

14. 10. 1996

FÉDÉRATION EUROPÉENNE DE LA MANUTENTION

SEKTION X

EQUIPEMENT ET PROCÉDES DE STOCKAGE

FEM 10.3.01

PALETTENREGALE MIT VERSTELLBAREN BALKEN (APR)

-TOLERANZEN-

-VERFORMUNGEN-

&

-FREIRÄUME-

ENDGÜLTIGE FASSUNG

Copyright FEM Sektion X 1996

FEM 10.3.1

PALETTENREGALE MIT VERSTELLBAREN BALKEN (APR)  
TOLERANZEN, VERFORMUNGEN UND FREIRÄUME

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
1. Anwendungsbereich	5
2. Ziel	7
3. Begriffsbestimmungen	8
4. Wechselseitige Abhängigkeit des Regals und des Staplers von örtlichen Bodenunebenheiten	14
5. Bodenebenheit für Gabelstapler	14
5.1 Unterlegplatten	
5.2 Fußplatten mit Vergußmasse ausgießen	
5.3 Fußbodenklassen	
6. Regalklassen	19
7. Regale ohne vertikale (Rücken-) Verstrebung in der vollen Höhe und ohne horizontale Verstrebung.	20
8. Kombinationen von Balkenbelastungen zur Ermittlung von Freiräumen	22
8.1 Durchbiegungsbeschränkungen.	
8.2 Auswirkungen von krümmenden und durchhängenden Balkenverformungen auf Freiräume X3, X4 und Y1, Y2 und Y3 bei nichtfreitragenden Balken.	
8.3 Auswirkungen von krümmenden und durchhängenden Balkenverformungen auf Freiräume X3, X4 und Y1, Y2 und Y3 bei Auslegerbalken (Übergabeplätzen).	
9. Von regalgeführten Geräten ausgeübte horizontale Kräfte	27
9.1 Anzahl der RFZ-Kräfte	
10. Regale mit Wandverkleidung und Windlasten	28
10.1 Überlegungen in bezug auf die Wirkung von Windlasten.	
10.2 Funktionieren der RFZ	
10.3 Windeinwirkungen	
11. Montagetoleranz und lotrechte Stellung unter Belastung	30
12. Berechnung von Verformungen unter Last (APR)	31
13. Elastische Verkürzung der Rahmen in Y-Richtung	31
14. Rahmenverformungen in X- und Z-Richtungen	33
14.1 Rahmenklassen 100 und 200	
14.2 Regalklassen 300A & B und 400	

## Inhaltsverzeichnis

15.	Balkenverformung	35
15.1	Balken in Y-Richtung	
16.	Herstellungs- und Montagetoleranzen (APR)	35
17.	Stapler für den Einsatz in APR-Palettenregalen mit sehr schmalen Gängen	36
17.1	"Mann oben"- und "Mann unten"-Stapler	
17.2	Anforderungen in bezug auf die Z-Richtung	
17.3	Anforderungen in X-Richtung	
17.4	Anforderungen in Y-Richtung	
17.5	Übergabepplätze (siehe Abbildung 3.2)	
17.6	Höhenvorwahlvorrichtungen	
18	Freiräume für Ladeeinheiten und Regalförderzeugeinrichtungen in APR-Regalen der Klassen 100 und 200	39
18.1	Verweis auf FEM 9.831 (1994)	39
19	Freiräume für Ladeeinheiten und Staplereinrichtungen in APR-Regalen der Klassen 300A, 300B und 400	39
19.1	Freiräume in Zusammenhang mit der Positionierung von Paletten	
19.2	Horizontale und vertikale Freiräume in einem Feld	
19.3	Vertikale Freiräume	
19.4	Horizontale Freiräume in Tiefenrichtungen	
19.5	Maße der Gangbreiten	
20.	Obere Führungsschiene	49
20.1	Verformungen	
20.2	Schienenprofile - Fertigungs- und Montagetoleranzen	
21.	Vermessungen	51
21.1	Vertragsmäßige Anforderung	
21.2	Vereinbarte Bezugslinien und -ebenen	
21.3	Hauptbezugslinien und -ebenen	
21.4	Meßgeräte und -bedingungen	
21.5	Vermessungsberichte	
ANHANG A	WINDEINWIRKUNGEN AUF REGALE MIT DACH- UND WANDVERKLEIDUNG	53
ANHANG B	Toleranzen gemessen in horizontaler Richtung	56
	Toleranzen gemessen in vertikaler Richtung	58
	Toleranzenfeld von Rahmen in X-Richtung	59
ANHANG C	Maße und Toleranzen in Regaltiefe (Z-Richtung)	61
	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	64

## Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Technischen Ausschuß der Sektion 10 FEM erstellt und ist als Hilfestellung für Projekt Ingenieure, Einkäufer und andere Spezifikationsersteller von Palettenregalen mit verstellbaren Balken (APR) bei der Ausführung ihrer Arbeit gedacht.

Dieses Dokument weist auf die Arbeit von Sektion 9 FEM-Dokument 9.831 (1994) hin, in der Toleranzen, Verformungen und Freiräume für diejenigen Regale festgelegt sind, wo Regalförderzeuge für das Ein- und Auslagern von Ladeeinheiten eingesetzt werden. Dieses FEM-Dokument wurde von Sektion 9 und 10 gemeinsam beraten und stellt einen hohen Grad der Übereinstimmung zwischen den gemeinsam wirkenden Komitees dar.

Dieses Dokument ist von Spezifikationserstellern bei der Wahl des entsprechenden Niveaus der Toleranzen und Freiräume, die für ihr Projekt jeweils notwendig sind, bedacht zu benutzen. Ein hohes Toleranzniveau zu spezifizieren wäre z.B. unpassend und unnötig teuer für ein manuelles System. Diese Empfehlungen können auch bei der Bemessung der Innenmaße eines neuen Lagergebäudes verwendet werden, um insbesondere zu gewährleisten, daß die Gänge und Wege für die Stapler ausreichend für den sicheren Betrieb der Einrichtungen sind.

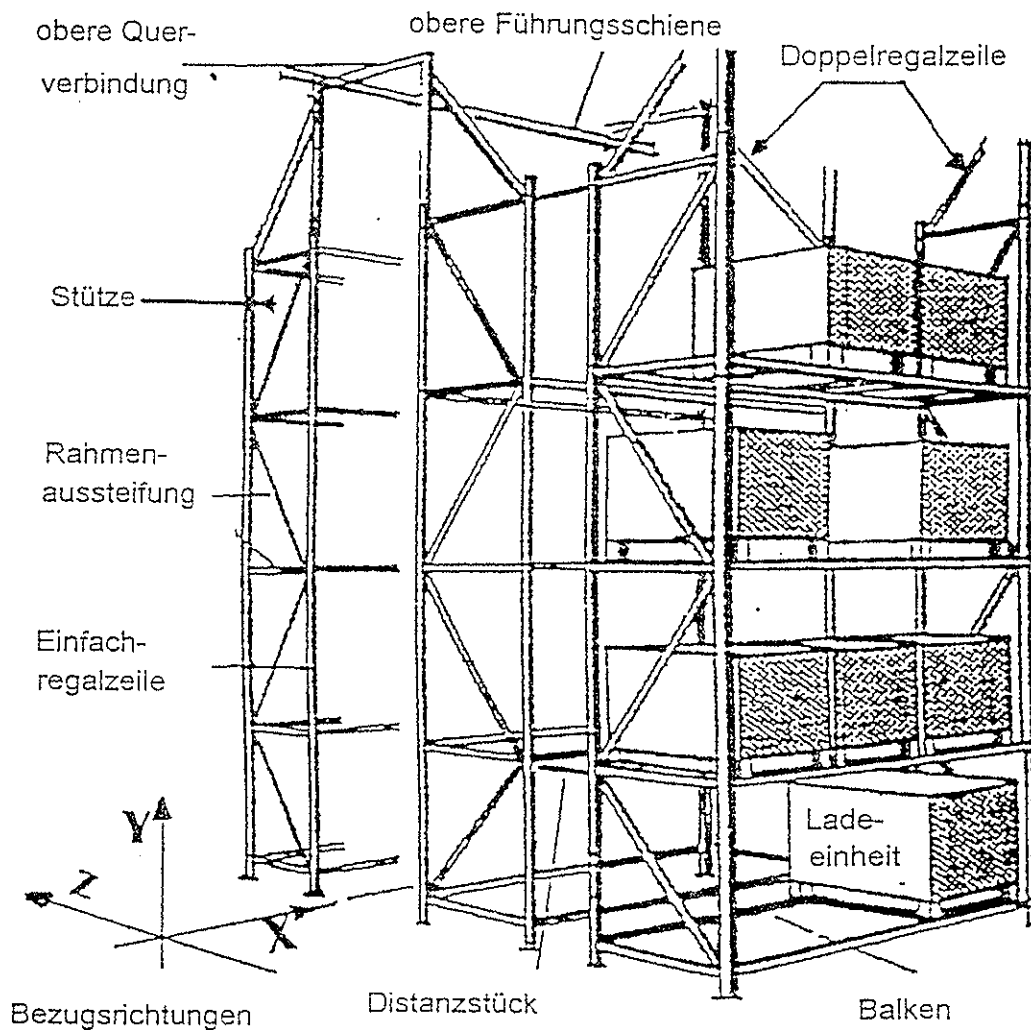
Sämtliche Spezifikationen für Lagerregalanlagen müßten idealerweise eine klare Beschreibung der vorgesehenen Verwendung der Regale enthalten, sowie des Typs und der Bedienung der für die Manipulation der Ladeeinheiten notwendigen Geräte.

Bei Regalsystemen, deren Auslegung von den gewöhnlicheren Palettenregalen mit verstellbaren Balken abweicht, wie z.B. Regale für 2 Paletten hintereinander oder Auslegeregale ohne Balken, sollten diese Empfehlungen überprüft und geändert werden, um die praktischen Betriebssicherheitsanforderungen des auszuliegenden Systems erfüllen zu können.

Im Prinzip darf aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen von den in diesem Dokument angegebenen Zahlen abgewichen werden, vorausgesetzt, daß die Funktion des gesamten Systems garantiert werden kann. In diesem Fall müßten aber klare Vereinbarungen getroffen werden, die aussagen, wie die Hauptziele dieses Dokumentes erreicht werden, d.h. "die Schnittstellen zwischen den Teilen des Lagersystems müssen festgelegt werden".

## 1. Anwendungsbereich

Die Anwendung dieser Empfehlungen wird auf Palettenregale mit verstellbaren Balken beschränkt. Die Empfehlungen bieten eine Hilfestellung über die Vorgehensweise bei einigen Problemen in bezug auf Arbeitsfreiräume und die Beschränkung von Fertigungs-, Montage- und Aufstellungstoleranzen sowie von Durchbiegungen oder elastischer Verformungen unter Belastung.



Palettenregale mit verstellbaren Balken (APR) ("eine Palette tief")

Abb. 1.1

Palettenregale für "eine Palette in der Tiefe," mit verstellbaren Balken, als APR im Englischen genannt, stellt die geläufigste Art von Palettenregal dar. Diese Regale werden normalerweise ohne obere Querverbindungen und obere Führungsschienen eingesetzt (siehe Abbildung 3.1, 3.3 und 3.4).

Das Regal besteht gewöhnlich aus zwei Hauptbauteilen: Rahmen und Balken.

Rahmen werden aus zwei gelochten Stützen und Aussteifungselementen zusammengesetzt. Die Verbindungen sind verschraubt, genietet oder geschweißt.

Rahmen werden durch Balkenpaare verbunden, um somit eine Zeile von Feldern zu bilden. In jedem Feld werden Balkenpaare in mehreren Ebenen übereinander angeordnet, um Plätze für Paletten oder Ladeeinheiten zu bieten. Je nach Länge und Tragfähigkeit, kann jedes Balkenpaar in jeder Ebene eine, zwei oder mehr Ladeeinheiten aufnehmen.

Die Verbindung zwischen den Balken und den Stützen wird normalerweise mittels einer Hakenlasche ausgeführt, indem diese in den Lochungen der Stütze eingehakt wird. Dies ermöglicht eine Verstellung der Balken in der vertikalen Richtung, um Ladeeinheiten verschiedener Höhen aufnehmen zu können. Bei manchen Marken von APR-Palettenregalen werden verschraubte Verbindungsflaschen anstelle von Hakenflaschen eingesetzt.

Die Tragfähigkeit und Steifigkeit von Balken wird durch Erhöhung der Höhe oder Tiefe des Querschnitts und/oder der Dicke oder durch die Qualität des Stahls erhöht. Die Tragfähigkeit von Stützenprofilen werden ebenfalls variiert.

Die Rahmen und ihre Verbindungen zur Bodenplatte schaffen die Tragfähigkeit, Steifigkeit und Standfestigkeit des Regals in Gangquerrichtung (Z-Richtung). Die gegenseitige Einwirkung der Rahmen und Balken mittels ihren Haken- (oder sonstigen) Verbindungen zusammen mit Fußplatten und Befestigungen an der Betonbodenplatte sorgen für die Tragfähigkeit, Steifigkeit und Standfestigkeit des Regals in Ganglängsrichtung (X-Richtung) bei "nichtausgesteiften" Regalen.

R-Anlagen werden normalerweise mit je einer Regalzeile mit der Tiefe von einer Palette auf jeder Seite des Arbeitsganges ausgelegt. Falls die Regale nur von einer Seite vom Stapler oder Regalförderzeug (RFZ) bedient werden können, wird der Begriff "single entry" (SE) (Einfachregalzeile) benutzt. Wenn die Regale von beiden Seiten bedient werden können, wird der Begriff "double entry" (DE) (Doppelregalzeilen) benutzt. Doppelregalzeilen befinden sich gewöhnlich zwischen parallel angeordneten Stapler- oder RFZ-Gängen.

Die Tragfähigkeit, Steifigkeit und Standfestigkeit Regalzeilen können durch Anbringung von vertikaler und horizontaler Verstrebung erhöht werden. Eine vertikale Verstrebung kann an der Rückseite einer Einfachregalzeile bzw. in der Mitte von Doppelregalzeilen angeordnet werden. Um eine Unterstützung der vorderen Stützen zu bewirken, wird nach Bedarf eine horizontale Verstrebung zwischen den vorderen und hinteren Balkenpaaren angebracht.

In Fällen, wo eine Verbindung zwischen Regalzeilen für Regalbediengeräte notwendig ist oder diese Verbindung aus statischen Gründen erforderlich ist, werden obere Querverbindungen in der Gangquerrichtung (Z-Richtung) angebracht. Die obere Querverbindung kann zur Unterstützung von Gangausrüstungen benutzt werden, z.B. Beleuchtung, obere Führungsschiene usw..

Die Grenzwerte von Toleranzen und Verformungen sowie Freiräumen werden in bezug auf die Funktionsanforderungen, die hauptsächlich durch die einzusetzenden Bediengeräte bestimmt sind, festgelegt werden.

Toleranzen und Verformungen der Bediengeräte sind von den einzelnen Mitgliedern der FEM Sektion 4 und 9 erhältlich.

Toleranzen und Verformungen der Ladeeinheit müssen vom Anwender spezifiziert werden.

## 2. Ziel

Das Ziel dieser Empfehlungen besteht darin, die erreichbaren Toleranzen festzulegen, die sich auf die Massenherstellung und Errichtung der im Anwendungsbereich beschriebenen Paletteregale beziehen.

Diese Toleranzen sind wichtig, um die notwendigen Bedingungen für die richtige Wechselwirkung zwischen den Bediengeräten und der Ladeeinheit auf der einen Seite und dem Regal auf der anderen Seite zu gewährleisten.

Diese Wechselwirkung-Bedingungen sind auch bei der Feststellung der Zuverlässigkeit eines Lagersystems wichtig, um sicherzustellen, daß das Risiko eines Systemausfalls annehmbar niedrig ist.

Es gibt keine zuverlässige statistische Methode zur Beurteilung der Bedeutung der Phrase "annehmbar niedrig". Es wird darum eine praktische Vorgehensweise empfohlen. Bei dieser Methode wird für jeden Parameter des gesamten Lagersystems der Reihe nach die jeweils "ungünstigste Kombination" (worst case) sämtlicher Bedingungen berechnet (siehe Kommentar).

Diese FEM Sektion 10-Empfehlungen bieten eine Hilfestellung in bezug auf die Toleranzen für Palettenregalanlagen mit verstellbaren Balken, in der jede Art von Bediengeräten, RFZ, Stapler usw. eingesetzt werden.

Das Dokument FEM Sektion 9 Nr. 9.831 (1994), das ausschließlich Hochregalanlagen mit Regalförderzeugen (RFZ) behandelt, kann auch als Bezugsquelle benutzt werden. In Klausel 4.8 von Dokument 9.831 wird festgelegt, daß in Fällen, wo die Regale in X-Richtung nicht ausgesteift sind, die Toleranzen und Verformungen für diese Bedingungen zwischen den zuständigen Beteiligten vertraglich vereinbart werden müssen.

Das Hauptziel besteht immer darin, ein Lagersystem in Hinblick auf die Kosten aller Bauteile (Gebäude, Bediengeräte, Regale usw.) wirtschaftlich zu bemessen, wobei das System gleichzeitig sicher und zuverlässig sein muß.

### Kommentar

*Die Zuverlässigkeit eines Systems wird normalerweise dadurch gewährleistet, daß der Systemkonstrukteur die ungünstigste Kombination ("worst case") aller Parameter berechnet, die die sichere Wechselwirkung der Bediengeräte, Ladeeinheit und Regale beeinflussen. Diese werden zusammen mit etwaigen sonstigen Einrichtungen betrachtet, die ggf. berücksichtigt werden müssen, wie z.B. ein Sprinklersystem..*

*Die "ungünstigste Kombination" wird durch die Addition sämtlicher Toleranzen und Verformungen für jeden entsprechenden Parameter, der sich von den Bediengeräten (RFZ, Staplern), der Ladeeinheit (palletierter Ladungen, Lagerkästen usw.) und dem Regal ergibt berechnet.*

*Die Berechnung nach der Methode der "ungünstigsten Kombination" bedeutet also, daß wenn sämtliche beschlossenen Toleranzen und Verformungen ihren maximalen zulässigen Wert aufweisen und sie alle gleichzeitig den betroffenen Parameter in der ungünstigsten Richtung beeinflussen, die zulässigen Freiräume zwischen den sich bewegenden und stationären Teilen des Systems zur Vermeidung von Zusammenstößen ausreichen.*

*Die statistische Wahrscheinlichkeit, daß die ungünstigste Kombination in der Tat entsteht ist deshalb relativ gering. Lagereinrichtungen, die in dieser Weise ausgelegt sind, werden völlig zufriedenstellend funktionieren, auch wenn eine oder zwei Toleranzen oder Verformungen geringfügig größer sind als vorgeschrieben.*

*Es ist besser großzügig zu sein indem man größere Freiräume als das absolute Minimum einsetzt. Damit wird die Notwendigkeit von sehr engen Toleranzen sowie der dafür erforderlichen Kosten- und Zeitaufwand reduziert.*

### 3. Begriffsbestimmungen

#### APR

Palettenregale mit verstellbaren Balken

#### Bezugsrichtungen

Bezugsrichtungen x, y und z sind in Abb. 1.1 definiert.

#### Toleranzen

Diese sind die Abweichungen vom idealen Maß. Sie ergeben sich durch die Fertigung, den Zusammenbau und die Montage der Bedien- und Lagereinrichtungen sowie durch andere Umgebungsfaktoren, welche das System ggf. beeinflussen, wie z.B. das Gebäude, die Ladeeinheit und der Betonboden.

#### Verformungen

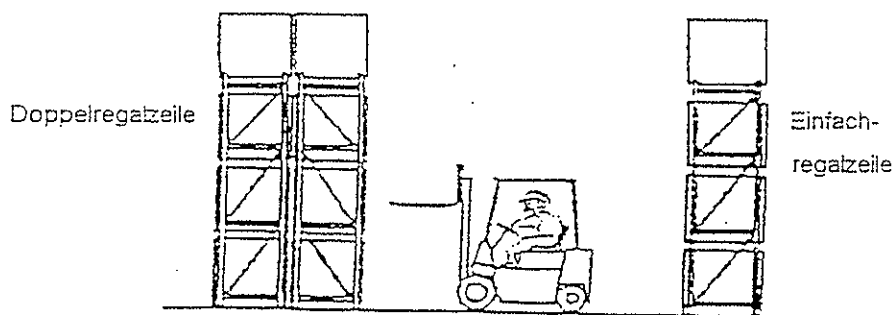
Diese sind Bewegungen von Bediengeräten, Paletten, Regalen, Böden usw., die unter dem Einfluß von statischen oder dynamischen Lasten entstehen, bezogen auf einem theoretischen Ausgangspunkt in unbelastetem Zustand. Sie schließen Durchbiegungen von Gabeln, Masten, Balken, Böden ein.

#### Freiräume

Freiräume sind die notwendigen Nennmaße der Abständen zwischen sich bewegenden und stationären Teilen des Systems, die im Falle der ungünstigsten Kombination aller relevanten Toleranzen und Verformungen, einen Zusammenstoß verhindern.

#### Breitgangregale

Diese sind Palettenregale, die so ausgelegt sind, daß Staplergeräte über einen ausreichenden Platz in der Breite verfügen, um den Gang entlang zu fahren sowie sich zum Ein- und Auslagern in einem Winkel von 90° zum Regalfront zu bewegen. Gewöhnlich werden Frontstapler eingesetzt.



Breitgang-Regale  
Abbildung 3.1

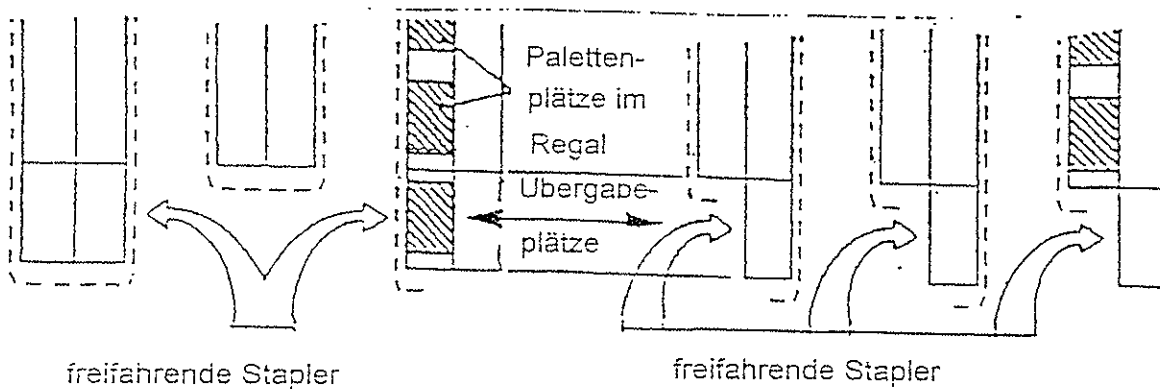


### Übergabeplätze

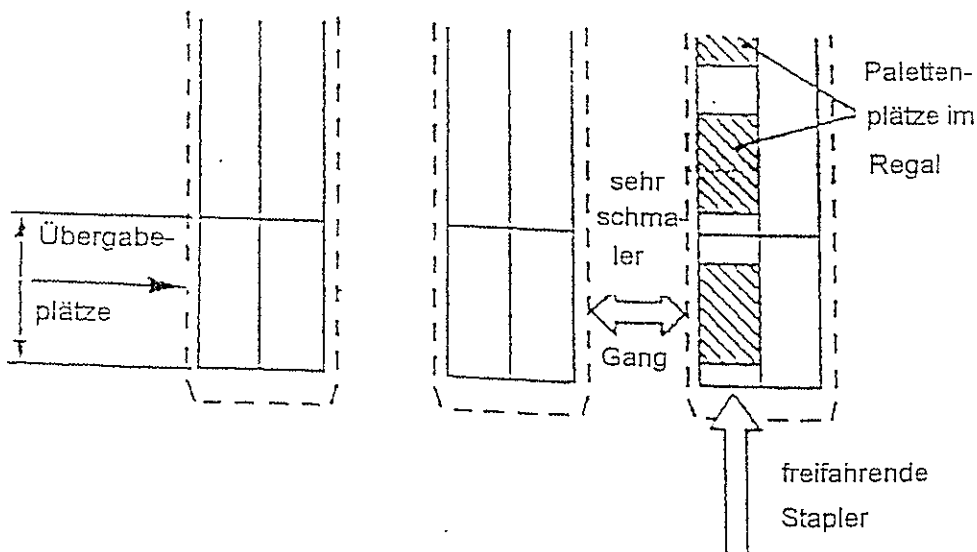
Übergabeplätze werden normalerweise an den Enden von Regalzeilen angeordnet.

Der Übergabeplatz hat zwei Hauptfunktionen:

- i) Er dient als Schnittstelle zwischen ganggebundenen Bediengeräten für Ladeeinheiten (wie Schmalgangstapler oder RFZ), und Förderern bzw. freifahrenden Staplern.
- ii) Er dient zur genauen Positionierung der Ladeeinheit bezogen auf das Regal und gewährleistet beim Zusammenwirken mit Staplern bzw. RFZ, die eine nicht verstellbare Gabellänge haben einen hohen Genauigkeitsgrad in der X- und Z-Richtung.



### Übergabeplätze für Paletten mit Öffnungen an 2 bzw. 4 Seiten



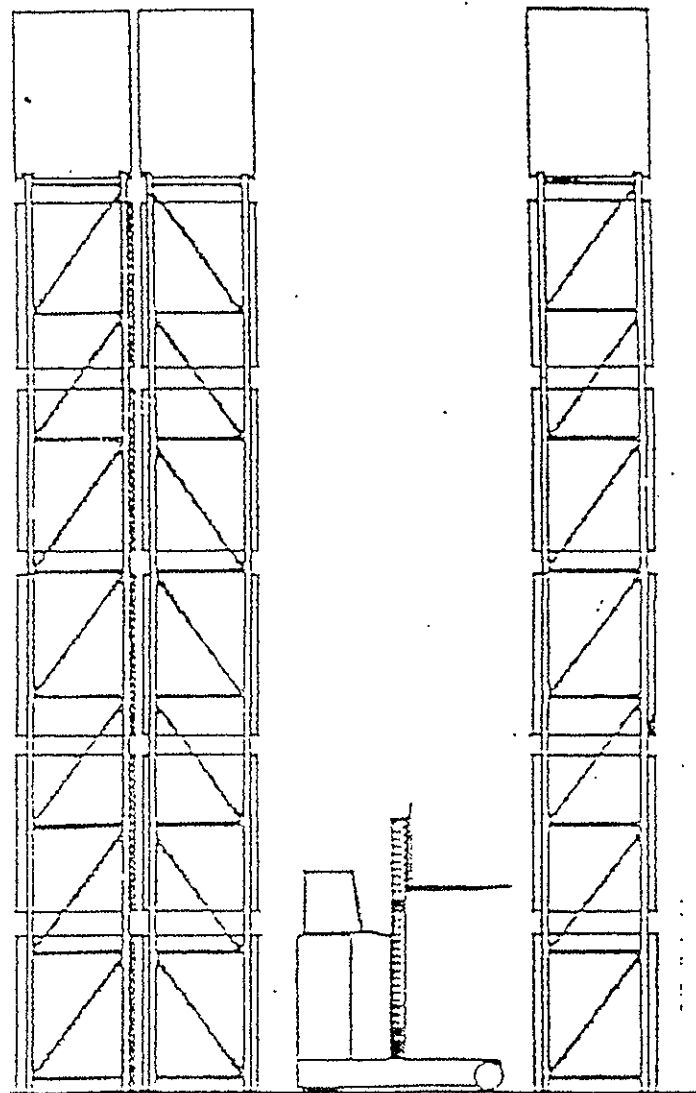
### Übergabeplätze nur für Paletten mit Öffnungen an 4 Seiten

Übergabeplätze  
Abbildung 3.2

### Schmalgangregale

Diese Palettenregale sind ähnlich wie Breitgangregale ausgelegt, weisen aber Gänge mit reduzierter Breite auf, die mit Spezialstaplern bedient werden können.

Die Stapler sind gewöhnlich Schubmaststapler.



Doppelregal

Einfachregal

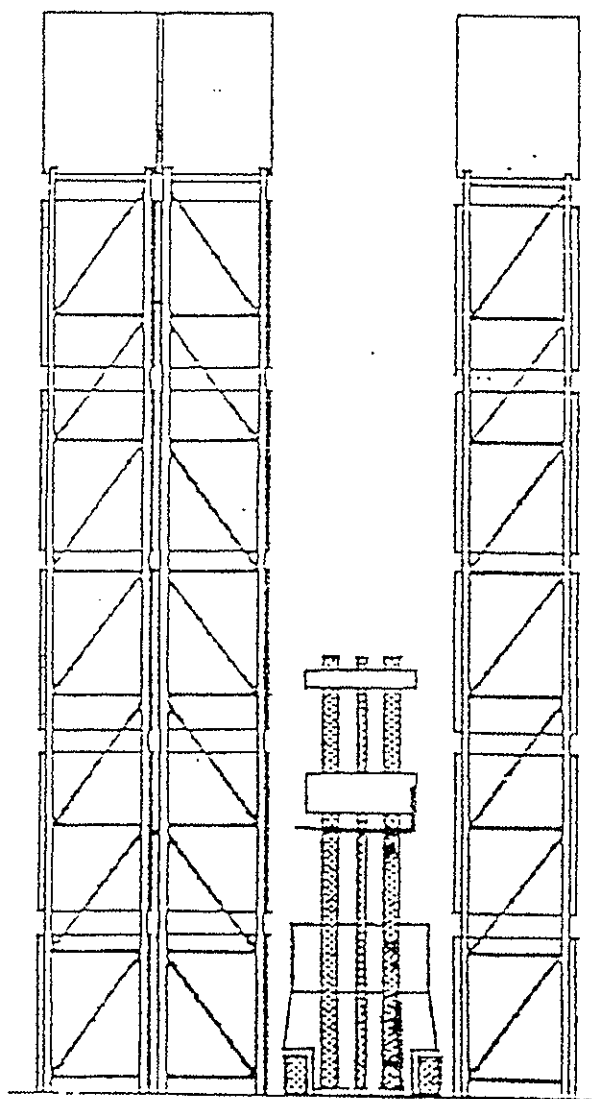
Schmalgangregale  
Abbildung 3.3

### Regale mit sehr schmalen Gängen

Die Gänge dieser Palettenregale sind so ausgelegt, daß sie nur die Breite des Staplers und der Palettenlast aufnehmen, zuzüglich einen kleinen Arbeitszwischenraum.

Die Paletten werden innerhalb der Gänge manipuliert, ohne daß sich der Stapler zur Regalfrontseite drehen muß.

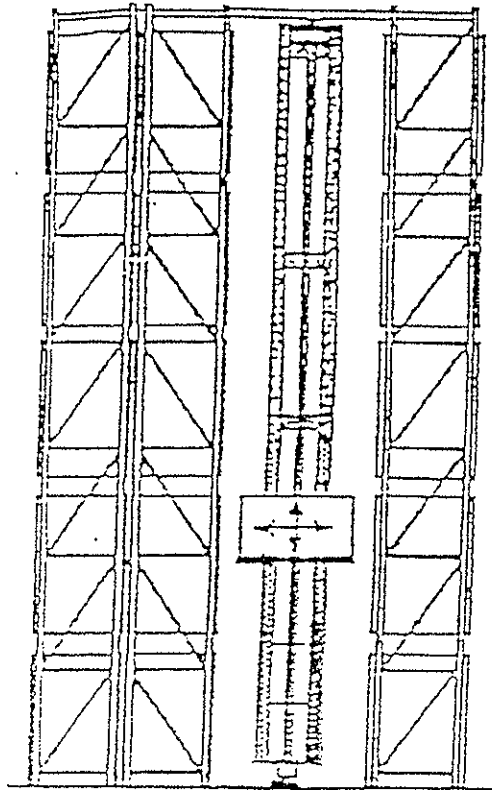
Die Stapler werden gewöhnlich in den Gang hinein und entlang des Regals von Führungsschienen bzw. induktivgesteuert geführt. Sie können mit einem unbeweglichen oder einem senkrecht beweglichen Fahrerstand ausgestattet sein.



Regale mit sehr schmalen Gängen  
Abbildung 3.4

### RFZ-Regale

Diese Art von Regal ist ähnlich ausgelegt wie das Palettenregal für Schmalgangstaplern mit sehr schmalen Gängen. Es wird durch ein Regalförderzeug (RFZ) bedient, das auf einer am Boden montierten Schiene läuft, und das von einer oberen Führungsschiene stabilisiert wird. Die Breite der Gänge reicht nur für die Breite des RFZ bzw. der Last zuzüglich eines kleinen Arbeitszwischenraums.



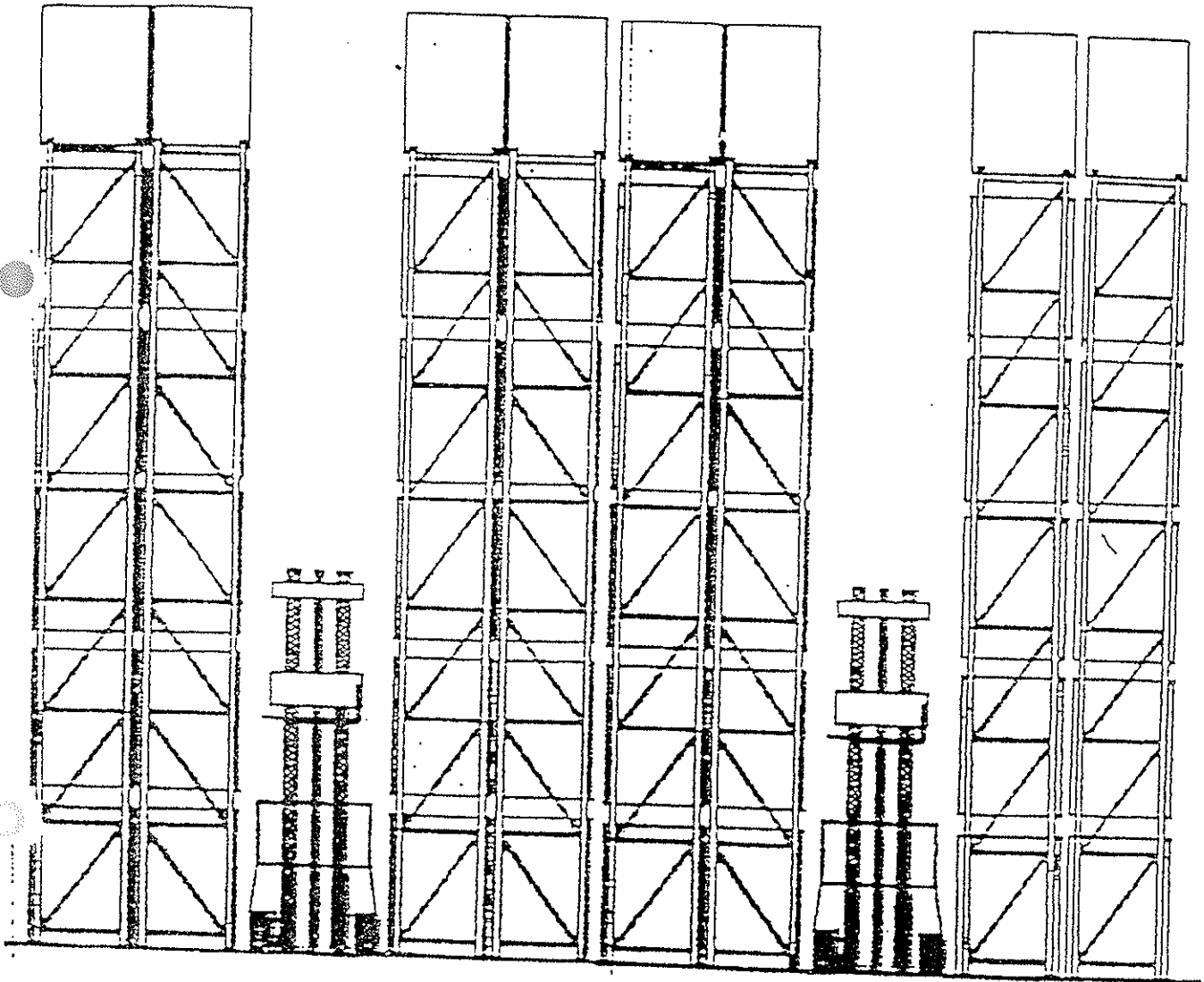
RFZ-Regal  
ABBILDUNG 3.5

### Regale mit einer Palette in der Tiefe

Dieser Regaltyp ist in Abb. 1.1 bis 3.5 dargestellt, deren Regalzeilen an beiden Gangseiten nur eine Palette in der Tiefe aufweisen, die von dem Bediengerät in diesem Gang bedient werden.

## Regale für 2 Paletten hintereinander

Diese sind Palettenregale, deren Regalzeilen an beiden Gangseiten 2 Paletten hintereinander aufweisen, die von dem Bediengerät in diesem Gang bedient werden.



Regale mit 2 Paletten hintereinander  
ABBILDUNG 3.6

#### 4. Wechselseitige Abhängigkeit des Regals und des Staplers von örtlichen Bodenunebenheiten

Eine Palettenregalkonstruktion (APR) kann nur an den Stützenstellen nivelliert werden. Dies hat zur Folge, daß die relative Höhe des Bediengerätes, welches auf dem Boden zwischen den Stützen läuft, von den örtlichen Bodenabweichungen zwischen den Stützen abhängt.

Bei Regalen, die sich nach der Bodenoberfläche richten, sind Auswirkungen auf die horizontalen Toleranzen der Balken und auf die erzielbaren Lottoleranzen der Rahmen zu erwarten. Falls die Lotrechte Stellung außerhalb der Konstruktionsbemessungsgrenzen fällt, wird eine gewisse Unterlegung der Fußplatten unbedingt erforderlich. Diese Unterfütterung kann die Toleranzstrategie beeinflussen, insbesondere im Falle von Staplern mit sehr schmalen Gängen. In diesem Fall ist eine Abstimmung zwischen allen Vertragsparteien erforderlich.

Je nach Lagersystem muß eine Entscheidung über die Art des Nivellierens des Regals gefällt werden: Die Regalanlage kann entweder auf einer Bezugsebene (horizontal oder schräg, siehe ABBILDUNG 5.2) nivelliert werden oder sie kann sich nach der Bodenoberfläche richten. Wenn sich die Regalanlage nach den Unebenheiten der Bodenoberfläche richtet, müssen die Fußplatten nach Bedarf unterlegt werden, um sicherzustellen, daß die Lotstellungsbeschränkungen Cx und Cz der Tabelle B1 nicht überschritten werden, sowie daß die Fußplatten vom Boden stabil unterstützt werden.

#### 5 Bodenebenheit für Gabelstapler

Das Ausmaß der in der Betonbodenplatte befindlichen Wellen, Schrägen, Stufen, Rippen usw. beeinflußt sowohl die Regale als auch die Bediengeräte. Empfehlungen über die Auswirkungen von Bodenunebenheiten auf die Bediengeräte (siehe Abbildung 5.2) sind von den Herstellern der Bediengeräte erhältlich.

In bezug auf die Regale beeinflußt die Qualität der Bodenoberfläche hauptsächlich die Kosten der Anbringung und Befestigung des Unterlegmaterials unter den Fußplatten.

##### 5.1 Unterlegplatten

Das Nivellieren wird normalerweise am kostengünstigsten ausgeführt, indem Unterlegplatten aus Stahl unterhalb der Fußplatten der Stützen eingeschoben und so befestigt werden, daß sie nicht unabsichtlich gestört werden können. Es gibt praktische Grenzen für die maximale Dicke der Anzahl von Unterlegplatten aus Stahl, die eingesetzt werden können. Die vorgesehene Menge von Unterlegplatten pro Fußplatte sollte vor Abschluß des Vertrages zwischen den vertragsschließenden Parteien vereinbart werden. Als Alternative sollte die vorgesehene geschätzte Menge im Pflichtenheft aufgeführt werden.

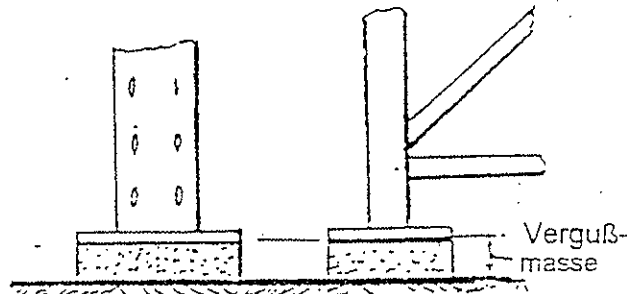
##### *Kommentar*

*Bei Palettenregalen mit verstellbaren Balken beträgt die Gesamtdicke der Unterlegplatten durchschnittlich ca. 3 mm. für jede Stütze.*

## 5.2 Fußplatten mit Vergußmasse ausgießen

Die Anlage kann auch nivelliert werden indem die Fußplatten durch einen schrumpffesten Vergußmörtel unterstützt werden. Auch diese Methode hat praktische Grenzen. Die minimale Dicke des Vergußmörtels hängt vom Materialtyp ab. Die Herstelleranweisungen sollten hier beachtet werden. Die Mindestdicke beträgt normalerweise ca. 12 - 15 mm.

Die Dicke der Vergußmasse ist abhängig von den Maßen der Fußplatte und der Qualität des Vergußmörtels.



Vergießen der Fußplatten  
ABBILDUNG 5.1

## 5.3 Fußbodenklassen

### 5.3.1 Rastersystem für ein Nivellement

Der größte Höhenunterschied zwischen zwei benachbarten Vermessungspunkten darf den Wert D in Tabelle 5.1 bzw. 5.2. nicht überschreiten.

Hinweis: Als Alternative können die Maße des gewählten Rastersystems in Hinblick auf Feldbreite und Rahmentiefe auf ca. 3 m x 1 m nach Vereinbarung geändert werden, z.B. um die Regalauslegung anzupassen. Die Werte von D<sub>max</sub> können mittels Geradeinterpolation angeglichen werden.

### 5.3.2 Bodenklasse I

Diese Bodenklasse eignet sich im allgemeinen für diejenigen Palettenregalanlagen, wo zugelassen werden kann, daß sie sich innerhalb vernünftiger Toleranzen nach den Unebenheiten der Bodenoberfläche richten. Es wird nur an den Stellen unterlegt, wo dies notwendig ist, e.g. bei Breitgangregalen und Schmalgangregalen.

TABELLE 5.1

FUßBÖDEN MIT DEN TOLERANZEN DER TABELLE 5.1 SIND IM ALLGEMEINEN GEEIGNET

Bodenoberflächenebenheit - Klasse I Für Böden der normalen Klasse	
Vermessungsraster für Vermessungspunkte 1 m x 1 m	
95% aller Messungen $\Delta \leq 4,0$ mm	
100% aller Messungen $\Delta \leq 5,0$ mm	
Vermessungsraster für Vermessungspunkte 3 m x 3 m	
95% aller Messungen $\Delta \leq 8,0$ mm	
100% aller Messungen $\Delta \leq 9,0$ mm	

### 5.3.3 Bodenklasse II

Diese Bodenklasse eignet sich für Anlagen, wo die Balkenebenen innerhalb eines bestimmten vertikalen ( $\gamma$ ) Toleranzfeldes montiert werden müssen, wobei eine horizontale Bezugsebene als Schnittstelle zwischen Staplern und Regalen dient.

TABELLE 5.2

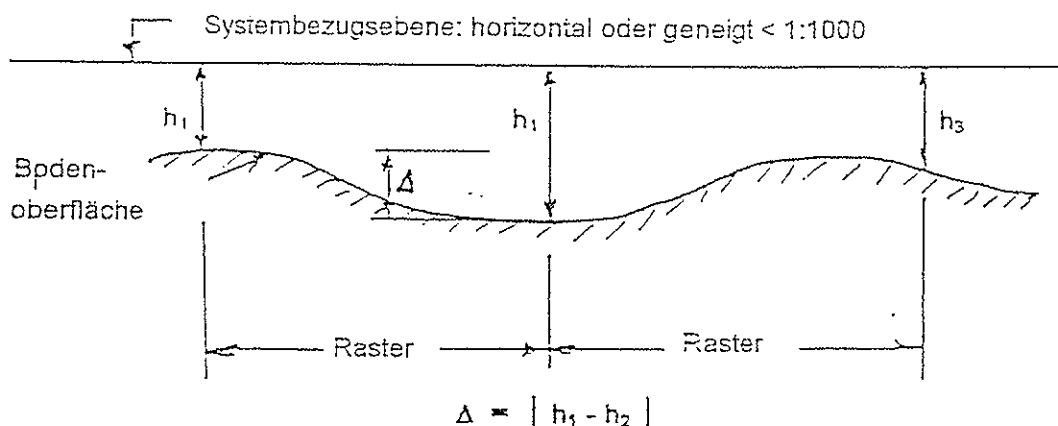
FÜR ANLAGEN DIESER ART SIND FUßBÖDEN MIT DEN TOLERANZEN DER TABELLE 5.2 IM ALLGEMEINEN GEEIGNET.

Bodenoberflächenebenheit - Klasse II Für Böden der höheren Klasse	
Vermessungsraster für Vermessungspunkte 1 m x 1 m	
95% aller Messungen $\Delta \leq 2,5$ mm	
100% aller Messungen $\Delta \leq 3,0$ mm	
Vermessungsraster für Vermessungspunkte 3 m x 3 m	
95% aller Messungen $\Delta \leq 6,0$ mm	
100% aller Messungen $\Delta \leq 7,0$ mm	

### 5.3.4 Geneigte Böden

Der maximale Unterschied zwischen den höchsten und niedrigsten Vermessungspunkten auf einem Boden in dem Bereich wo sich die Regalanlage befindet darf 1/1000 der Regallänge nicht überschreiten.

Eine Bezugsebene für das System wird normalerweise als horizontale Ebene angenommen. Im Falle, daß ein Boden eine generelle Neigung in einer Richtung aufweist, darf die Bezugsebene mit einer Neigung von maximal 1:1000 angesetzt werden (siehe Abbildung 5.2).

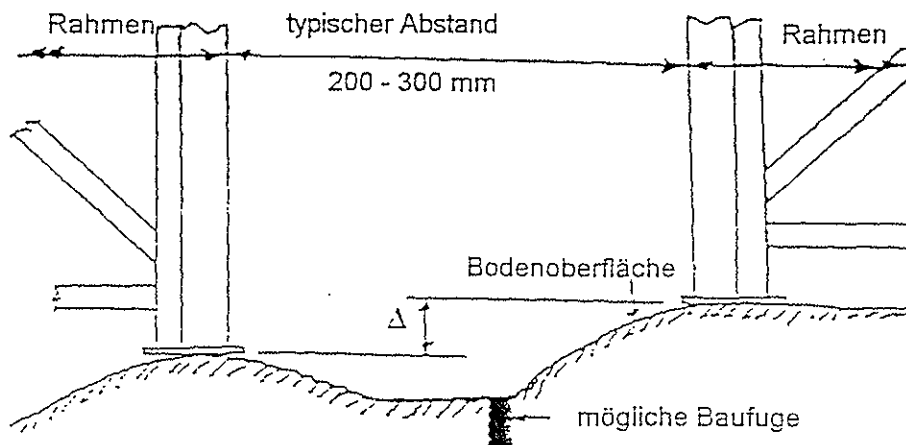


Geneigte Böden  
Abbildung 5.2



**Kommentar****Höhe der Stützenfußplatten bei Doppelregalen**

Wenn der Abstand zwischen den hinteren Rahmen von Doppelregalen klein ist, kann das Lagersystem durch den Höhenunterschied zwischen nebenstehenden Stützen beeinflusst werden, falls der Unterschied 2 bis 3 mm überschreitet (siehe Abbildung 5.3). In den Fällen, wo festgelegt ist, daß die Regale sich nach der Bodenoberfläche richten sollen, kann zusätzliche Unterlegung erforderlich sein.



Höhe der Stützenfußplatten bei Doppelregalen  
ABBILDUNG 5.3

**Systeme mit sehr schmalen Gängen**

Für Systeme mit sehr schmalen Gängen kann ein Boden mit kleineren Toleranzen als Klasse II erforderlich sein.

Im Prinzip ist es zulässig, daß sich die Regale nach der Bodenoberfläche richten. Falls die Oberfläche des Regalganges nivelliert oder mit Glättbalken versehen wird, die einen engeren Toleranzbereich aufweisen als der Boden, der die Regale aufnimmt, so kann es notwendig sein, daß das Regal auf eine vereinbarte Bezugsebene nivelliert werden muß (siehe Abbildung 5.4).

Dieses Problem sollte mit dem Lieferant des Staplers für sehr schmale Gänge erörtert und abgestimmt werden.

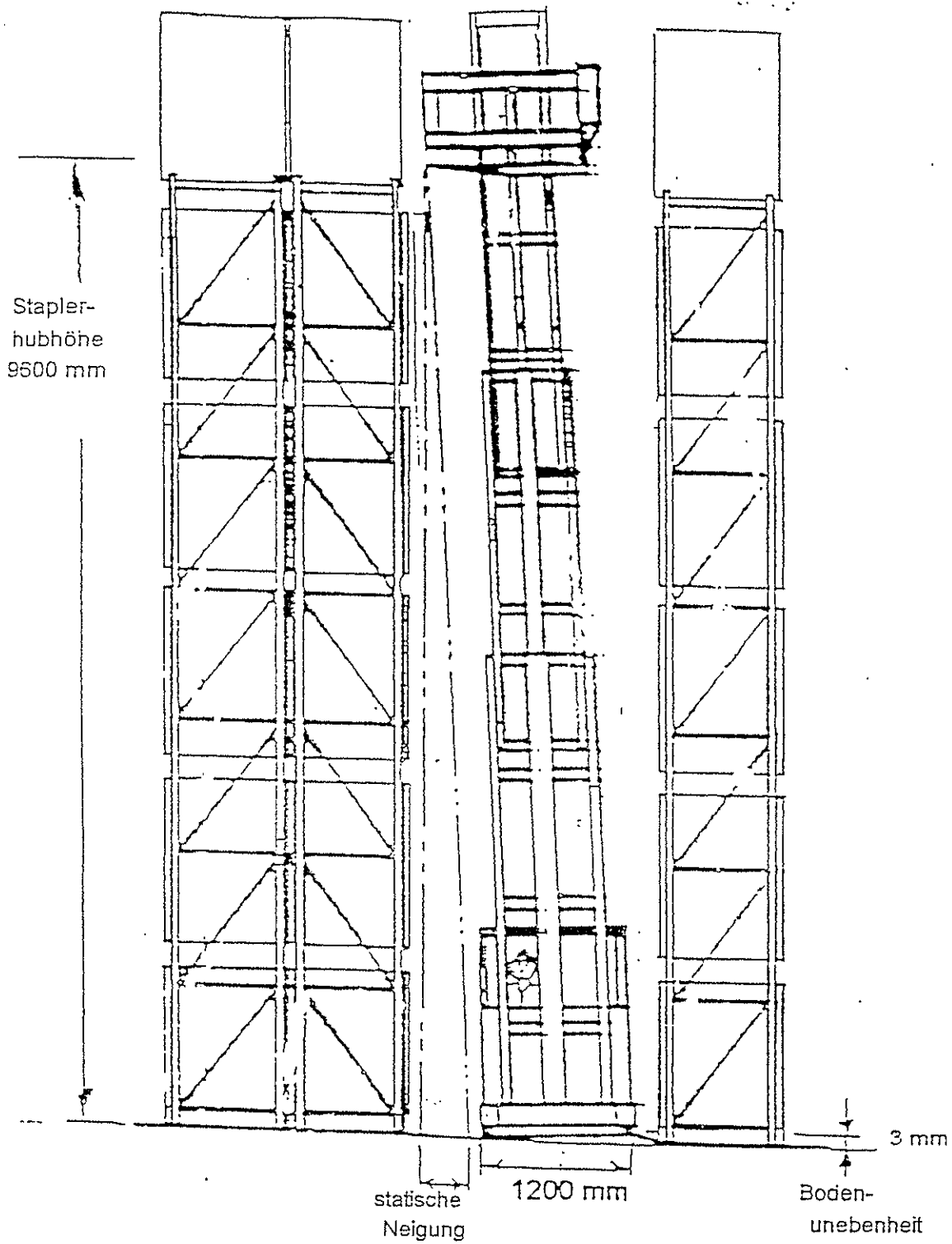
**Bodenebenheit für RFZ-Böden**

Für Regale für RFZ können größere Toleranzbereiche der Bodenunebenheit akzeptiert werden. In diesem Fall bietet das Vergießen der Stützen mit Vergußmörtel ggf. eine besser durchführbare Methode zum Nivellieren der Stützen, wobei die Beschränkungen des eingesetzten Vergußmörtels berücksichtigt werden müssen.. [Vgl. Dokument 9.631:1994], in dem Bödentoleranzen für RFZ-Anlagen festgelegt sind].

**Geneigte Böden**

Auf geneigten Böden aufgestellte Regalanlagen richten sich nach der Bodenneigung, es sei denn, die Neigung wird durch Unterlegung der Stützenfußplatten korrigiert.

Falls so aufgestellt, daß sie sich nach der Bodenneigung richten, werden die Regale eine Neigung zur Senkrechten aufweisen, deren Winkel dem Bodenwinkel gleich groß ist. Aus statischen Standfestigkeitsgründen wird diese Neigung auf 1:1000 beschränkt, es sei denn, Sondermaßnahmen werden getroffen.



Verhältnis zwischen Ebenheit und statischer Schrägstellung  
(Mast wird als starre Konstruktion errichtet)

Beispiel von Mastenschrägstellung auf unebenem Boden  
ABBILDUNG 5.4

## 6. Regalklassen

Bediengeräte für das Manipulieren von Ladeeinheiten können in vier Gruppen klassifiziert werden. Die Regale für jede Klasse benötigen entsprechend unterschiedliche Toleranzstufen für die Fertigmontage. Die Montagetoleranzen wurden deshalb in vier Gruppen gegliedert, um die zu erwartenden allgemeinen Anforderungen der vier Bediengeräte-Gruppen abzudecken.

### Klasse 100, siehe Kommentar

Anlagen mit Regalförderzeugen, die automatisch gesteuert sind und die mit keinem Feinpositionierungssystem an den Lagerplätzen für Ladeeinheiten ausgestattet sind.

Diese Klasse ist normalerweise für Lagereinrichtungen einer Höhe von unter 18 m geeignet.

### Klasse 200, siehe Kommentar

Anlagen mit Regalförderzeugen, die automatisch gesteuert sind und die mit einem Feinpositionierungssystem an den Lagerplätzen für Ladeeinheiten ausgestattet sind. Ferner Anlagen mit Regalförderzeugen, die manuell gesteuert sind.

### Klasse 300A

Anlagen mit sehr schmalen Gängen (Abbildung 3.4), bei denen der Staplerfahrer mit der Ladeeinheit gehoben und gesenkt wird.

### 300 B

Anlagen mit sehr schmalen Gängen (Abbildung 3.4), bei denen der Staplerfahrer an der Bodenebene bleibt und mit der Ladeeinheit nicht gehoben und gesenkt wird und nicht über ein CCTV Überwachungssystem zur Führungshilfe verfügt. Aus Sicherheitsgründen müssen Regale dieser Klasse mit Übergabepätzen ausgestattet werden. Durch den Übergabepatz wird die Palette beim Einlagerungsvorgang in dem Regal genau positioniert. Dadurch wird bei Doppelregalzeilen eine Kollision zwischen gegenüberliegenden Paletten bzw. mit anderen etwaigen in der Anlage befindlichen Hindernissen, wie Sprinklerrohren und anderen Ausrüstungsteilen, vermieden.

### Klasse 400

Anlagen mit breiten und schmalen Gängen, die von Frontstaplern bzw. Schubmaststaplern bedient werden (siehe Abbildung 3.1 und 3.3).

### *Kommentar*

*Die Klassen 100 und 200 von FEM 9.831 (1994) entsprechen den oben erwähnten Klassen 100 und 200.*

## 7. Regale ohne vertikale (Rücken-) Verstrebung in der vollen Höhe und ohne horizontale Verstrebung.

Genormte Palettenregale mit verstellbaren Balken (APR) werden gewöhnlich ohne Rückenverstrebung und Horizontalverbände konstruiert.

Nichtausgesteifte Palettenregale sind im allgemeinen kostengünstiger als ausgesteifte Palettenregale und benötigen den zusätzlichen Platz für die Verstrebung zwischen den Regalen nicht.

Die Vorteile von Aussteifung durch vertikale und horizontale Verstrebung bestehen darin, Verformungen durch Regalverschiebungen einzuschränken, mit damit verbundenen verbesserten Montagelotabweichungstoleranzen (siehe Abbildung 7.1) sowie verbesserter Ausrichtung der Stützen in Z-Richtung (siehe Abbildung 7.2). Folglich brauchen nichtausgesteifte oder teilsausgesteifte APR-Palettenregale größere  $X_3$ -Freiräume als ausgesteifte APR-Palettenregale, um mögliche erhöhte Regalverschiebungen und größere Montagetoleranzen zu berücksichtigen (siehe Abbildung 8.1).

### *Kommentar*

Ohne Horizontalverbände (siehe Abbildung 7.1(a) und 7.2(a)) ist es erforderlich, einen größeren Wert  $K_x$  für Stützenversetzung plus Lotabweichungen und etwaige Krümmung der Stützen einzusetzen. Stützenkrümmung ist normalerweise vernachlässigbar.

$$K_x = B + C_x \text{ (siehe Abbildung B1)}$$

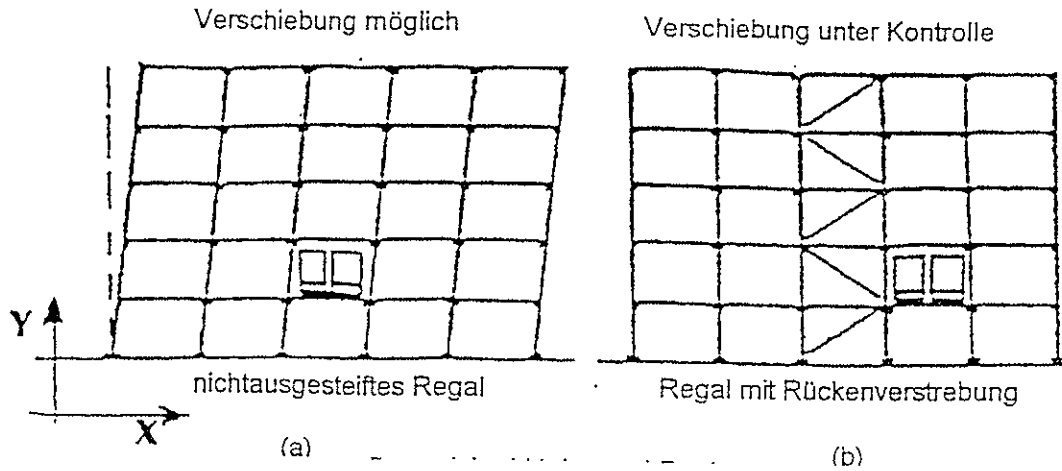
Werte für  $B$  und  $C_x$  sind Tabelle B1, Anhang B zu entnehmen

Aufgrund dieser Möglichkeit bei nichtausgesteiften Regalen sollte der Wert von  $K_x$  von 15 mm für vollausgesteifte Regale auf 30 mm für gewöhnliche, nichtausgesteifte APR-Palettenregale erhöht werden.

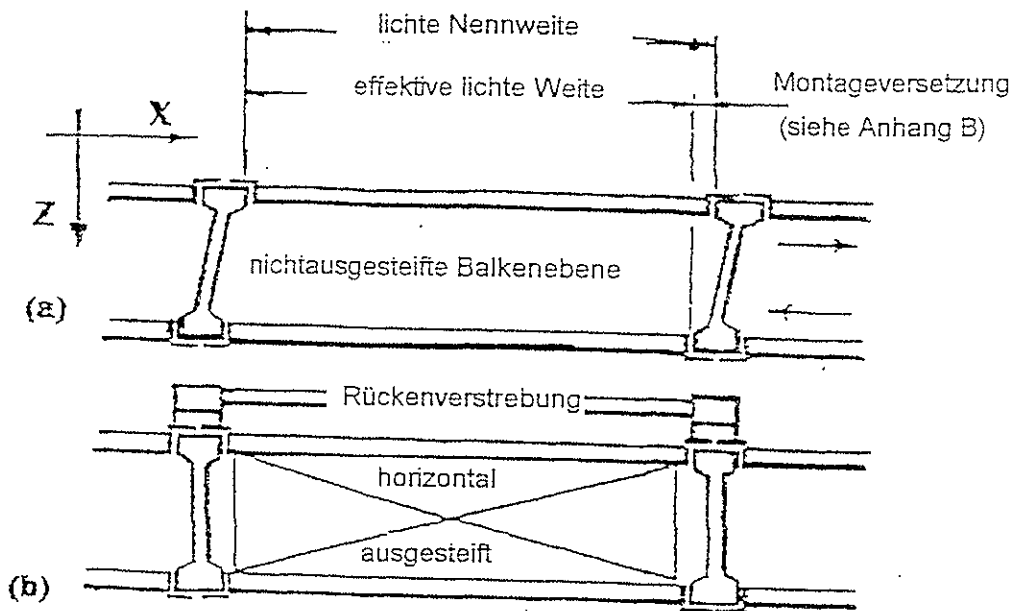
Die Gesamtlängen von nichtausgesteiften Regalen werden also gegenüber ausgesteiften Regalen um 15 mm erhöht. Die Tiefe von ausgesteiften Regalen muß jedoch gegenüber nichtausgesteiften Regalen erhöht werden, um Platz für die Palettenfreiräume und Rückenverstrebung zu berücksichtigen (siehe Abbildung 7.3). Vgl. auch 17.4 in bezug auf empfohlene Freiräume.

Normalerweise wird der Flächenbedarf einer Einrichtung durch den Einsatz von nichtausgesteiften APR-Regalen niedrig gehalten.

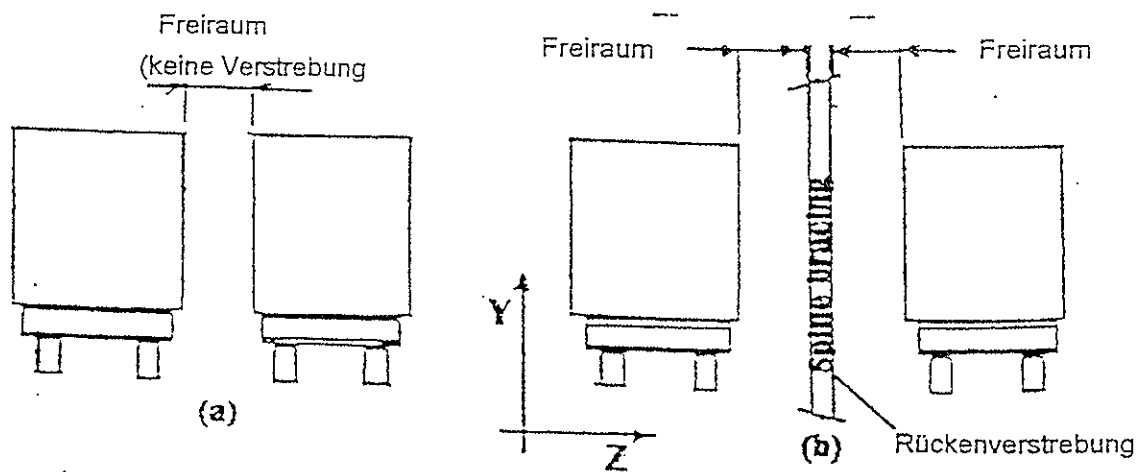
Falls Sprinklereinrichtungen eingesetzt werden, werden zusätzliche Freiräume sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung ggf. erforderlich sein.



Ausgesteifte und nichtausgesteifte Regale  
 ABBILDUNG 7.1



Nichtausgesteifte und ausgesteifte Balkenebenen  
 ABBILDUNG 7.2



Freiräume mit und ohne Rückenverstrebung  
 (Vgl. Klausel 19)  
 ABBILDUNG 7.3

## 8. Kombinationen von Balkenbelastungen zur Ermittlung von Freiräumen

### 8.1 Durchbiegungsbeschränkungen

Die von FEM 9.831 entnommenen und in Abbildung 8.1 und 8.2 dargestellten Freiräume  $X_1, X_2, X_3, X_4, Y_1, Y_2$  und  $Y_3$  werden durch Balkendurchbiegungen unter verschiedenen Belastungen sowie von Balkenkontinuitätskombinationen beeinflusst. Für APR-Palettenregale können die Wirkungen durch Betrachtung von nur einfeldrigen Balken vorsichtig geschätzt werden. In Fällen wo Balkenspannweiten effektiv über zwei oder drei Felder zusammenhängend sind, müssen ggf. sowohl durchhängende als auch krümmende Balkenverformungen berücksichtigt werden.

Die Anforderungen von FEM 9.831: (1994), Tabelle 2 für die Toleranzkategorien Klasse 100 und Klasse 200 für RFZ-Regale sind nachstehend wiederholt.

TABELLE 8.1  
MAXIMALE VERFORMUNG VON STÜTZBALKEN UNTER BELASTUNG IM BEREICH DER GABELSPITZEN (mm)

Balkentyp	Klasse 100		Klasse 200		Klasse 300A & B		Klasse 400	
	c	d	c	d	c	d	c	d
Biege- verformung								
normaler Balken	$\frac{L}{300}$ Max. 10 mm	$\frac{L}{300}$ Max. 7 mm	$\frac{L}{200}$ Max. 15 mm	$\frac{L}{200}$ Max. 9 mm	$\frac{L}{200}$ oder 300B Max. 10 mm	$\frac{L}{200}$	$\frac{L}{200}$	$\frac{L}{200}$
Ausleger- Balken (siehe Abb. 8.5)	$\frac{aL}{100}$ Max. 12 mm	$\frac{aL}{100}$ Max. 8 mm	$\frac{aL}{100}$ Max. 15 mm	$\frac{aL}{100}$ Max. 10 mm	$\frac{aL}{100}$ oder 300B Max. 10 mm	$\frac{aL}{100}$	$\frac{aL}{100}$	$\frac{aL}{100}$

Biegeverformungsmodus c: durchhängend

Biegeverformungsmodus d: krümmend

L ist die Balkenspannweite (Stützenmitte bis Stützenmitte; im Fall von Auslegern, im letzten Feld)

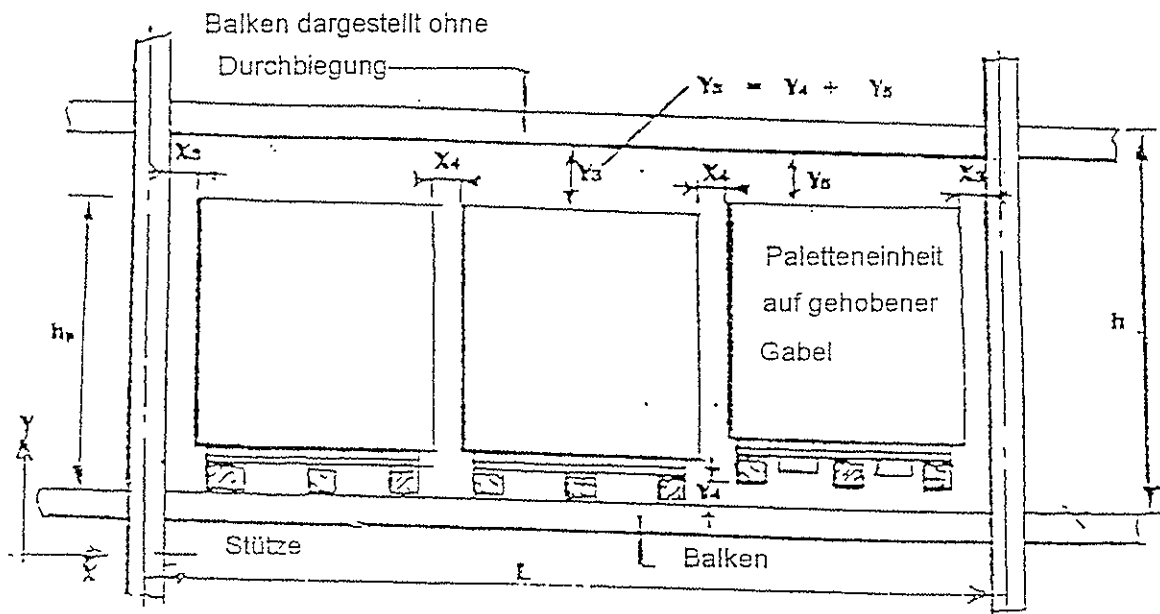
Balkenbelastungen für Palettenregale basieren normalerweise auf durchhängenden Biegungen, die  $1/200$  der Spannweite L nicht überschreiten. Tabellen 8.2 bis 8.4 liegen dieser Annahme zugrunde.

Auslegerbelastungen basieren normalerweise auf  $1/100$  der Auslegerlänge. Tabelle 8.5 liegt dieser Annahme zugrunde.

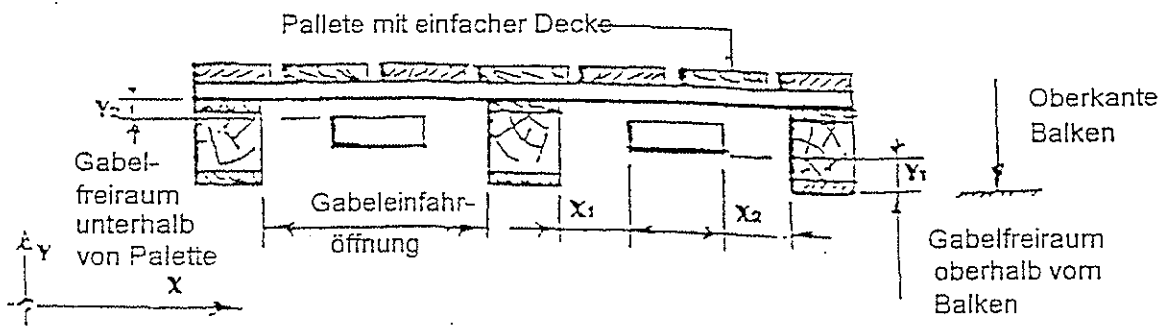
8.2 Auswirkungen von krümmenden und durchhängenden Balkenverformungen auf Freiräume  $X_3$ ,  $X_4$  und  $Y_1$ ,  $Y_2$  und  $Y_3$  bei nichtfreitragenden Balken.

Falls andere Verformungen als 1/200 bzw. 1/100 benötigt werden, können die Auswirkungen verhältnismäßig auf die Freiräume von Tabellen 8.2 bis 8.4 berechnet werden. Diese Tabellenwerte sind vorsichtig angesetzt und können bei Bedarf genauer berechnet werden.

- Tabelle 8.2 Auswirkungen von krümmender Balkenverformung auf Freiraum  $X_3$   
Siehe Abbildung 8.3 & 8.4
- Tabelle 8.3 Auswirkungen von durchhängender Balkenverformung auf Freiraum  $X_4$   
Siehe Abbildung 8.3 & 8.4
- Tabelle 8.4 Auswirkungen von Krümmung und Durchhängung von Balken auf Verformungen bei Verringerung der Freiräume  $Y_1$ ,  $Y_2$  und  $Y_3$



Freiräume X und Y zwischen Paletten und Regal  
ABBILDUNG 8.1



Freiräume zwischen RFZ-Gabel und Palette oberhalb des Balkens  
ABBILDUNG 8.2

TABELLE 8.2 Auswirkung von krümmender Balkenverformung auf  $X_3$ 

Kontinuität der Balkenspannweite	Anzahl Paletten auf Balkenspannweite	Neigungswinkel bei leerem Ladungsträger $\alpha_3$	Neigungswinkel bei voller Palette $\alpha_3$
ein Feld	2	0	0
	3	0	0
zwei Felder	2	1/210	<0
	3	1/160	1/310
drei Felder	2	1/160	1/360
	3	1/130	1/180
ein Feld mit Ausleger	2	1/70	<0
	3	1/70	1/160

\*Der Neigungswinkel bei leerem Ladungsträger gilt für den Fall wo die Ladeinheit in voller Höhe besteht aber vom kleinem Gewicht ist, wie im Falle eines leeren Ladungsträgers.

TABELLE 8.3 Auswirkung von durchhängender Balkenverformung auf  $X_4$ 

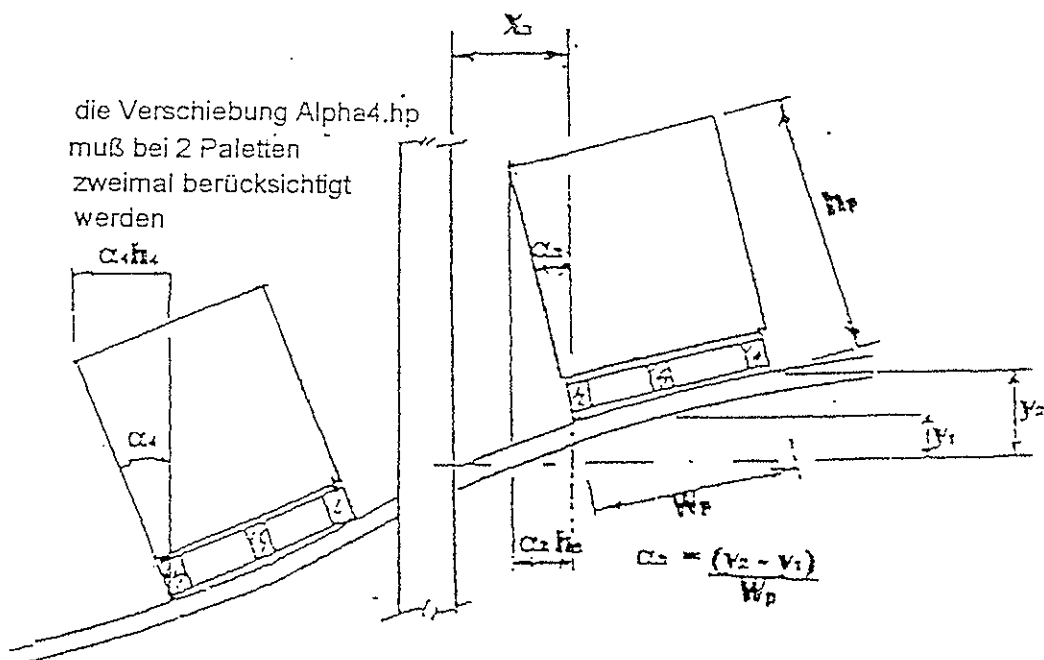
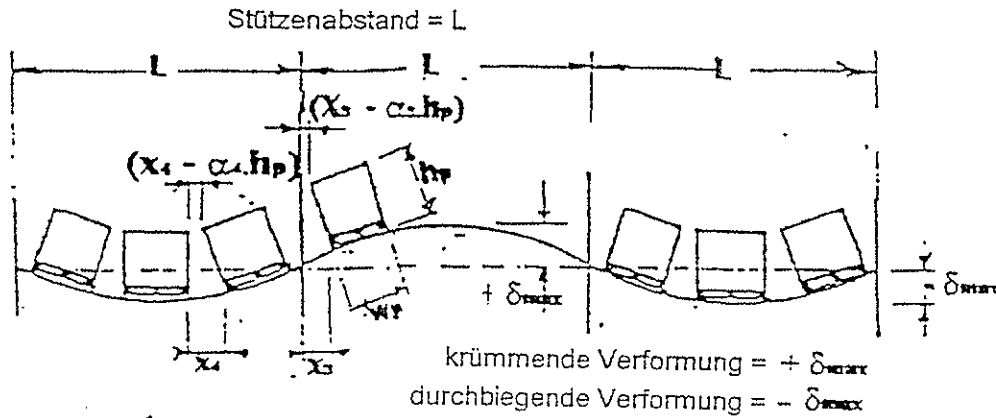
Kontinuität der Balkenspannweite	Anzahl der Paletten auf Balkenspannweite	Neigungswinkel bei voller Palette $\alpha_4$
ein Feld (APR)	2	1/100
	3	... 1/85
zwei Felder	2	1/100
	3	1/75
drei Felder	2	1/100
	3	1/75

TABELLE 8.4 Auswirkung von krümmender und durchhängender Balkenverformung auf Verringerung von  $Y_1$ ,  $Y_2$  und  $Y_3$ 

Kontinuität der Balkenspannweite	Anzahl Paletten auf Balkenspannweite	$Y_1$ Balkenkrümmung nach oben - A	$Y_2$ Balkendurchhängung nach unten - B	$Y_3$ A + B
ein Feld (APR)	2	0	L/200	L/200
	3	0	..L/200	L/200
zwei Felder	2	L/462	L/200	L/140
	3	L/462	L/200	L/140
drei Felder	2	L/317	L/200	L/123
	3	L/317	L/200	L/123

Die Auswirkungen von krümmenden und durchhängenden Balkenverformungen auf Freiräume  $X_3$ ,  $X_4$  und  $Y_1$ ,  $Y_2$  und  $Y_3$  sind in Abbildung 8.3 und 8.4 dargestellt.





Die Auswirkungen von Balkenverformungen auf Paletten  
 ABBILDUNG 8.3

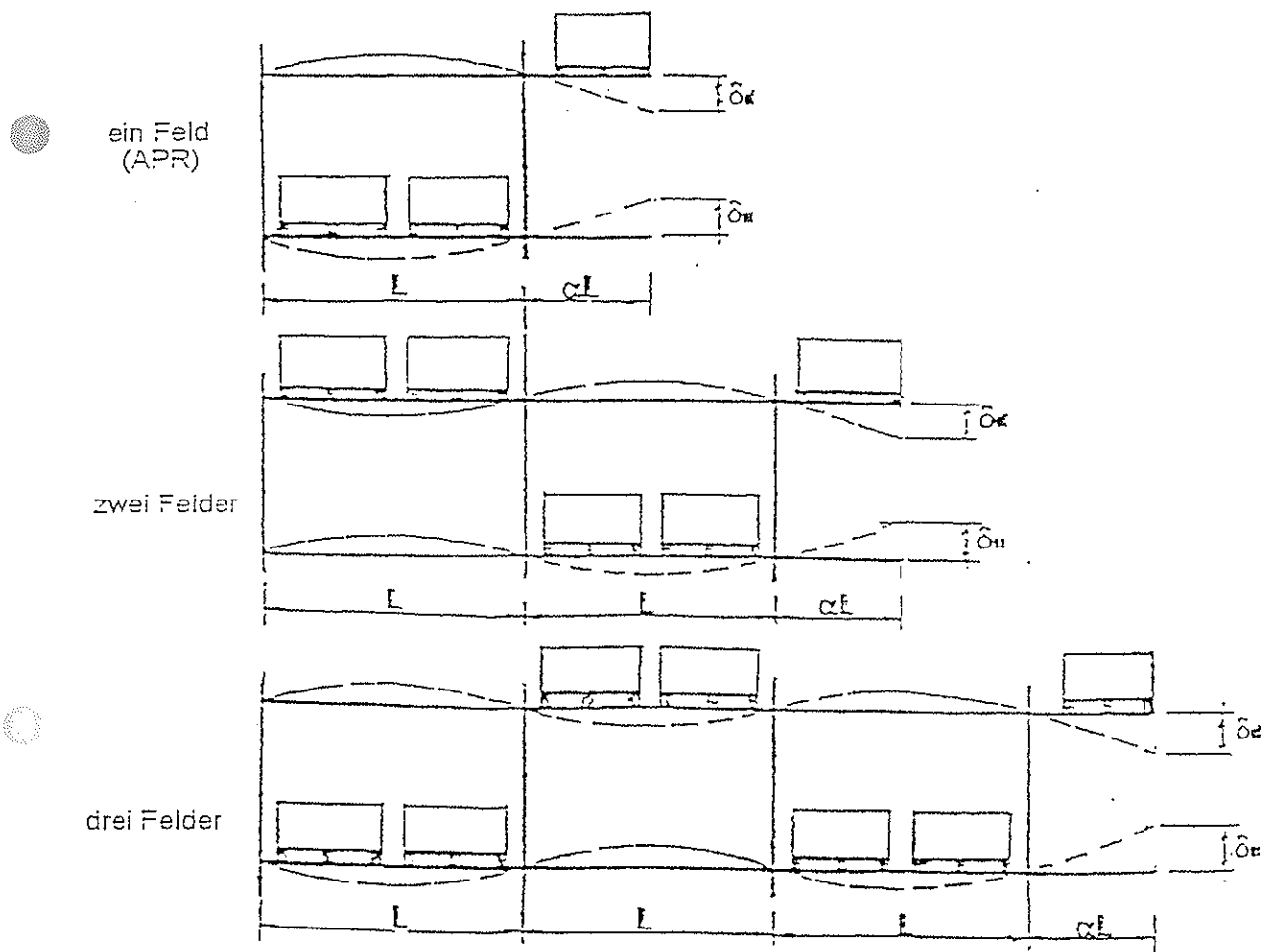
Vergrößerte Darstellung von Palettenverschiebungen  
 ABBILDUNG 8.4

Der zusätzliche Freiraum  $\alpha \cdot h_p$ , der bei der Berechnung der Gesamtfreiräume für  $x_3$  und  $x_4$  berücksichtigt werden muß, hängt von den relativen vertikalen Durchbiegungen der Palettenstützpunkte entlang des Balkens, welche die Lotabweichungen der Palettenladung beeinflussen, ab. Wie dies genau berechnet werden kann ist in Abbildung 8.4 dargestellt. Ähnliche Verfahren können für verschiedene "worst case" Kombinationen von Schachbrettbelastungen für jede Anzahl Paletten auf einem Balkenpaar sowie für jeden Grad der Balkenkontinuität durch starre oder halbstarre Verbindungen an den Regalstützen angewandt werden.

### 8.3 Auswirkungen von krümmenden und durchhängenden Balkenverformungen auf Freiräume $X_3$ , $X_4$ und $Y_1$ , $Y_2$ und $Y_3$ bei Auslegerbalken (Übergabeplätzen).

Bei Balken, die über den Endrahmen des Regals hinaus verlängert sind, um damit einen Auslagerpalettenplatz zu bilden, z.B. für einen Übergabeplatz, werden die Durchbiegungsbeschränkungen für den Auslegerteil des durchlaufenden Balkens automatisch gewährleistet, daß der Balken eine ausreichende Steifigkeit zur Erfüllung der anderen Durchbiegungsanforderungen der Balkenspannweite zwischen den Stützen aufweist.

Die Auswirkungen der Auslegerdurchbiegungen eines durchgehenden Balkens auf die Freiräume sind in Abbildung 8.5 dargestellt.



Die Wirkungen von Paletten auf Verformungen von Auslegerbalken  
ABBILDUNG 8.5

## 9. Von regalgeführten Geräten ausgeübte Horizontale Kräfte

### 9.1 Anzahl der RFZ-Kräfte

Beim Einsatz von regalgeführten RFZ nimmt die Wahrscheinlichkeit, daß alle RFZ gleichzeitig horizontale Kräfte in der gleichen Richtung und an der gleichen Stelle ausüben mit steigender Anzahl von RFZ, entsprechend ab. Eine Überprüfung der Tragfähigkeit und Standfestigkeit einer Regalanlage sollte nach dem FEM-Dokument 10.2.02 erfolgen.

Beim Einsatz eines RFZ sollte die Seitenverformung der Regalrahmen in bezug auf die Einwirkung von nur einem RFZ gegen die obere Führungsschiene bewertet werden. (Siehe nachstehender Kommentar).

Die Wirkung dieser RFZ-Kraft kann durch die oberen Querverbindungen und horizontalen Verstreibungen, falls vorhanden, über eine große Anzahl Rahmen verteilt werden.

Die berechnete Verformung soll die Biege- und Scherwirkungen dieser RFZ-Kraft auf die ausgesteiften Rahmen unter Anwendung der in FEM 10.2.02 gegebenen Bemessungsmethoden berücksichtigen.

#### *Kommentar*

*Aus FEM 9.831 (1994) geht nicht hervor, daß zur Überprüfung des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit der Regale, die von den RFZ bedient werden, nur eine RFZ-Kraft eingesetzt zu werden braucht, aber sie (Sektion IX) sind sich einig, daß dies beabsichtigt war und im letzten Entwurf ihres Dokumentes über Toleranzen, Verformungen und Freiräumen für automatische Kleinteilelager angegeben ist.*

## 10. Regale mit Wandverkleidung und Windlasten

### 10.1 Überlegungen in bezug auf die Wirkung von Windlasten.

Regale mit Wandverkleidung werden von Windlasten beeinflusst. Diese Lasten verursachen Verformungen der in Abbildung 10.1 dargestellten Art.

Diese sind hauptsächlich:

1. waagerechte Verschiebung der höchsten Punkte der Rahmen
2. Biegung der Außenrahmen, f, zuzüglich zur Verschiebung, a.

Diese Verformungen werden von zusätzlichen Materialspannungen in der Konstruktion begleitet.

Verglichen mit den Wirkungen von Montageimperfektionen auf die Lotstellung und der RFZ-unterstützenden Seitenkräfte auf die obere Führungsschiene, fallen diese Wirkungen von Seitenwindlasten normalerweise beträchtlich aus.

Windlasten sind von Natur aus sehr variabel. Sie schwanken zeitlich und in Richtung und Höchstlasten (Geschwindigkeiten) entstehen nur über sehr kurze Perioden.

In bezug auf die Baukonstruktion wird die Windgeschwindigkeit wie folgt definiert (siehe Eurocode 1 Teil 2.7 Windlasten):

10 Minuten Mittelwindgeschwindigkeit

10 m über den Boden des ländlichen Geländes

Wahrscheinlichkeit der Überschreitung pro Jahr 0,02

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit und Standfestigkeit sollten deshalb die in den nationalen Windkarten angegebenen Windlasten eingesetzt werden.

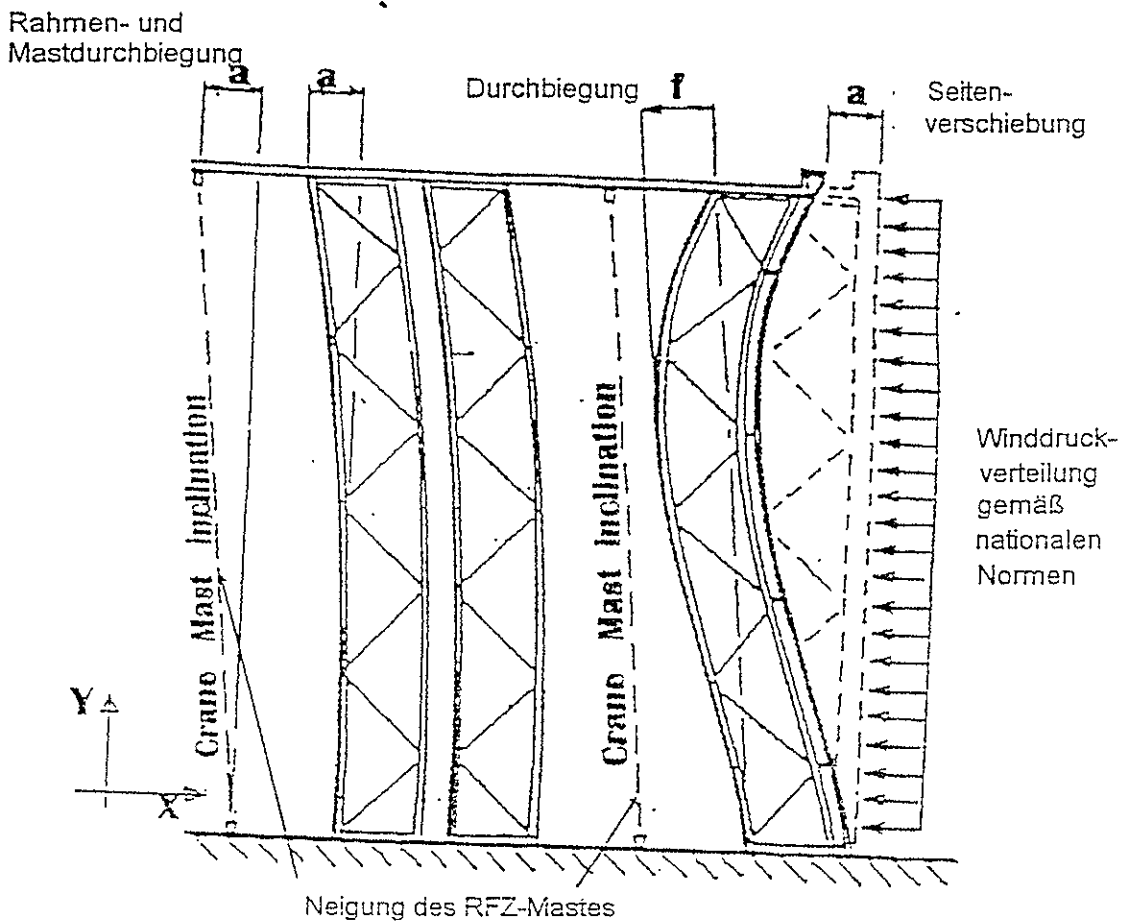
### 10.2 Funktionieren der RFZ

Bei der Beurteilung der wahrscheinlichen Wechselwirkung zwischen Regalen und RFZ können sich die Vertragsparteien auf der Annahme einer niedrigeren Windgeschwindigkeit als die in der nationalen Windkarte angegebene Geschwindigkeit einigen.

#### *Kommentar*

*Wenn nicht anders vereinbart, empfehlen FEM Sektion 9 und 10, daß die Bemessung der Toleranzen, Verformungen und Freiräume (TDC-Bemessung) auf 70% der Geschwindigkeit der nationalen Windkarte basieren sollte. Dadurch wird ermöglicht, daß der Lagerbetrieb beschränkt wird, durch Einrichtungen, die Windgeschwindigkeit und -richtung mißt, und diese Daten zur Lagersteuerzentrale überträgt.*

*Diese Empfehlung bezieht sich lediglich auf das Funktionieren des Systems und nicht auf etwaige sonstige gesetzliche Anforderungen für Tragfähigkeit oder Steifigkeit.*



Verformungen der Regalkonstruktion in der Z-Richtung durch Windlasten  
 ABBILDUNG 10.1

### 10.3 Windwirkungen

Luftbewegungen über und um ein Gebäude herum erzeugen sowohl positive als negative Druckkräfte auf Wände und Dach sowie Reibungswiderstand.

Weitere Informationen zur Behandlung dieser Aspekte befinden sich in Anhang A.

## 11. Montagetoleranz und lotrechte Stellung unter Belastung

Mit zunehmenden Lasten erhöhen sich die Verschiebungen von nichtausgesteiften oder schlanken, ausgesteiften Rahmen von der durch Montageimperfektionen (Toleranzen) verursachten Anfangsschiefstellung hinweg.

Bei Anwendung der TDC-Berechnung\* wird empfohlen, daß die Anfangsschiefstellung als  $0,75 \mathcal{E}_m$  angenommen wird. Darin ist  $\mathcal{E}_m$  der Wert in Radian der maximalen zulässigen Montageschiefstellung pro Stütze für die aus Tabelle B1 gewählte Regalklasse, oder ein kleinerer festgelegter Wert, falls dies erreicht werden kann.

\* (TDC-Berechnung : Toleranzen, Verformungen und Freiräume)

### *Kommentar*

*Mit dem Verminderungsfaktor 0,75 wird berücksichtigt, daß nicht jede Stütze bis zum maximum festgelegten Betrag außer Lot sein wird und die Stützen nicht alle in einer Richtung neigen.*

## 12. Berechnung von Verformungen unter Last (APR)

Berechnungen von Verformungen müssen unter Anwendung der normalen Regeln der Baumechanik durchgeführt werden.

Diese Berechnungen müssen bei der Berechnung der Verschiebungen unter Betriebslast die Effekte II. Ordnung sowie die Scherverformungen von ausgesteiften Rahmen berücksichtigen. Vgl. FEM 10.2.02.

## 13. Elastische Verkürzung der Rahmen in Y-Richtung

Unterhalb der Elastizitätsgrenze des Stahls hält sich das elastische Zusammendrücken von Stützen unter Last gemäß dem Hookeschen Gesetz .

Die Y-Achse-Verschiebung einer jeden Balkenebene richtet sich nach der Summe der Druckverformung in den einzelnen Stützenstücken zwischen den Balkenebenen unterhalb der betrachteten Balkenebene. Siehe Abbildung 13.1

$$\Delta y_i = \sum \frac{P_i (y - y_{i-1})}{A_i E}$$

Darin sind:

$Dy_i$  = Gesamtverkürzung einer Stütze unter Druck am Ebene i

$P_i$  = Teillast in Balkenebene i

$y_i$  = Höhe der Ebene i über Fußplatte

$A_i$  = Querschnittsfläche der Stütze, als Konstant angenommen

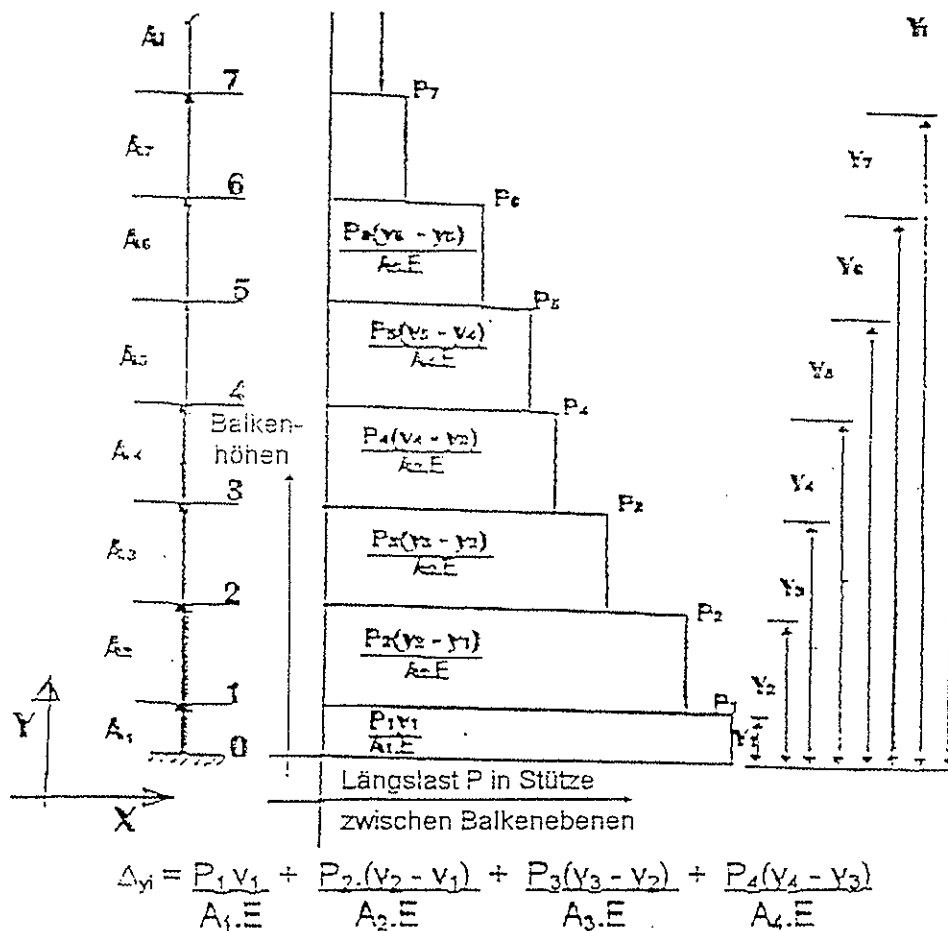
$E$  = Elastizitätsmodul für Stahl = 210.000 N/mm<sup>2</sup>

Kommentar

Die meisten Hersteller von Palettenregalen (APR) verwenden zur Fertigung ihrer kaltgewalzten Stützenprofile hochfeste Stähle. Dies bedeutet, daß die Längsspannung in der Stütze sehr viel höher sein kann als bei Stählen der normalen Qualität. Darum kann das elastische Zusammendrücken bei hochfesten Stählen bis zu zweimal so hoch sein.

TABELLE 13.1  
GEGENÜBERSTELLUNG DER FESTIGKEITSSPANNE VON NORMSTÄHLEN, DIE ZUM EINSATZ IN HOCHREGALANLAGEN ZUR VERFÜGUNG STEHEN

Euronorm EN 10027(1992)	Stahlqualität	Streckgrenze N/mm <sup>2</sup>	Streckgrenze-Verhältnis zu normalem Stahl S235
EN 1027	Normal S235	235	1,0
EN 1027	S355	355	1,5
EN 1027	S490	490	2.1



Elastische Verkürzung von Rahmen in Y-Richtung  
ABBILDUNG 13.1



## 14. Rahmenverformungen in X- und Z-Richtungen

### 14.1 Rahmenklassen 100 und 200

Die Anfangslotabweichungen der Rahmen nach der Montage wird sich unter der Wirkung von Schwerkraftlasten, RFZ-Kräften und Windlasten erhöhen.

**TABELLE 14.1**  
**ZULÄSSIGE VERFORMUNGEN BEZOGEN AUF DEN GRENZZUSTAND DER**  
**GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (LASTFAKTOR  $g = 1.0$ )**

Die Anforderungen von FEM 9.831: (1994) sind nachstehend für die Toleranzstufen Klasse 100 und Klasse 200 für RFZ wiedergegeben.

Rahmenhöhe (m)	Z-Verschiebung (mm) RFZ-Steuerung Typ A B C oder D	X-Verschiebung (mm) beim Einsatz von Europool-paletten 800 x 1200 Typ A oder D	X-Verschiebung (mm) beim Einsatz von Europool-Paletten 800 x 1200 Typ B oder C	X-Verschiebung (mm) Gabeleinfahr- öffnung mind. 260 Typ A B C oder D Siehe Abb. 8.2
15	15	12	10	12
20	20	16	10	16
25	25	20	10	20
30	30	20	10	24
35	35	20	10	28
40	40	20	10	32

Beschreibung der RFZ-Steuerungstypen A, B, C und D.

- A: manuelle Steuerung
- E: Teilautomatische oder vollautomatische Steuerung des Koordinaten Positionierungssystems
- C: Teilautomatische oder vollautomatische Steuerung mit Koordinaten-Positionierung und zusätzlicher Fach-Präzisionspositionierung (nur Y-Richtung)
- D: Teilautomatische oder vollautomatische Steuerung mit Koordinaten-Positionierung und zusätzlicher Fach-Präzisionspositionierung (X- und Y-Richtungen)

Hinweis: Die Z-Verschiebung wird so berechnet, daß die Wirkung von nur einem RFZ berücksichtigt wird, siehe 9.1

### Rahmenklasse 100

Für Steuerungssystem B (kleine Toleranzwerte)

Zur Anwendung in Zusammenhang mit Ein- und Auslagerungsgeräten ohne Positionierungshilfe am Lagerplatz. Gewöhnlich für Regalsysteme von niedriger Höhe bis Mittelhöhe (ca. 20 m).

### Rahmenklasse 200

Für Steuerungssysteme A, C und D (große Toleranzwerte)

Zur Anwendung in Zusammenhang mit Ein- und Auslagerungsgeräten mit Positionierungshilfe am Lagerplatz bzw. mit manuell gesteuerten Geräten.

### Kommentar

*Im Falle von automatischen Systemen sollte eine Berechnung von der für die Auslegung des Systems zuständigen Person zur Ermittlung der notwendigen Freiräume durchgeführt werden. Daraus kann eine Entscheidung zur Bestimmung der Klassifizierung und Steuerungsmodus gefällt werden.*

*Die obigen Betrachtungen beziehen sich hauptsächlich auf Regalkonstruktionen für eine Palette in der Tiefe. Für andere Regaltypen sollten entsprechende Anpassungen durchgeführt werden.*

### 14.2 Regalklassen 300A & B und 400

Die Verschiebungsbegrenzung für Regale der Klassen 300A & B und Klasse 400 basiert auf FEM-Dokument 10.2.02, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Diese aufgrund von angelegten Lasten entstehenden zulässigen Verschiebungs- (Bewegungs-) Verformung der Regalstützen in der X- oder Z-Richtung darf 1/200 der Regalhöhe nicht überschreiten. Dies bezieht sich auf die Höhe des unbelasteten Regals nach Abschluß der Montage.

## 15. Balkenverformung

### 15.1 Balken in Y-Richtung

Die Grenzverformungen der einzelnen Balken unter Belastung sind in Tabelle 8.1 für die vier Regalklassen angegeben.

Diese krümmenden und durchhängenden (+dy, -dy) Wirkungen sind in Abbildung B2 von Anhang B dargestellt.

## 16. Herstellungs- und Montagetoleranzen (APR)

Die Tabellen in Anhang B zeigen die maximal zulässigen Toleranzen für Palettenregale mit verstellbaren Balken (APR) nach der Montage. Sie beziehen sich auf die Regale in unbelastetem Zustand für die in Punkt 6 festgelegten Klassen.

Um enge Montagetoleranzen zu erzielen, müssen die Baustellenbedingungen gut sein.

Diese Bedingungen sind normalerweise gegeben, wenn APR-Palettenregale in einem fertiggestellten Gebäude errichtet werden. Auf neuen Baustellen können die herrschenden Bedingungen alles andere als ideal sein. Besondere Vorkehrungen müssen beim Aufreißen und bei der Kontrolle der erzielten Genauigkeit genommen werden, wenn die Umgebung mit Eis, Nässe, Schlamm, Wind oder Dunkelheit versehen ist.

Falls die Baustelle nicht gegen die Einwirkung von Wind geschützt ist, kann eine provisorische Aussteifung notwendig sein. Falls die Baustelle dunkel ist, können zusätzliche Beleuchtung bzw. Sondereinrichtungen erforderlich sein.

Niedrige Temperaturen können auch den Einsatz von Vergußmörtel und Verbundanker behindern.

## 17. Stapler für den Einsatz in APR-Palettenregalen mit sehr schmalen Gängen

### 17.1 Mann oben- und Mann unten-Stapler

Ein "Mann oben"-Stapler ist mit einem Fahrersitz ausgestattet, der zusammen mit der auf der Gabel befindlichen Last gehoben und gesenkt wird.

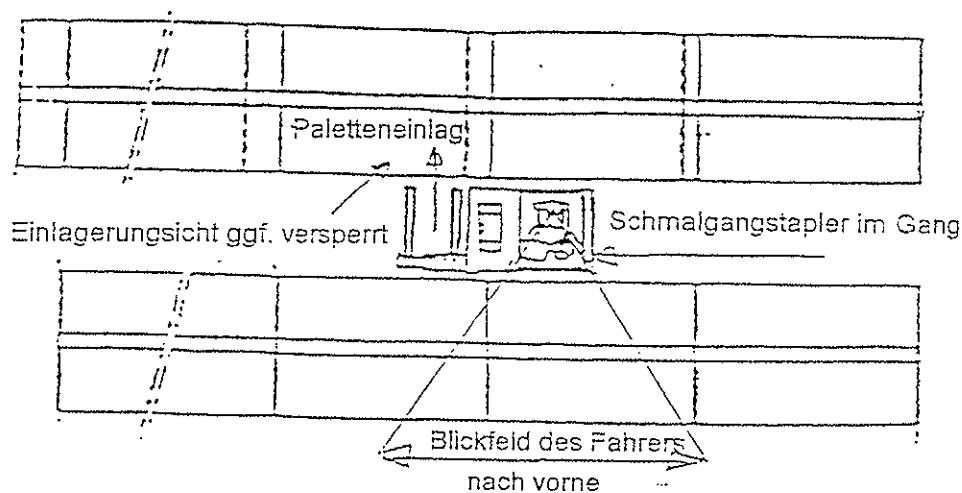
Bei einem "Mann unten"-Stapler sitzt der Fahrer in einem Fahrersitz am Fuße des Mastes und bewegt sich nicht mit der Last auf der Gabel nach oben und unten.

#### 17.1.1 "Mann-unten"-Stapler Klasse 300B

Ohne einen hebbaren Fahrersitz gestaltet sich die Arbeit des Fahrers schwieriger, insbesondere bei Hochregalen. Ein- und Auslagerungen in den oberen Palettenebenen kann mit dem Einsatz eines \*CCTV-Monitor zur Kontrolle der Genauigkeit des Vorgangs leichter gemacht werden. Wenn der Fahrer in Gangquerrichtung sitzt, befindet sich eine Regalzeile hinter ihm, was bei der Überwachung der Vorgänge zur Übermüdung führt. Der Stapler kann auch mit einer Gabelpositionierungsvorrichtungen ausgestattet werden. Dies erfordert, daß das Regal sowohl mit einem höheren Genauigkeitsgrad der Balkenebenen als auch mit strengeren Anforderungen auf die Balkendurchbiegung errichtet werden muß.

Demzufolge fallen Regale mit sehr schmalen Gängen in Zusammenhang mit "Mann unten"-Staplern ohne \*CCTV-Monitoren in die Klasse 300B.

\*CCTV: Kurzschlußfernsehen)



Blickfeld des Fahrers eines Staplers für sehr schmale Gänge  
ABBILDUNG 17.1

#### 17.1.2 "Mann-oben"-Stapler Klasse 300A

Der Fahrer eines mit hebbarem Fahrersitz ausgestatteten Staplers bekommt eine sehr gute Sicht über die Ein- und Auslagerungsspiele des Staplers.

Demzufolge fallen Regale mit sehr schmalen Gängen in Zusammenhang mit "Mann oben"-Staplern in die Klasse 300A.