d der Abstand zwischen Messeinrichtungen C_1 und C_2 , siehe Bild A.5;
- δ_1 die gemessene Durchbiegung an Uhr C_1 ;
- δ_2 die gemessene Durchbiegung an Uhr C_2 .

A.2.4.4 Korrekturen an den Beobachtungen

Die Streckgrenze und Dicke des Trägermaterials, der Stütze und der Trägeranschlusslasche sind zu bestimmen und der Korrekturfaktor C_m wird berechnet, wobei

$$C_m = ((f_y/f_t)^\alpha \cdot (t/t_t))_{\max} \text{ aber } C_m \leq 1,0 \quad (\text{A.9})$$

Dabei ist

- f_t die beobachtete Streckgrenze für das entsprechende Bauteil;
- f_y die Nennstreckgrenze für das entsprechende Bauteil;
- t_t die beobachtete Dicke des entsprechenden Bauteils;
- t die Konstruktionsdicke für das entsprechende Bauteil;
- $\alpha = 0$ wenn $f_y \geq f_t$;
- $\alpha = 1,0$ wenn $f_y < f_t$.

Wenn der Träger nicht versagt oder die Trägerstreckgrenze nicht 1,25-mal die garantierte Festigkeit übersteigt, so ist das maßgebende Bauteil entweder die Trägeranschlusslasche oder die Stütze. Das Bauteil wird herangezogen, aus dem die größte Korrektur der Versuchswerte hervorgeht, ungeachtet davon bei welchem Bauteil Versagen festgestellt wurde. Falls der Träger versagt, muss auch die Korrektur bezüglich des Trägermaterials berücksichtigt werden. Korrekturen von 15 % und geringer können vernachlässigt werden.

Zur Korrektur der Beobachtungen ist die Momentverdrehungskurve ($M_t - \theta$) für jeden Versuch in zwei Teile zu gliedern, wovon ein Teil die elastische Verformung und der andere die unelastische Verformung des Anschlusses verkörpert.

Die Vorgehensweise ist wie folgt:

- a) Die unberichtigten Versuchsergebnisse als Momentrotationskurve ($M_t - \theta$) eintragen.
- b) Die Neigung dieser Kurve (k_0) am Nullpunkt messen.
- c) Um die plastischen Rotationen θ_p zu erhalten, die elastischen Rotationen M_t/k_0 von den beobachteten Rotationen θ_t subtrahieren.
- d) Die korrigierten Momente M_n berechnen, wobei $M_n = M_t \times C$. Wobei $C = 0,15 + C_m$ und C ist geringer als oder gleich 1,0.
- e) Die elastischen Rotationen hinzufügen, nun M_n/k_0 , um die neuen Rotationen $\theta_n = \theta_p + M_n/k_0$ zu erhalten.
- f) Die korrigierte Momentrotationskurve ($M_t - \theta$) einzeichnen.

ANMERKUNG 1 Die Neigung der korrigierten Momentrotationskurve ist mit der Neigung k_0 der ursprünglich beobachteten Kurve identisch.

ANMERKUNG 2 Ein algebraischer Ausdruck darf zur Darstellung der eingezeichneten Kurve als Funktion der Rotation angewandt werden. Dieser Ausdruck sollte nicht mehr als 5 unabhängige Beiwerte beinhalten. Dies kann durch Anwendung der Fehlerquadrat-Anpassungsmethode erreicht werden.

A.2.4.5 Ableiten von Ergebnissen und Verfahren zur Definition der Kurven

A.2.4.5.1 Allgemeines

Das Versagemoment M_{ni} ist als das maximal beobachtete Moment anzunehmen, wie in Bild A.6 gezeigt.

Für jedes Stützen/Trägeranschlusspaar muss das charakteristische Versagemoment M_k nach 13.3.3 berechnet werden. Das Bemessungsmoment für den Trägeranschluss ist dann M_{Rd} , wobei:

$$M_{Rd} = \eta \frac{M_k}{\gamma_M} \quad (\text{A.10})$$

Dabei ist

γ_M der Teil-Sicherheitsfaktor für Trägeranschlüsse, definiert in 7.5;

η der variable, vom Konstrukteur gewählte Moment/Verminderungsfaktor ≤ 1 .

ANMERKUNG Ein beliebiger Wert des Bemessungsmoments darf gewählt werden, der geringer als oder gleich dem maximal erlaubten ist, um die nicht übereinstimmenden Anforderungen für Steifigkeit und Festigkeit zu optimieren. Durch die Reduzierung der Bemessungsfestigkeit ist es somit möglich, eine größere Bemessungssteifigkeit zu erreichen.

A.2.4.5.2 Verfahren zur Ableitung einer bilinearen Kurve

Ein bilineares Momentrotationverhältnis besteht aus einer linearen Verdrehungssteifigkeit und der Bemessungsfestigkeit, gewählt wie in Gleichung (A.10) beschrieben.

Die Verdrehungssteifigkeit des Trägeranschlusses ist durch die Neigung k_{ni} einer Linie durch den Koordinatennullpunkt zu ermitteln, die gleich große Flächen zwischen sich und der Versuchskurve unterhalb des Bemessungsmoments M_{Rdc} trennt, wie in Bild A.6 dargestellt, vorausgesetzt dass:

$$k_{ni} \leq 1,15 \frac{M_{Rd}}{\theta_{ki}} \quad (\text{A.11})$$

ANMERKUNG Diese Bestimmung ist so ausgelegt, dass in Fällen wo der Trägeranschluss sich nicht linear verhält, die Differenz der im Modell angenommenen Verdrehung bei Versagen und der beim Versuch angezeigten Verdrehung auf 15 % beschränkt wird.

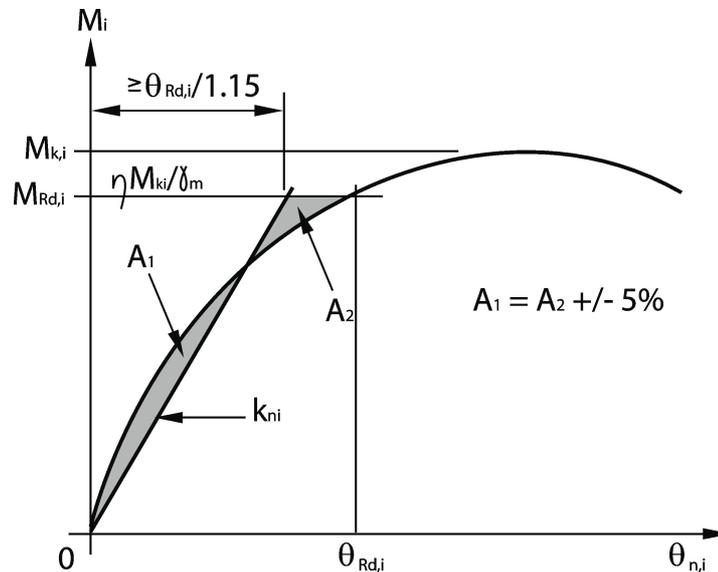


Bild A.6 — Ableiten der Trägeranschlusssteifigkeit

Der Bemessungswert k_d der Trägeranschlusssteifigkeit ist als Durchschnittswert k_m zu nehmen:

$$k_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_{ni} \quad (\text{A.12})$$

A.2.4.5.3 Vorgehensweise zur Ableitung einer multilinearen Kurve

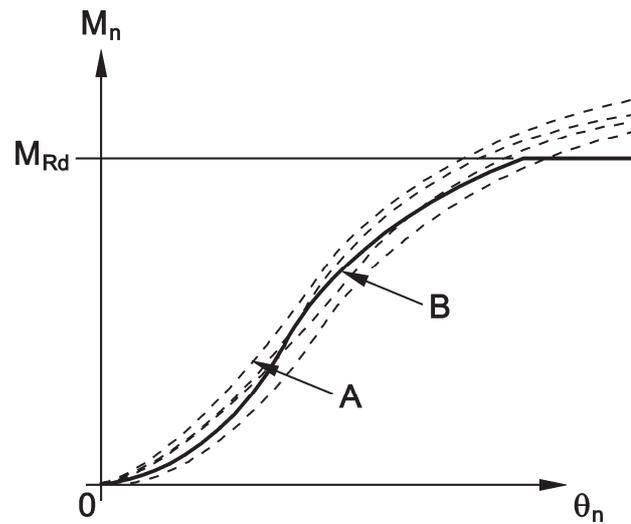
Der erste Schritt für eine multilineare Momentverdrehungskurve ist eine Durchschnittskurve von den Prüfergebnissen an dem zu prüfenden Träger und der Trägerlaschenkombination abzuleiten. Nach A.2.4.3 dürfen die Ergebnisse von den linken und rechten Anschlusslaschen zusammengenommen werden.

Die Durchschnittskurve wird durch Aufzeichnen des Mittelwertes der Verdrehung an jedem Moment-Inkrement bis zum Wert des Berechnungsmoments M_{Rd} erzeugt. Hierbei werden die Momentverdrehungskurven benutzt werden, nachdem sie nach A.2.4.4 korrigiert worden sind.

Daraus entsteht eine einfache Kurve für den Trägeranschlusstyp, wo das Moment und die zugehörige Verdrehung festgehalten werden, wie die durchgehende Linie in Bild A.7 zeigt.

Falls das Spiel aus der Berechnung der Rahmenimperfection in 5.3.2 ausgelassen werden soll, muss das nach A.2.5 gemessene Spiel zu der oben entstandenen Durchschnitts-Momentverdrehungskurve als horizontale oder nahezu horizontale Linie addiert werden.

Die multilineare Kurve kann erhalten werden, indem die Durchschnittskurve ersetzt wird durch eine Serie von geraden Linien, die immer unterhalb der Durchschnittskurven liegen, wie in Bild A.8 dargestellt. Es kann angenommen werden, dass die Momentverdrehungskennlinie auch für negative Verdrehungen gilt.



Legende

- A ist eine Serie von Versuchskurven (korrigiert)
- B ist die abgeleitete Mittelkurve

Bild A.7 — Ableitung der „Mittel“-Momentverdrehschleife

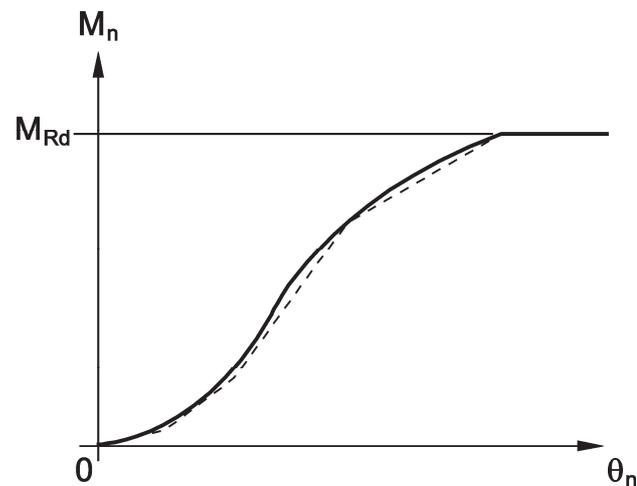


Bild A.8 — Typische Linearisierung der Durchschnittskurve

A.2.5 Ermittlung des Anschlussspiels an einer Anschlusslasche

A.2.5.1 Zweck der Prüfung

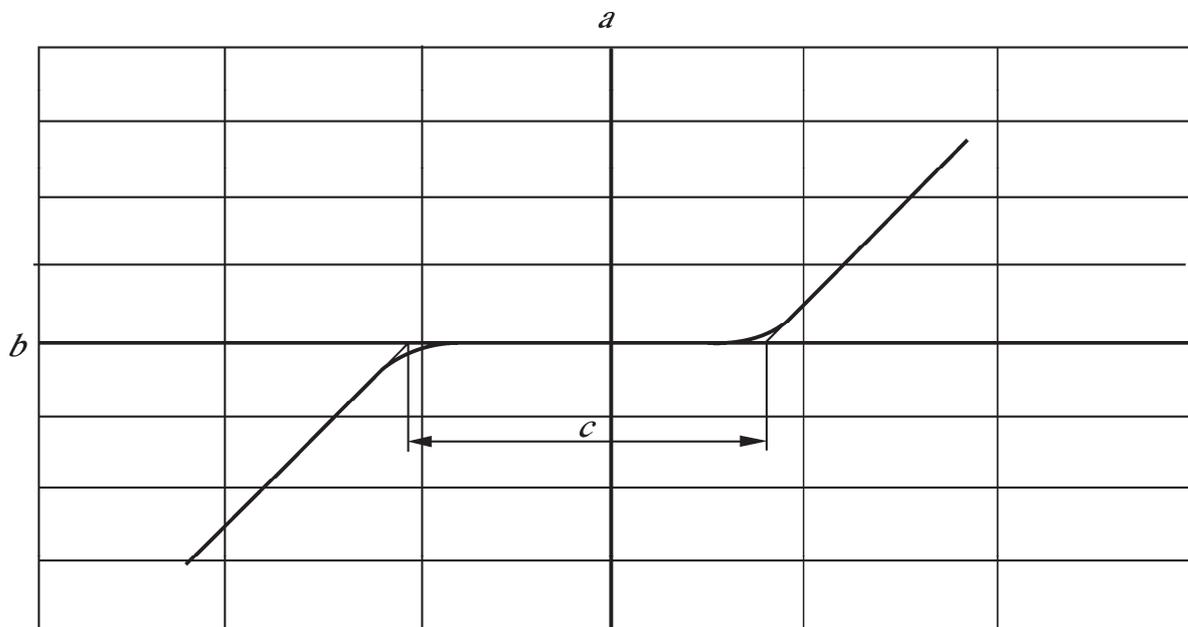
Der Zweck der Prüfung ist, einen Wert für die Lockerheit und das Spiel des Anschlusses ϕ_{li} zu erhalten, wie es für die Bemessung in 5.3.2 gefordert wird.

A.2.5.2 Prüfaufbau

Es ist der gleiche Prüfaufbau zu verwenden, wie er für die Ermittlung der Anschlusslaschen-Tragfähigkeit und -Steifigkeit verwendet wird und unter A.2.4 beschrieben ist, mit der Ausnahme, dass der Lastgeber doppelwirkend sein soll mit der Möglichkeit, die Last in umgekehrter Richtung einzuleiten, oder es sind ausgleichende Gegengewichte zu verwenden, um den gleichen Effekt zu erzielen. Die Trägeranschlusslasche darf sich nicht während dem Umkehrverfahren von der Stütze lösen. Etwaige gewählte Maßnahmen, die dies verhindern, dürfen das Anschlussspielverhalten nicht beeinflussen.

A.2.5.3 Durchführung

Die Last F ist langsam zu steigern, bis das Moment an der Anschlusslasche ($= 0,4 F$) einen Wert von mindestens 10 % des unter A.2.4 definierten Bemessungsmoments M_{Rd} erreicht. Die Verdrehungen sind zu beobachten. Die Last ist dann zu reduzieren und in umgekehrter Richtung aufzubringen, bis ein negatives Moment von mindestens 10 % M_{Rd} aufgebracht ist. Die Last ist dann zu entfernen. Bild A.9 zeigt ein typisches Ergebnis eines solchen Versuchs.



Legende

- a Moment in $\text{kN} \cdot \text{m}$
- b Verdrehung in Radian
- c doppelter Wert des Anschlusslaschenspiels

Bild A.9 — Typisches Prüfergebnis

Das Spiel ist, wie in Bild A.9 dargestellt, zu ermitteln, indem man die linearen Teile der Moment-Rotationskurve in Richtung des Ursprungs verlängert bis sie die Verdrehungsachse schneiden. Die Differenz zwischen den beiden Schnittpunkten, die so bestimmt wurden, ist gleich dem doppelten Wert des Anschlusslaschenspiels.

A.2.5.4 Korrektur der Beobachtungen

Es müssen keine Korrekturen an den Beobachtungen zur Berücksichtigung von Dicken- oder Festigkeitsschwankungen vorgenommen werden.

A.2.5.5 Ableitung von Ergebnissen

Als Anschlussspiel muss der mittlere Wert ϕ von mindestens drei Versuchsergebnissen ϕ_i genommen werden.

A.2.6 Scherversuch an Trägeranschlusslaschen und Sicherungselementen

A.2.6.1 Zweck der Prüfung

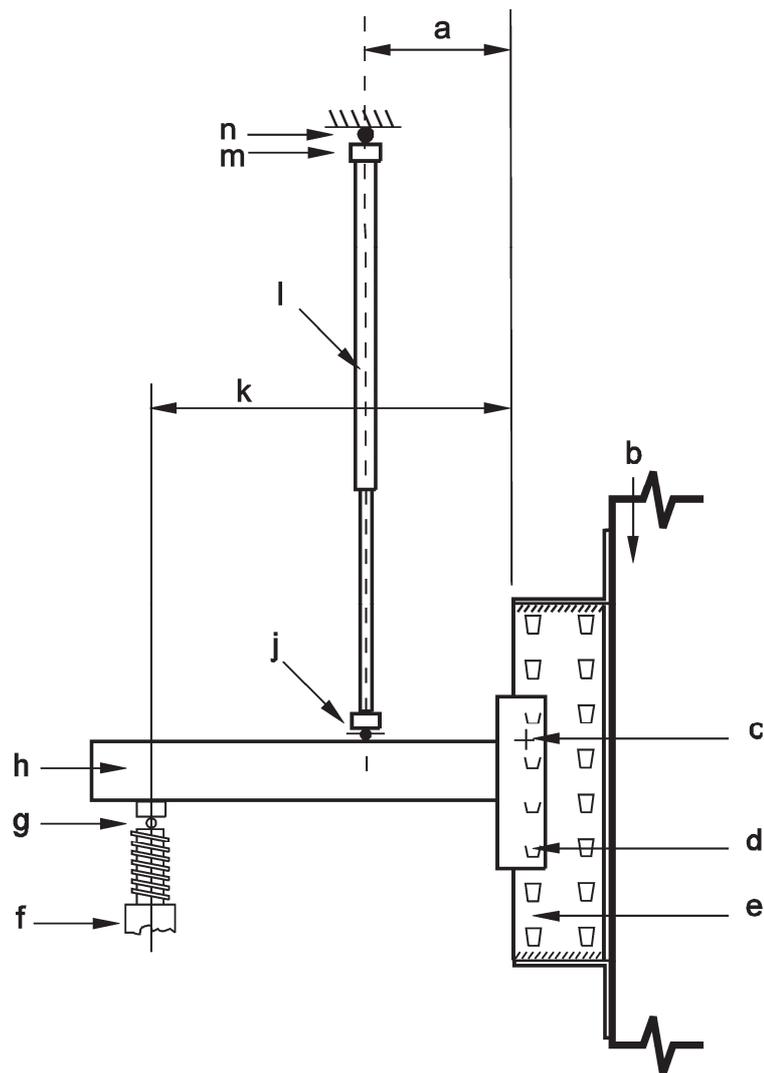
Der Zweck der Prüfung ist es, die Scherfestigkeit der Anschlusslasche oder der Anschlusslaschen-Sicherung zu messen. Alle unter A.2.4.1 spezifizierten Kombinationen sind zu prüfen.

A.2.6.2 Prüfaufbau

Der Prüfaufbau umfasst ein kurzes Stützenstück, welches starr an einem relativ unendlich steifen Rahmen befestigt ist, mit einem angeschlossenen Trägerstück mit dem Anschluss, den man zu untersuchen beabsichtigt, wie in Bild A.10 gezeigt ist. Die Last wird in den Anschluss über einen am Ende gelenkig gelagerten Lastgeber eingeleitet. Der Lastgeber muss in einem Abstand „a“ so nah wie möglich an der Stützenseite angeordnet sein. Das freie Ende des Trägerstücks ist durch ein gelenkiges Lager in mindestens 400 mm Abstand von der Stütze zu halten, wie in Bild A.10 gezeigt. Diese Auflage muss in vertikaler Richtung so eingestellt sein, dass der Träger während des Versuchs horizontal bleibt.

Um das Anschlusssicherungselement zu prüfen, ist das Prüfstück in umgedrehter Richtung einzubauen. Zusätzlich zu der in Bild A.10 gezeigten Belastung ist eine konstante Last von 500 N in Höhe der Oberkante des Trägers rechtwinklig zur Stützenfront so einzuleiten, dass die Anschlusslasche von der Stützenseite weggezogen wird.

ANMERKUNG Der Sinn dieser Kraft ist, horizontales Spiel aus dem Aufbau zu nehmen und dadurch die ungünstigste Bedingung für das Sicherungselement zu schaffen.



Legende

- a Dimension möglichst nah der Stütze
- b Versuchsrahmen
- c Trägersicherungselement
- d Trägeranschlusslasche
- e kurzes Stützenstück
- f Schraubenspindel
- g Rolle und Schlitten
- h Träger
- j Rolle und Schlitten
- k ≥ 400 mm
- l Lastgeber
- m Messdose
- n gelenkige Auflage

Bild A.10 — Prüfanordnung für den Anschlusslaschen-Scherversuch

ANMERKUNG 1 Der Lastgeber und die Schraubenspindel sollten über dem Schubmittelpunkt des Trägers angeordnet sein, wobei die angebrachte Last über die gesamte Oberflächenbreite des Trägers angelegt werden sollte.

ANMERKUNG 2 Falls es schwierig ist, ein Zugprüfstück aus dem Trägeranschlussblech zu erhalten, dessen Abstand ausreichend entfernt von dem wärmebeeinflussten bzw. kaltverformten Bereich ist, dann darf ein kleineres Prüfstück als in EN 10002 festgelegt, eingesetzt werden. Für diesen Versuch ist kein Dehnungswert erforderlich. Als Alternative darf das Prüfstück aus der Trägeranschlusslasche geschnitten werden, bevor die Lasche kaltgeformt wird.

A.2.6.3 Durchführung

Um die Traglast der Trägeranschlusslasche oder des Sicherungselements zu ermitteln, wird der Träger nach Bild A.11 belastet bis die maximale Last F_{ti} erreicht ist. Die Traglast der Anschlusslasche R_{ti} ergibt sich dann zu:

$$R_{ti} = F_{ti} \left(1 - \frac{a}{k} \right) \quad (\text{A.13})$$

A.2.6.4 Korrekturen an den Beobachtungen

Die Ergebnisse dieser Versuche sind für Streckgrenze und Dicke nach A.2.4.4 zu korrigieren.

A.2.6.5 Ableitung von Ergebnissen

Der charakteristische Wert für die Scherfestigkeit der Anschlusslasche und der Anschlusslaschen-Sicherung sind nach 13.3.3 aufgrund von mindestens drei Versuchsergebnissen zu ermitteln.

A.2.7 Prüfungen an Stützenfußboden-Verbindungen

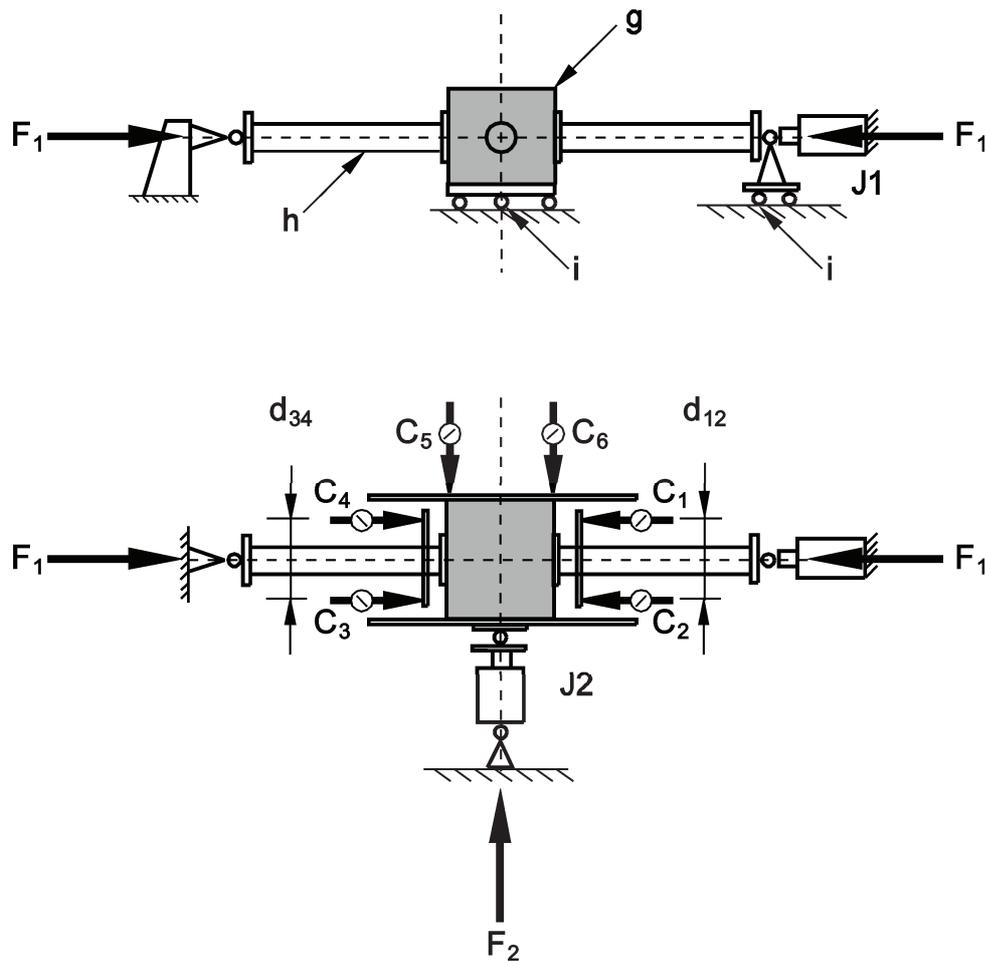
A.2.7.1 Zweck der Prüfung

Der Zweck der Prüfung besteht darin, die Moment/Verdrehungscharakteristik der Verbindung zwischen Stütze und Fußboden für eine Reihe von Längskräften bis hoch zur maximalen Tragfähigkeit der Stütze zu ermitteln.

A.2.7.2 Prüfaufbau

Eine geeignete Prüfanordnung zeigt Bild A.11. Alternative Aufbauten können benutzt werden, vorausgesetzt, sie simulieren getreu die realen konstruktiven Bedingungen.

Der Prüfaufbau beinhaltet zwei Stützenprofilstücke, in einer Länge von mindestens viermal der Breite des Stützenprofils, welche mit Fußplatten auf einem Betonwürfel, der die Fußbodenfläche darstellt, befestigt werden (siehe Bild A.11). Für diese Prüfung sind Standardfußplatten zu verwenden. Diese Fußplatten sind unter Verwendung des Befestigungsmaterials am Betonwürfel anzuschließen, welches der Bauweise entspricht, die wiedergegeben werden soll. Wenn die Fußplatten Bodenbefestigungen aufweisen, muss die Festigkeit des im Versuch verwendeten Betons die gleiche sein, wie die des in der Praxis verwendeten Betons. Versuche mit Beton der Festigkeitsklasse 20/25 dürfen für alle festen Betonböden, deren Betonfestigkeit nicht bekannt ist, angewendet werden. Die Versuche dürfen unter Verwendung anderer, dem tatsächlichen Bodengrund entsprechenden Materialien durchgeführt werden, wenn es kein Beton ist. Voraussetzung ist, die Versuchsbedingungen stellen die Bedingungen in der Praxis dar.



Legende

c_1 bis c_6	Messgeräte
d_{12} und d_{34}	Abstand zwischen Messgeräten
F_1 und F_2	Kraft durch Lastgeber angelegt
g	Betonblock
h	Stützenprofilstück
i	Kugellager
J1 und J2	Lastgeber

Bild A.11 — Prüfanordnung für die Prüfung von Stützenfußboden-Verbindungen

Der Betonwürfel muss parallele Oberflächen aufweisen, und der Freiraum um die Fußplatte herum muss mindestens 50 mm betragen. Der Würfel ist auf Rollen, Kugellagern oder einer gut geschmierten Fläche zu lagern, so dass er sich frei in horizontaler Richtung bewegen kann, jedoch ein Verdrehen um die vertikale Achse verhindert wird. Zur Messung der horizontalen Bewegung und Verdrehung des Stützenfußes in Bezug zur Oberfläche des Betons sind Messgeräte anzuschließen. Ein geeigneter Aufbau ist in Bild A.11 dargestellt.

Die Stützen müssen rechtwinklig zu ihren Längsachsen geschnitten werden und die Oberflächen des Würfels, auf dem die Stützen gelagert werden, müssen parallel sein, so dass die Achsen der beiden Stützen mit der Wirkungslinie der Last übereinstimmen.

A.2.7.3 Prüfverfahren

Eine Versuchsreihe mit verschiedenen Längslasten bis zur geschätzten maximalen Bemessungslast für die Stütze sollte durchgeführt werden. Je Stütze sind mindestens 6 Versuche durchzuführen.

Die Last in Lastgeber 1 ist auf einen Nennwert einzustellen, der alle Bauteile unter Kontakt hält und die Weggeber sind auf null zu stellen. Die Last in Lastgeber 1 ist dann auf ihren vollen Wert zu erhöhen und konstant zu halten. Die Verschiebungen sind festzustellen und dann die Last in Lastgeber 2 zu erhöhen und weitere Verschiebungen zu beobachten bis die Last ihr Maximum erreicht.

Das Kräftesystem ist in Bild A.12 dargestellt.

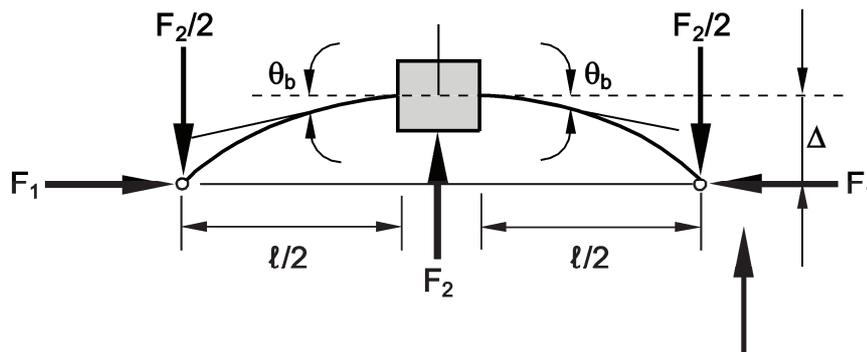


Bild A.12 — Kräfte und Verformungen im Versuch an einer Stütze-Bodenverbindung

Das an der Fußplatte eingeleitete Moment, M_b , und die Verdrehung des Fußes, θ_b , müssen wie folgt berechnet werden:

$$M_b = \frac{F_2 \ell}{4} + F_1 \Delta \quad (\text{A.14})$$

$$\theta_b = \frac{1}{2} \left[\frac{\delta_1 - \delta_2}{d_{12}} + \frac{\delta_3 - \delta_4}{d_{34}} \right] \quad (\text{A.15})$$

worin F_1 und F_2 die über Lastgeber 1 und Lastgeber 2 eingeleiteten Lasten sind;

δ_1 bis δ_6 stellen die Verschiebungen an den Positionen 1 bis 6 dar;

$$\Delta = \frac{\delta_5 + \delta_6}{2} \quad (\text{A.16})$$

und d_{12} und d_{34} sind in Bild A.11 definiert.

A.2.7.4 Korrektur der Beobachtungen

Ergebnisse dieser Prüfung brauchen keinen Korrekturen unterzogen zu werden.

ANMERKUNG Der Prüfenieur sollte die Konsequenz jeder bedeutenden Abweichung von den Nennwerten in den mechanischen und geometrischen Eigenschaften der Prüfanordnung bedenken.

A.2.7.5 Ableitung der Ergebnisse

Für eine angegebene Längslast sind die Bemessungswerte eines Bruchbiegetragmoments und der Steifigkeit der Fußplattenverbindung nach A.2.4.5 für Trägeranschlussplatten zu berechnen. Dies ist für jeden Wert der Längslast durchzuführen. Die Prüfergebnisse sind in einer Graphik für Widerstand und Steifigkeit in Abhängigkeit von Längslast aufzuzeichnen, und es ist für jeden Fall eine weiche Auslegungslinie oder eine Reihe von geraden Linien, die unter sämtlichen Versuchsergebnissen liegen, einzuzichnen. Als Alternative darf eine einzelne Steifigkeit für alle Werte der Längslast gewählt und die entsprechenden Widerstände nach A.2.4.5 berechnet werden.

A.2.8 Ermittlung der Schubsteifigkeit von Ständerrahmen

A.2.8.1 Zweck der Prüfung

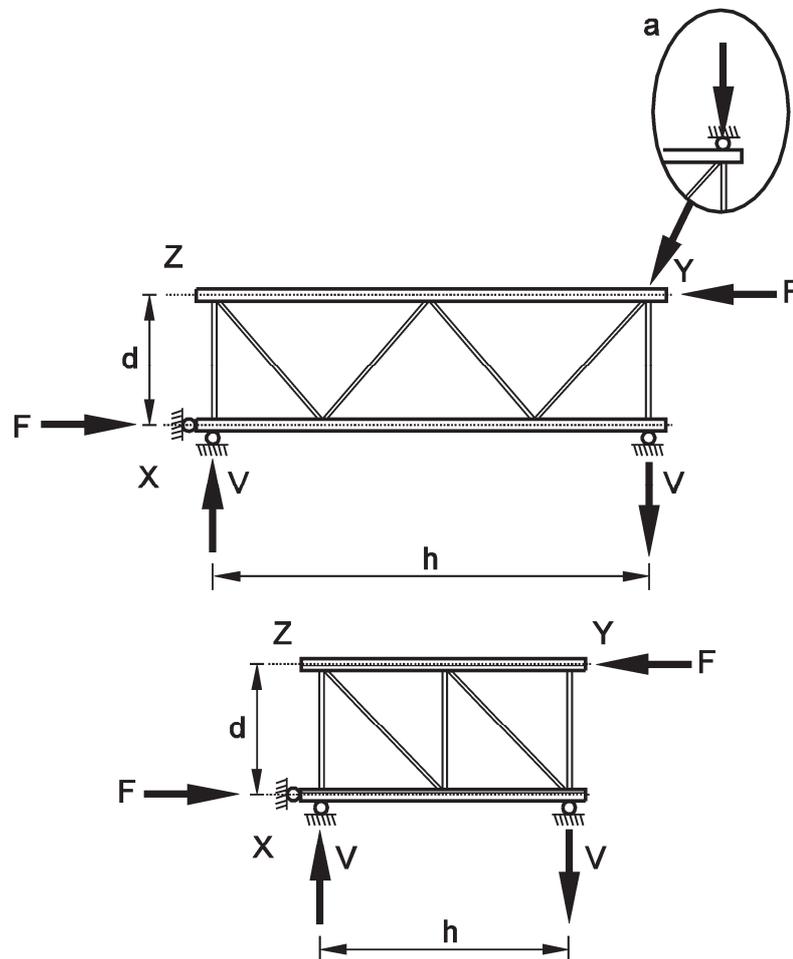
Der Zweck der Prüfung ist es, die Quer-Schubsteifigkeit je Längeneinheit der Ständerkonstruktion festzustellen, um die Möglichkeit zur Einschätzung der Stabilität zu erhalten und um die Scherfestigkeit des Rahmens zu ermitteln.

A.2.8.2 Prüfaufbau

Das Prüfmuster muss ein kompletter Ständerrahmen mit einer Reihe von Vergitterungsabständen sein, der in der in Bild A.13 gezeigten Art und Weise belastet wird.

Mindestens zwei Aussteifungsfelder sollten eingesetzt werden, wie in Bild A.13 dargestellt.

Ein Fuß des Rahmens ist an einem Ende derart gelenkig zu lagern, dass er wie an Punkt X in Bild A.13 gegen horizontale Bewegung gesichert ist. Am anderen Fuß wird die Last im Schwerpunkt an Punkt Y in Bild A.13 aufgebracht.



Legende

- a alternative Einspannungsstelle
- d Abstand zwischen Stützenschwerlinien
- h Rahmenlänge

Bild A.13 — Prüfanordnung zur Ermittlung der Schersteifigkeit von aussteiften Rahmen

Wenn bei dem Produkt eine Reihe verschiedener Rahmentiefen verwendet werden, ist diese Prüfung an der am meist verwendeten Rahmentiefe durchzuführen. Wenn bei dem Produkt eine Reihe verschiedener Winkel zwischen der Stütze und dem Streben verwendet werden, darf bei den Prüfungen der Durchschnittswinkel angewandt werden.

Die horizontale Durchbiegung des Rahmens δ muss an Punkt Z in Bild A.13 gemessen werden.

A.2.8.3 Durchführung

Die Last F wird bis zu einem ausreichenden Grad stufenweise gesteigert, damit sich mindestens drei Punkte auf dem wesentlich linearen Teil der Lastdurchbiegungskurve ergeben. Während des Versuchs wird die zugehörige Verschiebung δ gemessen. Die Last F wird dann in Abhängigkeit von δ graphisch aufgetragen.

ANMERKUNG Die entsprechende Lastebene ist abhängig von der Anzahl der Vergitterungen im Versuchsrahmen. Als Orientierung wird 2 kN je Vergitterung vorgeschlagen, wobei jedoch die maximale Last nicht so groß sein sollte, dass ein Knicken der Verstrebungen verursacht wird.

A.2.8.4 Korrektur der Beobachtungen

Es sind keine Korrekturen erforderlich.

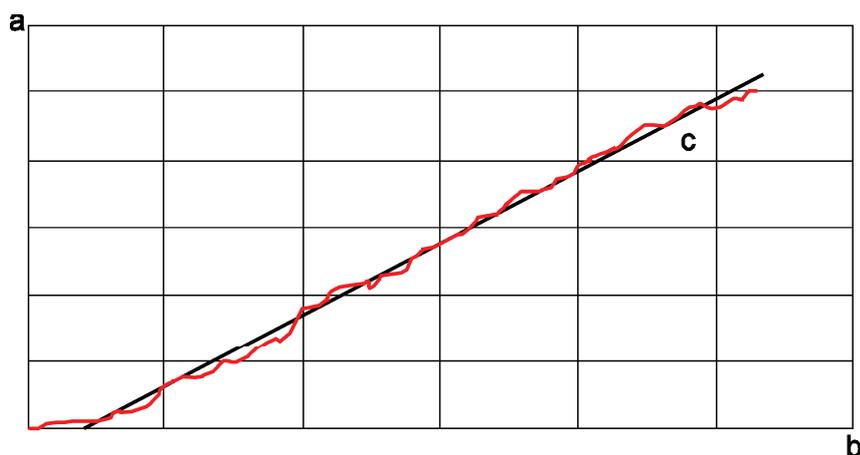
A.2.8.5 Ableitung der Ergebnisse

Als charakteristischer Wert der Quer-Schubsteifigkeit des Rahmens muss der Durchschnittswert aus mindestens drei Versuchen genommen werden. Bei diesem Versuch wird die Lastdurchbiegungskurve oft nicht linear verlaufen und häufig einige Auswirkungen aufgrund von Spiel beinhalten. Daher reicht es, die Steifigkeit als Neigung K_{ti} von der Best-Fit geraden Linie für die Kurve über ihren gesamten Wertebereich zu definieren. Eine typische Lastdurchbiegungskurve ist in Bild A.14 dargestellt.

Die Quer-Schubsteifigkeit des Rahmens S_{ti} darf zur Ableitung entweder einer reduzierten Aussteifungsfläche oder einer Federkonstante für den Aussteifungsanschluss angewandt werden. Diese ist wie folgt zu berechnen:

$$S_{ti} = \frac{k_{ti} d^2}{h} \tag{A.17}$$

wobei h die Länge des Rahmens ist und d der Abstand zwischen den Schwerlinien der Stützenprofile wie in Bild A.13 dargestellt.



Legende

- a Scherlast in kN
- b Scherverschiebung in mm
- c Neigung k_{ti}

Bild A.14 — Lastdurchbiegungskurve

ANMERKUNG Der Bemessungswert der Querschubsteifigkeit, der bei diesem Versuch gemessen wird, ist S_D in Anhang G.

A.2.9 Biegeversuche an Stützenprofilen

A.2.9.1 Zweck der Prüfung

Zweck der Prüfung ist es, das Biegetragmoment eines Stützenprofils für Biegung um seine „starke“ und „schwache“ Achse zu bestimmen.

A.2.9.2 Prüfanordnung

Die Prüfung ist so durchzuführen, dass das Profil auf Biegung belastet wird, wie Bild A.15 zeigt. Die Spannweite L des Trägers ist so zu wählen, dass

$$L \geq 30D \quad (\text{A.18})$$

worin

D die Höhe des zu prüfenden Trägers ist.

Der Versuch ist zur Ermittlung der typischen Biegefestigkeit der Stütze entweder um die starke oder die schwache Achse durchzuführen. Wenn der Versuch erfolgt, um das Biegeverhalten um die Symmetrieachse festzustellen, ist ein kompletter Rahmen zu untersuchen, dessen zwei Stützen durch das normale Vergütungs-System verbunden sind, wobei sich das Profil an den Unterstützungen frei drehen kann, wie Bild A.15 zeigt. Diese Anordnung erlaubt das Auftreten von Biegedrillknickeffekten, welche den Erscheinungen ähnlich sind, die bei der Stütze unter normalen Nutzungsbedingungen entstehen. Die angelegten Lasten und ihre Reaktionen an jeder Stütze müssen stets auf der gleichen senkrechten Ebene liegen. Diese Ebene darf durch ihren Schubmittelpunkt oder den Schwerpunkt des Querschnitts bestimmt werden.

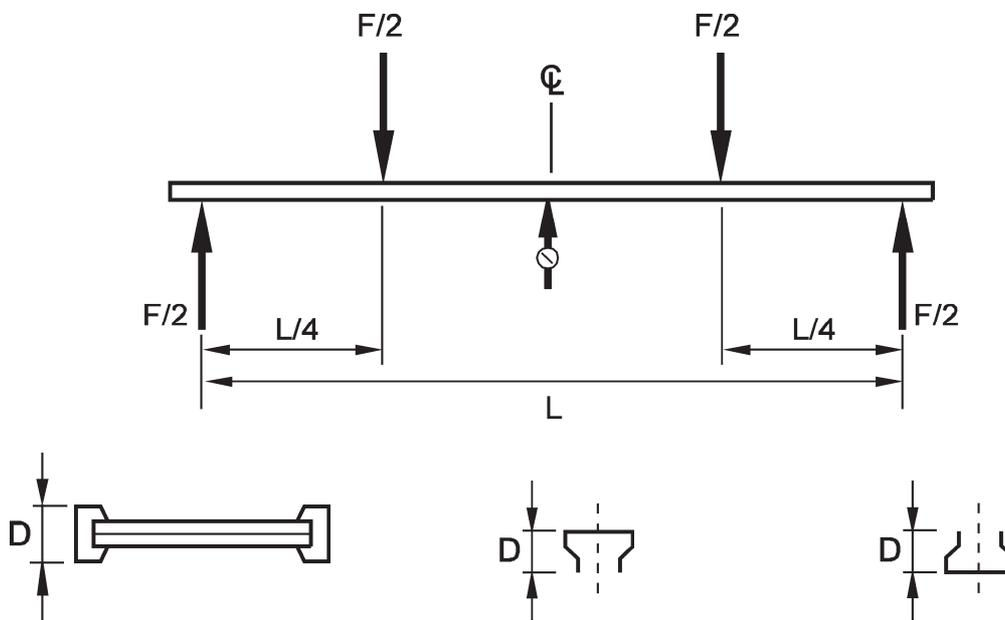


Bild A.15 — Prüfaufbau

A.2.9.3 Durchführung

Die Last ist in den Viertelpunkten der Spannweite schrittweise bis zum Versagen über Lastverteiler aufzubringen, die breit genug ist, um jeder örtlichen Einbeulung vorzubeugen.

A.2.9.4 Korrektur der Beobachtungen

Das im Versuch festgestellte Versagemoment muss so angepasst werden, um Abweichungen in Dicke und Streckgrenze in Übereinstimmung mit 13.3.5 zu berücksichtigen.

A.2.9.5 Ableitung der Ergebnisse

Der charakteristische Wert für das Biegetragmoment ist nach 13.3.3 zu ermitteln.

A.2.10 Biegeversuche an Trägern

A.2.10.1 Zweck der Prüfung

Der Zweck der Prüfung ist die Biegefestigkeit eines Trägers und die Verdrehung um seine eigene Achse unter der Gebrauchslast festzustellen. Die Prüfung der Trägerfestigkeit ist für Bewertungszwecke eines analytischen Modells oder zur Bestimmung des Bemessungs-Biegemoments vorgesehen und kann für Träger mit nur einer Symmetrieachse hilfreich sein, welche anfällig sind für Biegedrillknicken.

A.2.10.2 Prüfanordnung

Der Prüfaufbau beinhaltet ein Trägerpaar, das, wie in Bild A.16 dargestellt, mit Standard-Anschlusslaschen in Ständerrahmen eingebaut ist. Für die Prüfung der Ermittlung der Trägerverdrehung muss die Spannweite mindestens gleich der 50-fachen Trägerhöhe sein. Die Träger dürfen durch Querträger für Paletten, Trägerverbinder oder jedes andere Bauteil miteinander verbunden werden, welches die vom Hersteller spezifizierte ungünstigste Standardkonfiguration enthält. Die Lastanordnung muss der Anwendung in der Praxis entsprechen. Ein Beispiel hierfür ist in Bild A.16 aufgeführt. Alternativ, als Standardversuch zur Ermittlung der allgemeinen Profilstabilität, können die Lasten in den Viertelpunkten der Spannweite eingeleitet werden, wie in Bild A.15 gezeigt. In diesem Fall sind die Lasten mittels Platten mit einer maximalen Breite von 100 mm anzulegen, um die Neigung für Stegkrüppeln zu reduzieren.

Das Auseinanderbreiten der Auflagen darf bei der Auswertung dieses Versuchs miteinbezogen werden.

ANMERKUNG 1 Es ist wichtig, dass das Lastmedium in der gleichen Weise mit den Trägern zusammenwirkt wie in der Praxis. Zum Beispiel können elastische Paletten oder Lagergüter wie Reifen dazu neigen, die Träger sowohl horizontal wie auch vertikal zu belasten. Diese Situation sollte in solchen Versuchen genau nachgebildet werden. Werden handelsübliche Paletten für diese Prüfungen verwendet, muss die Qualität dieser Paletten die in der Praxis zu erwartende Qualität darstellen.

Wenn der Versuch geführt wurde, um die Effekte eines möglichen Biegedrillknickens eines Trägers mit nur einer Symmetrieachse zu bewerten, dann müssen entweder die normalen Bedingungen für die seitliche Abstützung des Druckflansches angewendet werden oder, wenn eine Reihe verschiedener Bedingungen in den Prüfergebnissen enthalten sein soll, muss die ungünstigste aller Lagerungsbedingungen geprüft werden. Wo Paletten eine seitliche Abstützung des Druckflansches bieten, darf die Last über Paletten eingeleitet oder ersatzweise eine gleichwertige Lastanordnung benutzt werden. Die Prüfung ist an einer Reihe von Spannweiten entsprechend der vom Hersteller gelieferten Produktreihe durchzuführen.

ANMERKUNG 2 Belastungsvorrichtungen sollten sich mit der zu prüfenden Konstruktion frei schwenken lassen können.

Ein Ständerrahmen sollte am Fuß gelenkig gelagert und in Position gehalten sein, während der andere so rollend gelagert wird, dass er sich horizontal frei bewegen kann und dass keine horizontale Kraft und folglich keine Momente in der Stütze entstehen können.

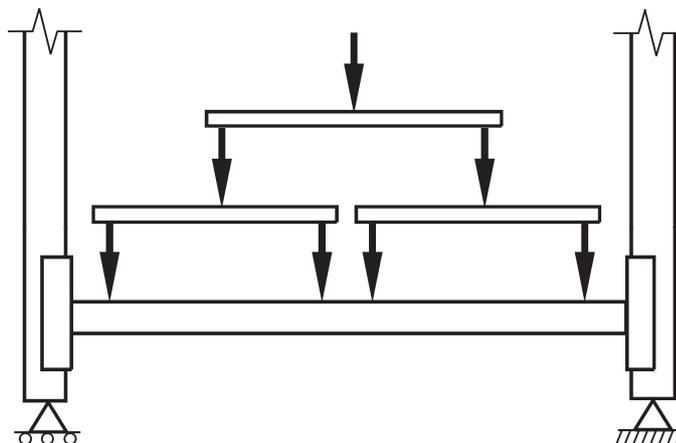


Bild A.16 — Beispiel eines Trägerversuchs mit simulierter, angelegter Last

A.2.10.3 Durchführung

Die Last ist bis zur Gebrauchslast des Trägers zu steigern und die absolute Verdrehung θ_{ti} des Trägers um seine Längsachse in der Mitte der Spannweite zu messen. Diese Messung ist unter Verwendung eines geeigneten Geräts zu messen, das unabhängig vom Versuchsaufbau befestigt ist. Für Lastanordnungen, die von der in Bild 16 dargestellten Anordnung abweichen, ist das unter A.2.9.2 beschriebene Verfahren anzupassen, um der tatsächlichen Lastverteilung auf der Spannweite Rechnung zu tragen. Wenn einmal die Messung der Durchbiegung und der Last durchgeführt wurde, darf die Last gesteigert werden bis Versagen eintritt und das Versagemoment im Träger M_{ti} berechnet wird.

A.2.10.4 Korrektur der Beobachtungen

Korrekturen am festgestellten Wert der Trägerverdrehung θ_{ti} sind wie folgt vorzunehmen, wobei die dritte Potenz für Dicke-Korrekturen nur für offene Profile angewandt wird, ansonsten ist die erste Potenz anzuwenden:

$$\theta_{ni} = \theta_{ti} \left(\frac{t_t}{t} \right)^\beta \quad (\text{A.19})$$

Dabei ist

$\beta = 3$ für offene Profile;

$\beta = 1$ für geschlossenen Profile und $\theta_{ni} \geq \theta_{ti}$;

θ_{ti} der festgestellte Wert der Verdrehung in Trägermitte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit;

θ_{ni} der berichtigte Wert der Verdrehung in Trägermitte; Korrekturen des festgestellten Versagemomentes

M_{ti} sind nach 13.3.5 vorzunehmen.

A.2.10.5 Ableitung der Ergebnisse

Als Bemessungswert der Trägerverdrehung ist der Durchschnittswert aus den letzten drei Versuchen zu nehmen. Der charakteristische Wert für das Biegetragmoment ist nach 13.3.3 zu ermitteln.

A.2.11 Prüfungen an Stützenstößen

A.2.11.1 Zweck der Prüfung

Der Zweck der Prüfung ist es, die Steifigkeit und die Tragfähigkeit von Stoßlaschen zwischen Stützenprofilen zu bestimmen.

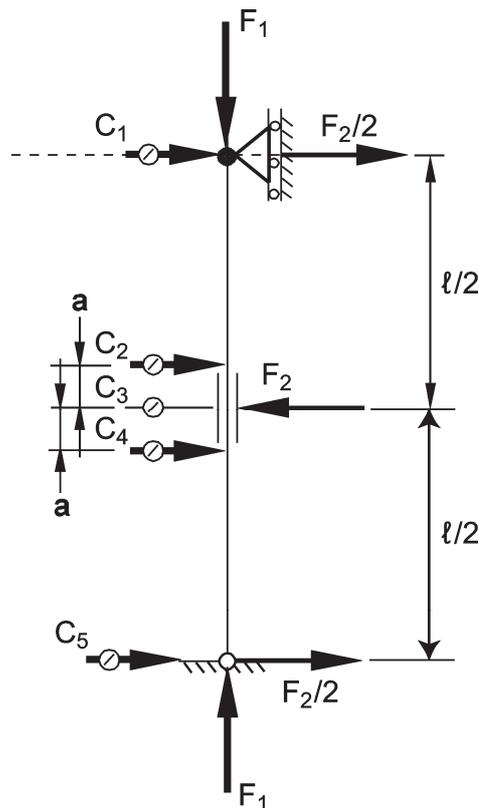
Wenn die Steifigkeit und Tragfähigkeit von Stoßlaschen in der Gangquerrichtung gefordert ist, ist ein einzelner Stoßlaschenzusammenbau zu prüfen.

A.2.11.2 Prüfanordnung

Diese Prüfung wird gewöhnlich zur Bestimmung der Steifigkeit und Tragfähigkeit von Stoßlaschen in Ganglängsrichtung durchgeführt. In diesem Fall biegt sich die Stoßlasche um die Symmetrieachse der Stütze, was zur Verdrehung führen kann. Um solche Effekte auszuschließen, dürfen zwei Stoßlaschen zusammengeprüft werden, indem sie an eine gemeinsame Fußplatte Stirnseite an Stirnseite oder Rückseite an Rückseite montiert werden. Um eine Verdrehung der Profile zu vermeiden, dürfen diese miteinander an Stellen entfernt von der Stoßlasche verbunden werden. Die aufgebrachte Last muss doppelt so groß sein wie oben angegeben.

Die Prüfanordnung ist dargestellt in Bild A.17 und beinhaltet zwei durch die zu untersuchende Stoßlasche verbundene Stützen, die axial über gelenkige Lagerpunkte an den Enden durch die Kraft F_1 belastet sind. Die Kräfte F_1 sollten in Richtung der Schwerlinie des Prüfstücks aufgebracht werden.

Jede Stoßlaschenanordnung umfasst zwei Stützenlängen, von einer Länge von mindestens viermal der Tiefe der Stütze plus der Stoßlaschenlänge. Messvorrichtungen werden an den Enden der Stütze und am Stoß angebracht, wie in Bild A.17 dargestellt.



Legende

ℓ	Abstand zwischen Gelenken
a	Abstand zwischen Messvorrichtungen
F_1	Längslast
F_2	Querlast
C_1 bis C_5	Weggeber

Bild A.17 — Prüfaufbau

A.2.11.3 Durchführung

Es müssen Prüfungen mit einer Reihe verschiedener Längslasten F_1 durchgeführt werden, F_1 etwa = $0,25 F_{sd}$, $0,5 F_{sd}$, $0,75 F_{sd}$ und $1,0 F_{sd}$, wobei F_{sd} die voraussichtlich maximale Bemessungslast der Stütze ist. Es muss mindestens ein Versuch mit jedem Wert der Längslast durchgeführt werden.

Die Last F_1 wird zuerst mit einer gewählten Größe aufgebracht und konstant gehalten, während die horizontale Last F_2 aufgebracht wird. F_2 wird dann stufenweise erhöht bis ein Versagen des Stoßes eintritt und keine Laststeigerung mehr möglich ist. Die Verformungen sind an den Punkten C_1 bis C_5 zu messen.

Für das am Knoten eingeleitete Moment M wird eine graphische Auftragung in Abhängigkeit von der Verdrehung θ erstellt, für das gilt:

$$M = F_2 \frac{\ell}{4} + F_1 \left(\delta_3 - \left(\frac{\delta_1 + \delta_5}{2} \right) \right) \quad (\text{A.20})$$

und

$$\theta = \frac{2}{a} (\delta_3 - \frac{\delta_2 + \delta_4}{2}) \quad (\text{A.21})$$

A.2.11.4 Korrektur der Beobachtungen

Für die Ergebnisse dieser Prüfung müssen keine Korrekturen durchgeführt werden.

ANMERKUNG Die Folgen etwaiger signifikanter Schwankungen der mechanischen und geometrischen Eigenschaften der Prüfanordnung von den Nennwerten sollten vom Prüfenieur bedacht werden.

A.2.11.5 Ableitung der Ergebnisse

Die charakteristischen Werte für die Steifigkeit und die Festigkeit der Stoßlaschen sind für jeden Wert der Normalkraft F_1 in der für Bodenabschlüsse unter A.2.7.5 beschriebenen Weise zu ermitteln.

Wenn die Abweichung vom Mittelwert in der Steifigkeit oder dem Bemessungs-Grenzmoment unter Längskraft in der Serie von Längskräften (F_1) hoch bis zur Bemessungslast der Stütze nicht größer als $\pm 10\%$ liegt, darf der Mittelwert angenommen und in der Berechnung und Auslegung der Konstruktion benutzt werden. Liegt eine größere Abweichung im Versagemoment und der Steifigkeit der Stoßverbindung vor, sind geeignete Werte entsprechend der Bemessungslängslast zu verwenden.

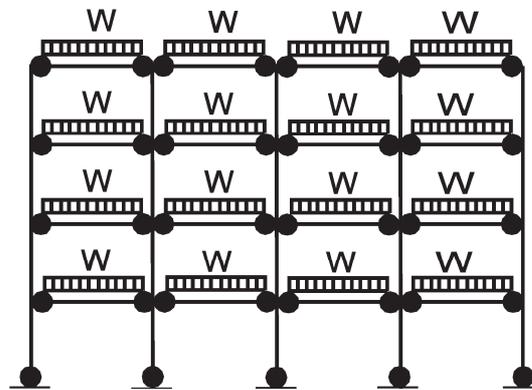
Anhang B (informativ)

Stabilitätsanalyse in Ganglängsrichtung durch die Methode der verstärkten Verschiebung

B.1 Allgemeines

Die Methode der verstärkten Verschiebung liefert einen guten Näherungswert für die kritische elastische Last V_{cr} eines ebenen Rahmens. Sie ermöglicht dann die Schätzung der von Effekten II. Ordnung verursachten Erhöhungen der Biegemomente und Durchbiegungen.

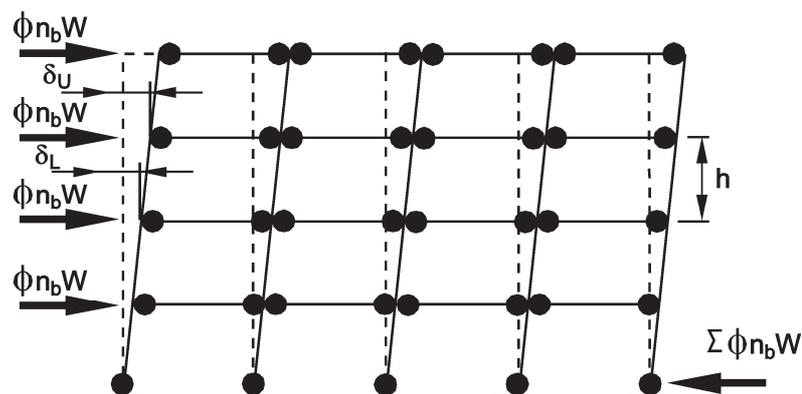
Die Grundlagen werden in Bezug auf Bild B.1 beschrieben.



a) Tatsächlicher Rahmen und Belastung

Legende

- halbstarre Verbindung



b) Imperfektion-Horizontallasten und Folgeverschiebungen

Bild B.1 — Grundlage der Methode der verstärkten Verschiebung

B.2 Lineare elastische Berechnung

Zur Ermittlung der von den von Imperfektionen-Horizontallasten verursachten internen Kräfte und Durchbiegungen sollte eine lineare elastische Berechnung des kompletten Rahmens durchgeführt werden, wie in Bild B.1 aufgeführt. Diese Lasten sind in 5.3.2 und Bild 7 definiert.

Die Gelenkigkeit des Träger/Stützen-Anschlusses darf berücksichtigt werden.

Die Steifigkeit des Stützen/Boden-Anschlusses darf ebenfalls berücksichtigt werden (siehe A 2.7).

B.3 Kritischer elastischer Wert

Der kritische elastische Wert der vertikalen Last im Verschiebungsmodus V_{cr} kann dann wie folgt ermittelt werden.

$$\frac{V_{cr}}{V_{sd}} = \frac{\phi}{\phi_{max}} \quad (B.1)$$

Dabei ist

- V_{sd} der Bemessungswert der vertikalen Last auf dem Rahmen;
- ϕ_{max} der größte Wert der Verschiebungsrichtzahl ϕ_s irgendeiner Etage;
- $\phi_s = (\delta_U - \delta_L)/h$;
- h die Etagenhöhe;
- δ_U die horizontale Durchbiegung am oberen Träger eines Faches;
- δ_L die horizontale Durchbiegung am unteren Träger eines Faches.

B.4 Verstärkungsfaktor

Im gewünschten Grenzzustand werden die Bemessungswerte der internen Kräfte und Durchbiegungen in jedem Verschiebungsmodus durch den Faktor β verstärkt, wobei

$$\beta = \frac{V_{cr}}{V_{cr} - V_{sd}} \quad (B.2)$$

Anhang C (informativ)

Näherungsgleichungen zur Bemessung eines gleichmäßigen Lagerregals in Ganglängsrichtung

C.1 Näherungsgleichungen für gleichmäßige Konstruktion

Folgende Gleichungen sind anwendbar für die Berechnung von jedem Regal mit (von) einigermaßen gleichmäßiger Konstruktion, hierbei sind keine bedeutenden Annahmen zu berücksichtigen.

N_s	=	5		Anzahl Etagen
N_b	=	5		Anzahl Felder
I_c	=	700 000	mm ⁴	I der Felder
K_c	=	90 000	kNmm/radian	Steifigkeit des Fußes
W_c	=	0	kN	Zusatzlast auf Regal falls vorhanden
I_b	=	550 000	mm ⁴	I des Trägers
K_b	=	70 000	kNmm/radian	Steifigkeit des Anschlusses am Trägerende
W_b	=	6	kN	Bemessungslast je Träger
h_1	=	1 500	mm	Höhe der ersten Trägerebene über Boden
h	=	1 500	mm	Höhe der 2. Trägerebene über 1. Trägerebene (als typisch erachtet)
L	=	2 700	mm	Spannweite des Trägers
α	=	0,01		Verhältnis: fiktive horizontale Last/vertikale Last
λ	=	1,0		zu untersuchender Lastfaktor im 2. Teil der Berechnung
E	=	210	kN/mm ²	Elastizitätsmodul
$S_{ig}W$	=	$N_b (N_s W_b + W_c)$		Gesamtlast auf Regal (C.1)
S_2	=	$S_{ig}W - N_b W_b$		Last oberhalb der ersten Etage (C.2)

Moment der vertikalen Lasten um den Fuß, horizontal angelegt

$$S_{ig}W_h = \frac{N_s(N_s - 1)}{2} N_b W_b h + N_s N_b W_b h_1 + (N_s h + h_1 - h) N_b W_c \quad (C.3)$$

$$I_{cc} = (N_b + 1)I_c \quad \text{Gesamt Stützen } I, \quad (C.4)$$

$$K_{cc} = (N_b + 1)K_c \quad \text{Gesamt Fußgelenkigkeit} \quad (C.5)$$

$$F = \frac{12 N_b E I_b K_b}{6 E I_b L + K_b L} \quad (C.6)$$

$$C = F + \frac{E I_{cc} K_{cc}}{E I_{cc} + K_{cc} h_1} + \frac{E I_{cc}}{h} \quad (C.7)$$

$$A = \frac{S_{ig}W h_1}{2 C} \frac{K_{cc} h_1 + 2 E I_{cc}}{K_{cc} h_1 + E I_{cc}} + \frac{S_2 h}{2 C} \quad (C.8)$$

$$B = \frac{E I_{cc}}{h C} \quad (C.9)$$

$$D = (N_s - 1 + B) F + \frac{E I_{cc} K_{cc} B}{E I_{cc} + K_{cc} h_1} \quad (C.10)$$

$$G = \frac{S_{ig}W h_1}{2} \left[\frac{K_{cc} h_1}{K_{cc} h_1 + E I_{cc}} \right] + \frac{E I_{cc} K_{cc} A}{K_{cc} h_1 + E I_{cc}} - S_{ig}W h + F A \quad (C.11)$$

$$\theta_1 = A - \frac{B G}{D} \quad (C.12)$$

Kritischer elastischer Lastfaktor V_c

$$V_{cr0} = \frac{K_{cc} h_1 + E I_{cc}}{\left[\frac{K_{cc} h_1}{2} + E I_{cc} \right] \theta_1 + \frac{S_{ig}W h_1^2}{12 E I_{cc}} (K_{cc} h_1 + 4 E I_{cc})} \quad (C.13)$$

$$V_{cr2} = -\frac{D}{G} \quad \theta_2 = \frac{S_2 h^2}{12 E I_{cc}} + 0,5 \left[\frac{1}{V_{cr2}} + \theta_1 \right] \quad (C.14)$$

$$V_{cr1} = \frac{1}{\theta_2} \quad V_c = \text{Min}(V_{cr}) \quad (C.15)$$

Die kritische elastische Last des Regals ist die kleinste aus den oben ermittelten Werten, es sei denn, der erste Träger ist in Bodennähe angeordnet. In diesem Fall wird ein Berichtigungsfaktor wie folgt angewandt.

$$0,8 + 0,2 \frac{h_1}{h} \quad (C.16)$$

$$\text{Min}(V_{cr}) = 3,576$$

$$V_c = \text{wenn} \left[h_1 \leq h \left[0,8 + 0,2 \frac{h_1}{h} \right] V_c, V_c \right] \quad V_c = 3,576 \quad (C.17)$$

Diese Methode gilt nur, wenn $V_c \geq 3,333 \lambda$.

$$\text{Vergrößerungsfaktor für Effekte II. Ordnung } \beta = \alpha \frac{\lambda V_c}{V_c - 1} \quad (\text{C.18})$$

Etagenverschiebungen: Anforderung an jede Ebene: $\phi \leq 0,02$ im Grenzzustand

$$\text{unterste Etage } \phi_1 = \frac{\beta}{V_{cr0}} \quad \phi_1 = 0,003 \ 9 \quad (\text{C.19})$$

$$\text{zweite Etage } \phi_2 = \frac{\beta}{V_{cr1}} \quad \phi_1 = 0,003 \ 4 \quad (\text{C.20})$$

$$\text{obere Etage } \phi_u = \frac{\beta}{V_{cr2}} \quad \phi_1 = 0,002 \ 6 \quad (\text{C.21})$$

ANMERKUNG Der Berichtigungsfaktor für die kritische elastische Last, nämlich $0,8 + 0,2 h_1/h$ bewirkt keine Korrektur, wenn der Abstand zwischen dem Boden und dem unteren Träger dem Trägerabstand an anderen Stellen des Regals ähnlich ist. Wenn der untere Träger in Bodennähe angeordnet ist, wird die durch die Formel angegebene kritische Last um 20 % verringert. Zwischen diesen beiden extremen Fällen besteht ein linearer Übergang. Wenn $h_1 \geq h$ ist, dann ist der Korrekturfaktor zur elastischen kritischen Last r nicht erforderlich. Dieses Verfahren ist konservativ in Bezug auf die vorhandenen Eichwerte.

C.2 Zusätzliche Biegemomente aufgrund von Schachbrettbelastung

Einspannmoment im Träger/Stützen-Anschluss aufgrund der Palettenlast (kNm)

$$M_p = \frac{\lambda W_b L}{12} \left[\frac{K_b L}{2EI_b + K_b L} \right] \quad (\text{C.22})$$

$$K_{b1} = \frac{4EI_b K_b (K_b L + 3EI_b)}{(K_b L + 2EI_b)(K_b L + 6EI_b)} \quad \text{Trägersteifigkeit (allgemeiner Fall)} \quad (\text{C.23})$$

$$K_{b2} = \frac{2EI_b K_b}{(K_b L + 2EI_b)} \quad \text{Trägersteifigkeit (symmetrischer Fall)} \quad (\text{C.24})$$

$$K_{c1} = \frac{4EI_c}{h_1} \frac{K_c h_1 + 3EI_c}{K_c h_1 + 4EI_c} \quad \text{Steifigkeit des unteren Stützenstücks} \quad (\text{C.25})$$

$$K_{c2} = \frac{4EI_c}{h} \quad \text{Steifigkeit des oberen Stützenstücks} \quad (\text{C.26})$$

$$S_k = K_{b1} + K_{b2} + K_{c1} + K_{c2} \quad \text{Gesamtsteifigkeit am Anschluss} \quad (\text{C.27})$$

C.3 Bemessungsbiegemomente

Moment im Träger/Stützen-Anschluss aufgrund von Seitenverschiebung und Schachbrettlasten (kNm)

$$M_C = \frac{6EI_b K_b \beta \theta_1}{6EI_b + K_b L} + M_p \left[1 - \frac{K_{b1}}{S_k} \right] \quad (\text{C.28})$$

$$\text{Längskraft in Säule } P = \frac{S_{ig} W}{N_b} \quad (\text{kN}) \quad (\text{C.29})$$

Moment in Stützen unterhalb der ersten Trägerebene aufgrund von Seitenverschiebung (kNmm)

$$M = \frac{-(\beta S_{ig} W h_1)}{2(N_b)} \left[\frac{K_C h_1 + 2EI_c}{K_C h_1 + EI_c} \right] + \frac{EI_c K_C \beta \theta_1}{K_C h_1 + EI_c} \frac{N_b + 1}{N_b} \quad (C.30)$$

Moment unterhalb der ersten Trägerebene aufgrund von vertikalen Schachbrettlasten (kNmm)

$$M_{c_1} = M_p \frac{K_{c_1}}{S_K} \quad (C.31)$$

Gesamtmoment unterhalb der ersten Trägerebene $M - M_{c_1} = -512,118$

Moment am Fuß aufgrund von Seitenverschiebung (kNmm je Stütze)

$$M_H = \frac{-(\beta S_{ig} W h_1)}{2(N_b + 1)} \left[\frac{K_C h_1}{K_C h_1 + EI_c} \right] - \frac{EI_c K_C \beta \theta_1}{K_C h_1 + EI_c} \quad (C.32)$$

Moment am Fuß aufgrund von Schachbrettbelastung (kNmm je Stütze)

$$M_{c_{11}} = M_{c_1} \frac{K_C h_1}{2(K_C h_1 + 3EI_c)} \quad (C.33)$$

Gesamtmoment am Fuß $M_H - M_{c_{11}} = -322,228$

Momente in zweiter Etage der Stütze $\theta_2 = \phi_u$ (vergrößert)

Momente oberhalb der ersten Trägerebene aufgrund von Seitenverschiebung (kNmm)

$$M_{b_c} = \frac{-(\beta S_2 h)}{2(N_b)} + \left[\frac{EI_c \beta \theta_1}{h} - \frac{EI_c \theta_2}{h} \right] \frac{N_b + 1}{N_b} \quad (C.34)$$

Moment oberhalb der ersten Trägerebene aufgrund von vertikaler Schachbrettbelastung (kNmm)

$$M_{c_2} = M_p \frac{K_{c_2}}{S_K} \quad (C.35)$$

Gesamtmoment oberhalb der ersten Trägerebene $M_{b_c} - M_{c_2} = -427,114$

Moment unterhalb der zweiten Trägerebene aufgrund von Seitenverschiebung (kNmm)

$$M_{c_b} = \frac{-(\beta S_2 h)}{2(N_b)} - \left[\frac{EI_c \beta \theta_1}{h} - \frac{EI_c \theta_2}{h} \right] \frac{N_b + 1}{N_b} \quad (C.36)$$

Moment unterhalb der zweiten Trägerebene aufgrund von Schachbrettbelastung (kNmm)

$$M_{c_{22}} = 0,5 M_{c_2}$$

Gesamtmoment unterhalb der zweiten Trägerebene $M_{b_c} - M_{c_{22}} = -525,076$

C.4 Bemessungslast in den Außenstützen

Da eine Schachbrettbelastung bei der Auslegung der inneren Stütze berücksichtigt wurde, braucht eine gesonderte Berücksichtigung der Außensäulen nicht durchgeführt zu werden.

Anhang D (informativ)

Hintergrundinformationen über die Annahme von Materialien mit niedrigem Verhältnis f_u/f_y (kaltgewalzter Stahl)

Beim Kaltverfestigungsverfahren wird Standard-Stahlband kaltgewalzt, um eine erhöhte Festigkeit zu erreichen. Die charakteristischen Werte für f_y und f_u werden dann ermittelt und mittels eines Qualitätskontrollsystems kontrolliert, um gleichbleibende Zugfestigkeits- und physische Eigenschaften sicherzustellen. Dieser bestimmte Stahl kann mit sehr engen Toleranzen produziert werden (weniger als die Hälfte der Toleranzen wie für warmgewalzten Stahl), zudem gibt es den Vorteil der verbesserten Festigkeit. Solche Materialien sind in der Herstellung von Palettenregalen seit über 40 Jahren eingesetzt worden.

Der Ausgangspunkt der Anforderungen in EN 1993-1-3:2006, 3.1.1 (das Verhältnis $f_u/f_y \geq 1,10$ für nicht normgerechte Stähle) ist ungewiss und wahrscheinlich historischer Natur (es ist in den letzten Jahren von 1,20 vermindert worden). Stähle in EN 1993-1-3:2006, Tabelle 3.1 haben niedrigere Werte von 1,09). In der amerikanischen (AISI) Norm beträgt der entsprechende Wert 1,08 zusammen mit einer Dehnungsanforderung. Bestimmte europäische Regal-Hersteller haben jahrelange Erfahrung mit dem Einsatz von kaltverfestigtem Stahl mit $f_u/f_y < 1,10$ und aus diesem Grund wird ein weniger strenger Grenzwert hier festgelegt. Dies wird durch drei Punkte gerechtfertigt:

- a) Aufgrund oben aufgeführter Fakten ist es schwierig, das Argument für die Beibehaltung der 1,10-Anforderung aufrechtzuerhalten.
- b) Probleme aufgrund von niedriger Dehnbarkeit kommen äußerst selten vor, und wenn sie entstehen, dann entweder beim Kaltwalzen oder beim Funktionieren der Trägeranschlusslaschen. In diesem Dokument werden etwaige potentielle Probleme beim Kaltwalzen durch den Kaltversuch ausgeschlossen. In einem Palettenregalsystem stellt der Träger/Stützen-Anschluss bei weitem den wichtigsten Anschluss dar. Prüfung dieses Anschlusses ist in dieser Norm verbindlich.
- c) Ein umfangreiches Forschungsprogramm wurde von den Herstellern unterstützt, die kaltreduzierten Stahl verwenden, um zu beweisen, dass die Leistung ihrer Produkte keineswegs geringwertiger ist, als bei Produkten aus Standardstahl.

Bei Einsatz solcher harten Materialien wenn $t > 3$ mm oder unter kalten Bedingungen sollte jedoch auf Sorgfalt geachtet werden. Dickere Materialien werden gewöhnlich den Kaltversuch wie in A.1.2 beschrieben nicht bestehen.

ANMERKUNG Siehe Literaturhinweise, Referat J M Davies und J S Cowen, 12. International Speciality Conference.

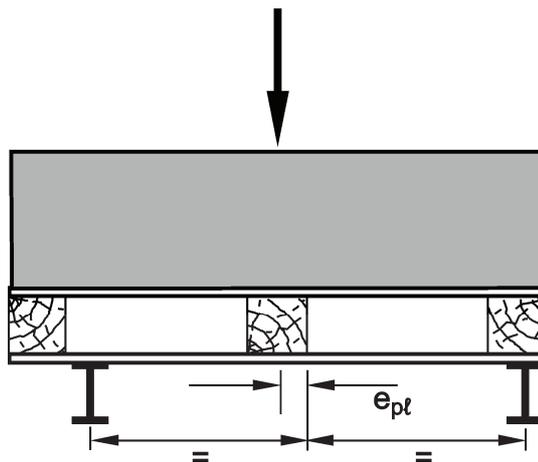
Anhang E (informativ)

Positions-Ungenauigkeiten

In Fällen, bei denen die Auslegung signifikante Versetzung in Gangquerrichtung zulässt, und der Konstrukteur einige Vorkenntnisse der Betriebseinrichtungen und -verfahren besitzt, welche ermöglichen, diese in der Bemessungsphase zu berücksichtigen, dürfen Ungenauigkeiten in der Positionierung von Lasten in Erwägung gezogen werden (siehe Bild D.1). Wenn die Auswirkung (Belastung, Verformung usw.) von Belastungsimperfectionen am Toleranzgrenzwert weniger als 12 % der Auswirkung des Trägers bei normaler Belastung beträgt, darf sie vernachlässigt werden.

Wenn die Auslegung und der Betrieb des Systems ein systematisches exzentrisches Ausrichten begünstigt, sollte dieses in der Gesamtsystemanalyse berücksichtigt werden. Dort, wo Fördermittel mit fester Hublänge eingesetzt sind, sollte der Lieferant des Fördermittels die Beschickungstoleranzen angeben. Diese sollten in der Auslegung zusammen mit den Regalbautoleranzen in Gangquerrichtung berücksichtigt werden. Dies darf normalerweise ignoriert werden.

In einem herkömmlichen System mit Unterstützung der Palette durch zwei Träger ist es bei der Beschickung der Paletten wünschenswert, dass die Klötze der Palette niemals über die Kante des vorderen Trägers hinausragen (siehe Bild E.1).



Legende

e_{pl} Bemessungsbeschickungstoleranz

Bild E.1 — Lastexzentrizität

Anhang F (informativ)

Äquivalente Trägerlasten

Bei Situationen, wo die Annahme einer gleichmäßig verteilten Last eines Trägers nicht zutrifft, sollten folgende Beiwerte in Tabelle F.1 zur Umwandlung der tatsächlichen Lastverteilung in einer äquivalenten gleichmäßig verteilten Last eingesetzt werden.

Tabelle F.1 — Trägerlastbeiwerte

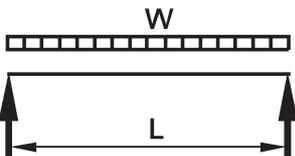
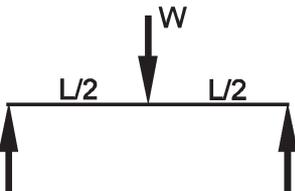
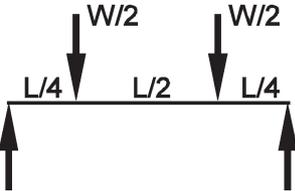
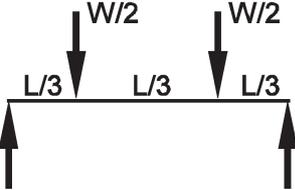
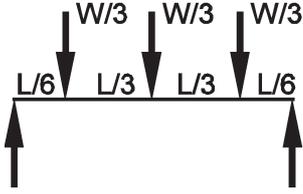
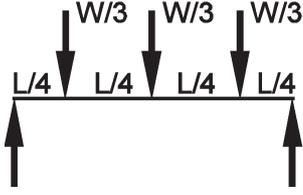
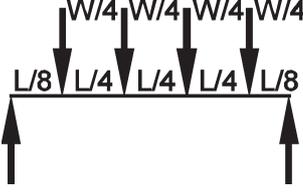
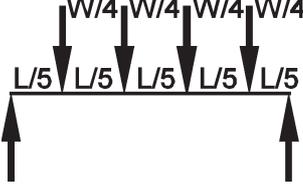
Belastungsmuster	β_M	β_θ	β_Δ
	1,0	1,0	1,0
	2,0	1,5	1,6
	1,0	1,12	1,1
	1,33	1,33	1,36

Tabelle F.1 (fortgesetzt)

Belastungsmuster	β_M	β_θ	β_Δ
	1,11	1,06	1,05
	1,33	1,25	1,27
	1,0	1,03	1,02
	1,2	1,2	1,21

Dabei ist

- W die Gesamtlast auf Träger;
- L die Trägerspannbreite (für den Zweck dieser Berechnung darf diese als der Abstand zwischen den Seitenflächen der Stützen angenommen werden).

Anhang G (informativ)

Vereinfachte Berechnungsmethode für Stabilität in Gangquerrichtung, unter der Bedingung, dass die Fachlasten gleichmäßig über die Höhe des Ständerrahmens verteilt sind

G.1 Allgemeines

Zunächst wird die kritische elastische Last für Verschiebungsinstabilität V_{cr} geschätzt. Anschließend wird die Methode der verstärkten Verschiebung angewandt, um die internen Kräfte und Verschiebungen zu erhöhen und damit die Effekte II. Ordnung zu berücksichtigen.

G.2 Allgemeines Knicken der Rahmen

Die kritische elastische Last eines Ständerrahmens wird aus folgenden Gleichungen ermittelt:

$$V_{cr} = \frac{1}{\frac{1}{V_{cr}^*} + \frac{1}{S_D}} \quad (G.1)$$

$$V_{cr}^* = \frac{\pi^2 EA_u D^2}{2H_b^2} \quad (G.2)$$

Dabei ist

V_{cr} die vertikale Gesamlast auf Rahmen, die ein elastisches seitliches Ausknicken verursacht;

V_{cr}^* die kritische Last, unter Vernachlässigung des Aussteifungssystems;

A_u die Querschnittsfläche einer Stütze;

$$H_b = 2H \sqrt{\frac{1 + 2,18 \frac{W_0}{W_1}}{3,18}} \quad \text{für den nicht abgestützten Rahmen in Bild G.1 a);} \quad (G.3)$$

$$H_b = H \sqrt{\frac{1 + 1,65 \frac{W_0}{W_1}}{5,42}} \quad \text{für den abgestützten Rahmen in Bild G.1 b);} \quad (G.4)$$

H_b die Knicklänge des Rahmens;

W_0 die angelegte Last am obersten Punkt des Rahmens (siehe Bild G.1 c));

W_1 die Gesamlast auf Regal (siehe Bild G.1 c));

S_D die Schersteifigkeit des Rahmens je Längeneinheit.

ANMERKUNG Wenn gleiche Trägerlasten an allen Ebenen des Rahmens angelegt werden, so ist $W_1/W_0 = n_s =$ Anzahl Trägerebenen in Ganglängsrichtung.

G.3 Schersteifigkeit des Ständerrahmens

Für einen Rahmen, dessen Anschlussgelenkigkeit als unwesentlich nachgewiesen bzw. in den angegebenen Ausdrücken berücksichtigt werden kann (z. B. durch Anwendung einer geringeren Querschnittsfläche für die Aussteifungselemente), wird die Schersteifigkeit je Längeneinheit S_D durch folgende Gleichung ermittelt:

$$\frac{1}{S_D} = \frac{1}{S_{dh}} + \frac{1}{S_{dd}} + \frac{1}{S_{db}} \quad (G.5)$$

wobei Ausdrücke für S_{dh} , S_{dd} und S_{db} für verschiedene Aussteifungssysteme in Bild G.2 dargelegt sind.

Wenn eine zuverlässige Berechnung der Schersteifigkeit nicht durchführbar ist, sollte sie durch Prüfung nach A.2.8 ermittelt werden.

G.4 Multiplikationsfaktor β

Wenn $V_{Sd}/V_{cr} < 0,1$, dürfen die allgemeinen Effekte II. Ordnung vernachlässigt werden.

Für den gewünschten Grenzzustand werden die anhand der Theorie I. Ordnung berechneten internen Kräfte und Durchbiegungen aufgrund von Effekten II. Ordnung durch Multiplikationsfaktor β vergrößert, wobei

$$\beta = \frac{V_{cr}}{V_{cr} - V_{Sd}} \quad (G.6)$$

Dabei ist

V_{Sd} der Bemessungswert der vertikalen Last auf dem Rahmen.

ANMERKUNG Die in Bild G.1 b) dargestellte Anordnung sollte mit Vorsicht benutzt werden. Das Verbinden der Rahmen an der obersten Stelle bildet keine ausreichende Abstützung, denn alle Rahmen können gleichzeitig seitlich ausknicken. Eine Abstützung kann nur dann benutzt werden, wenn eine unabhängige Konstruktion von ausreichender Steifigkeit vorhanden ist.

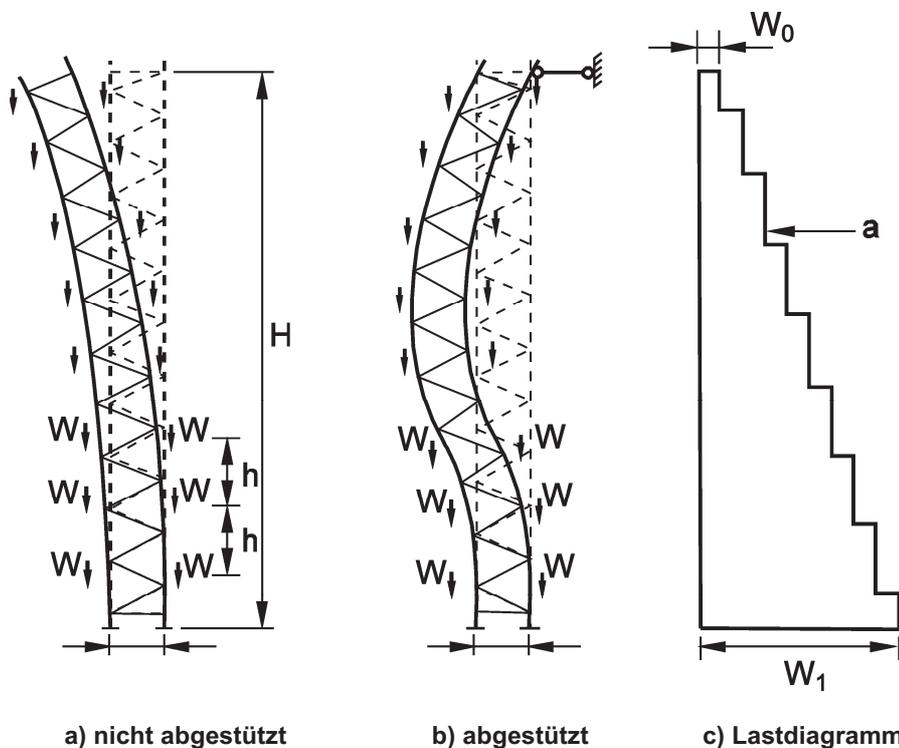


Bild G.1 — Annahme für vereinfachte Stabilitätsanalyse in Gangquerrichtung

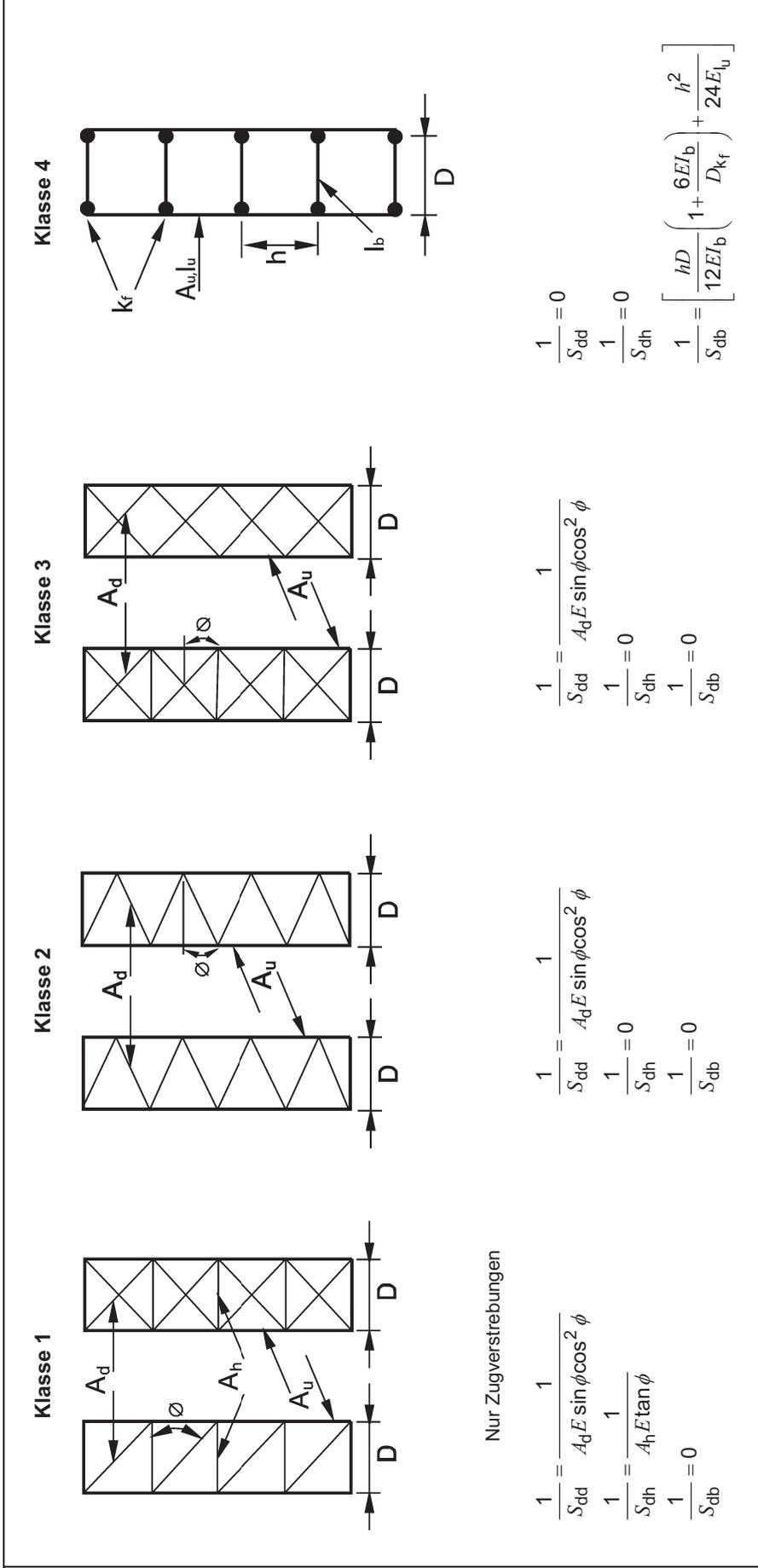


Bild G.2 — Schersteifigkeit für Ständerrahmen

Anhang H (informativ)

Werkseigene Produktionskontrolle

H.1 Allgemeines

Dieser Anhang ist ein Leitfaden für geeignete werkseigene Produktionskontrollsysteme, um die Anforderungen dieses Dokuments zu erfüllen.

H.2 Prüfhäufigkeit

Die Prüfhäufigkeit sollte sicherstellen, dass die produzierten Bauteile aus den angegebenen Materialien innerhalb der Toleranzwerte hergestellt sind, und dass sie nach Spezifikation funktionieren.

H.3 Biegeversuche an Trägeranschlüssen

Mindestens ein Paar Trägeranschlusslaschen (Zufallsproben) sollten jeden Monat in einer Weise geprüft werden, dass über eine Zeitspanne hinweg eine statistische Qualitätskontrolle für jede Trägeranschlusslasche der Produktreihe erreicht wird. Die für diese Prüfungen eingesetzte Kombination von Träger und Stützen sollte vom Hersteller gewählt werden.

Um die charakteristischen Werte zu erhalten, sollten die Ergebnisse dieser Prüfungen gesammelt und statistisch verarbeitet werden. Nachdem mindestens 20 solcher Prüfergebnisse über einen langen Zeitraum gesammelt wurden, dürfen die ältesten Ergebnisse über die 20 Stück hinaus, die älter als 12 Monate sind, verworfen werden.

Einzelne Ergebnisse für das aufnehmbare Moment der Trägeranschlusslasche sollten angenommen werden, vorausgesetzt, sie überschreiten den für die Bemessung übernommenen charakteristischen Wert.

Einzelergebnisse für die Steifigkeit des Trägeranschlusses sollten folgendem Ausdruck genügen:

$$K_d + 2s \geq k_{ij} \geq k_d - 2s \quad (\text{H.1})$$

Dabei ist

k_{ij} der Beobachtungswert der Steifigkeit;

k_d der Bemessungswert der Steifigkeit;

s die Standardabweichung der kumulierten Ergebnisse.

Wenn eine dieser Bedingungen von einem individuellen Ergebnis nicht erfüllt wird, sollte eine Reihe von Bemessungsprüfungen an mindestens drei Trägeranschlusslaschen aus der gleichen Produktionscharge durchgeführt werden. Die charakteristischen Werte für Widerstand und Steifigkeit sollten nach diesem Abschnitt daraus abgeleitet werden.

Wenn die damit erzielten charakteristischen Werte die Anforderungen erfüllen, darf die Charge angenommen werden. Ist dies nicht der Fall, so sollte entweder die Charge verworfen oder die Leistungsdaten des Produktes gesenkt werden.

H.4 Fallversuche

Wenn die Grundeigenschaften eines Stahls durch Zugversuche nach 8.1 ermittelt werden, sollte ein einzelner Fallversuch nach A.1.2 als Teil der werkseigenen Produktionskontrolle zusätzlich durchgeführt werden.

Anhang I (informativ)

A-Abweichungen

Nationale Abweichungen, die auf Vorschriften beruhen, deren Veränderung zum gegenwärtigen Zeitpunkt außerhalb der Kompetenz des nationalen CEN/CENELEC-Mitglieds liegen.

Diese Europäische Norm fällt unter keine EG-Richtlinie. In den entsprechenden CEN/CENELEC-Ländern gelten diese A-Abweichungen anstelle der Festlegungen der Europäischen Norm so lange, bis sie zurückgezogen sind.

I.1 Niederländische Abweichungen aufgrund nationaler Gesetzgebung

In den Niederlanden werden Regale und folglich verstellbare Palettenregale nicht nur als Betriebseinrichtungen, sondern nach Bauverordnung 2003 auch als „Bauausführungen, die keine Gebäude sind“ betrachtet {Bouwbesluit 2003 Besluit van 7 augustus 2001, houdende vaststelling van voorschriften met betrekking tot het bouwen van bouwwerken uit het oogpunt van veiligheid, zoals deze luidt na verwerking van de Besluiten van 17 april 2002, Stb 2002, 203, gepubliceerd 7 mei 2002; van 16 oktober 2002, Stb 2002, 516, gepubliceerd 24 oktober 2002; van 22 oktober 2002, Stb 2002, 518, gepubliceerd 29 oktober 2002; van 17 december 2004, Stb 2005, 368, gepubliceerd 26 juli 2005; 13 augustus 2005, Stb 2005, 417, gepubliceerd 25 augustus 2005, Stb. 2005, 528, gepubliceerd 27 oktober 2005, Stb. 2006, 148, gepubliceerd 21 maart 2006, Stb. 2006, 257, gepubliceerd 6 juni 2006 en Stb. 2006, 586, 30 november 2006)}. Die Konstruktionssicherheit von verstellbaren Palettenregalen bezogen auf deren spezieller Anwendung muss deshalb mit NEN 6700 (entsprechend EN 1990), NEN 6770 (entsprechend EN 1993-1-1) und NEN 6773 (entsprechend EN 1993-1-3) übereinstimmen. Dies bedeutet, dass zur Einhaltung der Bauverordnung 2003 EN 15512 zusammen mit NEN 5056 betrachtet werden muss.

I.2 Deutsche Abweichungen aufgrund nationaler Gesetzgebung

Folgende nationale Abweichungen wurden vom nationalen Arbeitsausschuss auf seiner Sitzung am 24.05.2006 beschlossen (die Abweichungen sind unterstrichen):

Tabelle I.1 — Belastungsfaktoren γ_f

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

Tabelle I.2 — Material sicherheitsfaktoren γ_M

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

Literaturhinweise

- [1] J M Davies und J S Cowen „Palettenregale aus Kaltband“ 12. International Speciality Conference über Baukonstruktion aus Kaltband, St. Louis, USA 18.–19. Oktober 1994, 641–655
- [2] prFEM 10.2.08, „Anforderungen an statische Palettenregale aus Stahl in Erdbebengebieten“, Ausgabe: 20.12.2005