FEDERATION EUROPEENNE DE LA MANUTENTION
Sektion IX
REGALBEDIENGERÄTE

FEM
9.831

Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte
Toleranzen, Verformungen und Freimaße im Hochregallager

02.1995 (D)

Zweite Ausgabe (D)

Originalfassung

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Vorbemerkung und Zielsetzung	2
2	Geltungsbereich	2
3	Definitionen	3
4	Einflußgrößen	3
4.1	Bodenplatte	3
4.2	Fahrschiene	4
4.3	Führungsschiene	5
4.4	Ladeeinheit	6
4.4.1	Ladehilfsmittel	6
4.4.2	Ladung	7
4.5	Profilkontrolle	7
4.6	Bereitstellplatz	7
4.7	Regalbediengerät	7
4.7.1	Systemtoleranzen aus dem Regalbediengerät	7
4.7.2	Elastische Verformungen	7
4.7.3	Positioniertoleranzen	7
4.7.4	Toleranzen der Positioniermarken	8
4.7.5	Hinweise	8
4.8	Regalkonstruktion	8
4.8.1	Herstellungs- und Montagetoleranzen in unbelastetem Zustand	10
4.8.2	Verformung durch äußere Kräfte	10
4.8.3	Verformung aus Nutzlasten	12
4.8.4	Zusätzliche Verformungen wegen Schiefstellung	13
4.8.5	Zulässige Verformungen	13
5	Freimaße	14
5.1	Einfahrmaße	14
5.2	Fachfreimaße	15
5.3	Gangfreimaße	16
5.4	Besondere Störkanten	16
6	Kontrollrechnung	17
6.1	Zusammenfassung der Einflußfaktoren auf die Freimaße	17
6.2	Zusammenhänge	18
6.3	Rechenverfahren	19
Anhang		20
Berechnungsbeispiele		21

Fortsetzung Seite 2 bis 28

Copyright by FEM Sektion IX
Erhältlich in deutsch (D), englisch (E), französisch (F)
Bezugsquellen siehe Rückseite

1 Vorbemerkung und Zielsetzung

Regalbediengeräte bilden mit den übrigen Komponenten des Hochregallagers eine Funktionseinheit, deren Bestandteile Toleranzen aus Herstellung, Montage und Verformungen aus Betrieb unterworfen sind.

Aufgabe der Regalbediengeräte ist es, Ladeeinheiten an frei zu wählenden Lagerplätzen störungsfrei ein- und auszulagern. Bei zu geringen Freimaßen ist die Funktionssicherheit des Hochregallagers gefährdet oder überhaupt nicht gewährleistet. Andererseits wird bei zu großen Freimaßen nutzbares Lagervolumen verschenkt.

Die Zielsetzung dieses Dokumentes liegt darin, daß die für die Optimierung eines Hochregallagers zulässigen Verformungen und Toleranzen so festgelegt werden, daß der Wirtschaftlichkeit bei Dimensionierung, Fertigung und Montage sowie der Funktionssicherheit Rechnung getragen wird. Toleranzen und gegebenenfalls Verformungen ergeben sich bei folgenden Funktionsbestandteilen eines Hochregallagers:

- Bodenplatte
- Fahrschiene
- Führungsschiene
- Ladeeinheit
- Profilkontrolle
- Bereitstellplatz (Zentrierung)
- Regalbediengerät
- Regalkonstruktion

Diese Einflußgrößen werden im folgenden untersucht und weitgehend zahlenmäßig dargestellt. Über die Verformung der Bodenplatte sind keine allgemein gültigen Zahlenangaben möglich. Die endgültigen Freimaße können erst festgelegt werden, wenn alle Lieferanten von Systemkomponenten bestimmt sind.

Damit anlagebezogen die Funktion des Systems gewährleistet werden kann, muß vorerst das Konzept des Regalbediengerätes (z.B. Steuerungsart, Verformungs-Steifigkeit etc.) und die entsprechende Regalklasse bestimmt werden. Aufgrund der in diesem Dokument quantifizierten Toleranzen und Verformungen sowie den beizufügenden, individuellen Werten für Toleranzen, Verschleiß und Verformungen des Regalbediengerätes, können Berechnungen für Freimaße erstellt werden. Je nach Risikobeurteilung können die endgültigen Freimaße aus den erhaltenen Werten mittels der Worst-case-Berechnungsmethode festgelegt werden.

Grundsätzlich kann im konkreten Einzelfall von allen im folgenden genannten Zahlen aus technischen und wirtschaftlichen Erwägungen abgewichen werden, wenn die Gebrauchsfähigkeit des Gesamtsystems erhalten bleibt. Jedoch müssen dann stets klare Vereinbarungen erfolgen, um einen wesentlichen Zweck dieser Berechnungsgrundlage - Klärung der Schnittstellen zwischen den Komponenten eines Hochregallagers - nicht in Frage zu stellen.

2 Geltungsbereich

Diese Berechnungsgrundlage gilt für Hochregallager mit Regalbediengeräten, die auf einer Fahrschiene fahren, durch eine obere Führungsschiene gestützt werden, mit einem mechanischen Lastaufnahmemittel - insbesondere Teleskopgabel - ausgerüstet und für den Umschlag von Paletten oder vergleichbaren Ladehilfsmitteln, z.B. Gitterboxen geeignet sind. Sie berücksichtigt Regalanlagen in Stahlausführung sowohl in Silobauweise als auch bei freistehenden Regalen. Im Rahmen dieser Berechnungsgrundlage werden die Einflüsse von Toleranzen und Verformungen auf Einfahr- und Fachfreimaße im Zusammenhang mit der Steuerungsart der Regalbediengeräte untersucht, und zwar bei:

A: Manueller Steuerung
B: Teil- oder vollautomatischer Steuerung mit Koordinatenpositionierung
C: Teil- oder vollautomatischer Steuerung mit Koordinatenpositionierung und zusätzlicher Fachfeinpositionierung nur in y-Richtung
D: Teil- oder vollautomatischer Steuerung mit Koordinatenpositionierung und zusätzlicher Fachfeinpositionierung in x- und y-Richtung

Die Empfehlungen gelten unter anderem nicht für automatische Kleinteilelager (AKL) sowie Kompaktlager. Sinngemäß können jedoch die hier aufgezeigte Struktur und Berechnungsgrundlage angewendet werden.

3 Definitionen

Toleranzen sind zulässige Maximalabweichungen von Sollmaßen, resultierend aus Herstellung, Montage und Verschleiß.

Verformungen sind Abweichungen aus der Grundposition infolge Krafteinflüsse.

Freimaße sind erforderliche Nennabstände zwischen festen und beweglichen Teilen, die unter Berücksichtigung aller Einzeltoleranzen und Verformungen eine Kollision verhindern.

Einfahrmaße sind Freimaße zwischen Ladehilfsmittel und Lastaufnahmemittel.

Fachfreimaße sind Freimaße zwischen Ladeeinheiten untereinander und zur Regalkonstruktion.

Gangfreimaße sind Freimaße zwischen der äußersten Kante des Regalbediengerätes zur äußersten Störkante des Regals (Palette oder Regalkonstruktion) sowie die Freimaße auf der Rückseite der eingelagerten Paletten.

Systemachsen:

x = Ganglängsrichtung
y = vertikale Richtung
z = Gangquerrichtung

4 Einflußgrößen

VORBEMERKUNG: Für sämtliche Gewerke sind ein gemeinsames Höhenniveau sowie gemeinsame horizontale Achsen festzulegen und in der Regel vom Bauverantwortlichen durch Meßmarken als Referenzpunkte dauerhaft anzubringen. Aufgrund dieser Meßmarken werden die Systemebenen festgelegt (siehe Bild 3).

4.1 Bodenplatte

4.1.1 Herstelltoleranz, d.h. Ebenheit der Fläche, auf der die Regalkonstruktion und die Fahrschiene montiert werden. Folgende Werte sind im unbelasteten Zustand der Bodenplatte einzuhalten:

Ebenheit, bezogen auf eine horizontale Systemebene bei einer Plattenlänge

bis 50 m ± 10 mm
bis 150 m ± 15 mm
über 150 m ± 20 mm

4.1.2 Vertikalverformungen der Bodenplatte unter Belastung. Aus diesen Verformungen, z.B. Anpassung der Bodenplatte an die Setzungsmulde, Setzungen von Pfählen, Stützen etc., Durchbiegung von Biegeplatten, ergeben sich Zusatzbeanspruchungen und Schiefstellungen der Regalkonstruktion, auf die hier nur qualitativ hingewiesen werden kann.

Bei bestimmten geologischen Situationen müssen jedoch so große Verformungen erwartet werden (oft im cm-Bereich), daß sie zur Beurteilung der Toleranzen und der Zusatzbeanspruchungen bei der Planung mit herangezogen werden müssen.

Alle hier folgenden Betrachtungen gehen von einer quasi steifen Bodenplatte aus. Dies ist normalerweise der Fall, wenn die Bodenplatte während der Betriebsdauer keinen größeren lokalen Winkelverdrehungen als $\tan\alpha = 5 \cdot 10^{-4}$ aufweist. Eine Quantifizierung muß im Einzelfall durchgeführt und bei größeren Werten müssen diese gegebenenfalls zusätzlich berücksichtigt werden.

4.2 Fahrschiene

4.2.1 Toleranzen in horizontaler Z-Richtung, bezogen auf eine toleranzfreie, vertikale Systemebene:

Meßlänge = gesamte Schienenlänge ± 3,0 mm
Meßlänge = Radstand des Regalbediengerätes ± 1,5 mm

Unterschiedliche Abmessungen der Laufflächen der Seitenführungen werden im Stoßbereich beigeschliffen, Ebenheit der Schiene und Stöße bei einer Meßlänge von 200 mm ≤ 0,5 mm.

4.2.2 Toleranzen von H_2 (Bild 3) in vertikaler Richtung, bezogen auf eine toleranzfreie, horizontale Systemebene:

Meßlänge	< 100 m	± 2,0 mm
	≥ 100 m	± 3,0 mm

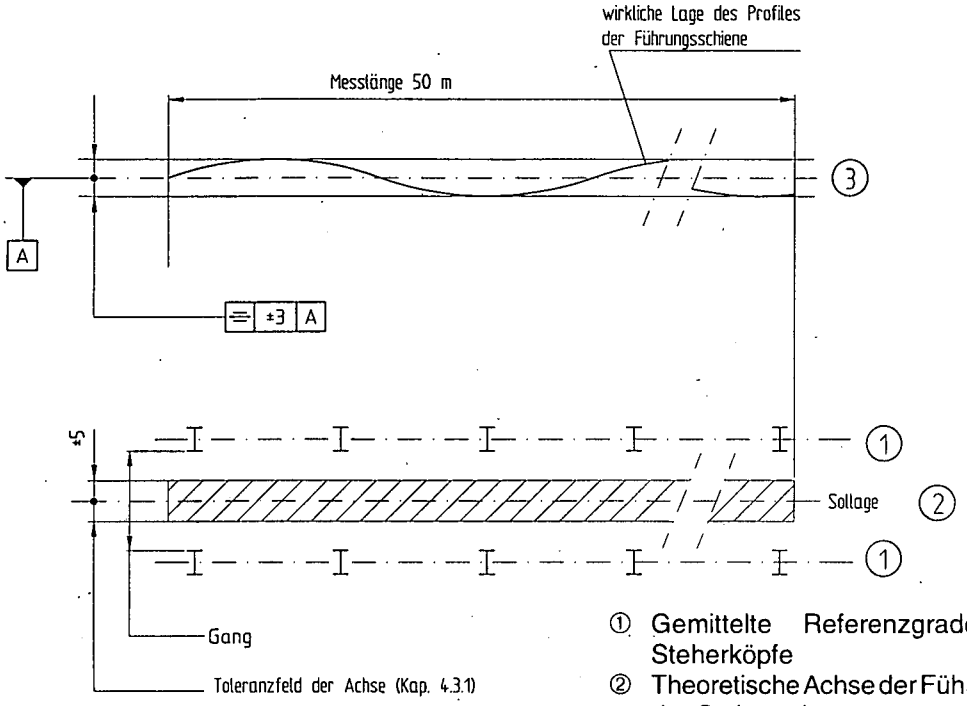
Meßlänge = Radstand des Regalbediengerätes ± 0,5 mm

Unterschiedliche Abmessungen der Schienenköpfe werden im Stoßbereich beigeschliffen, Ebenheit der Schiene und Stöße bei einer Meßlänge von 100 mm ≤ 0,1 mm.

4.2.3 Die Fahreigenschaften des Regalbediengerätes werden von der Rauhigkeit der Schiene im Bereich der Laufflächen und Seitenführungen beeinflußt. Die Oberflächenbeschaffenheit muß in diesem Bereich eben, d.h. ohne Grübchen (Rostnester, Walzlöcher) sein.

4.2.4 Die Dimensionierung und die Festlegung der Ausführungsart der Fahrschiene und deren Verankerung obliegt dem Gerätehersteller in Verbindung mit dem Schienenverleger und dem verantwortlichen Ingenieur der Bodenplatte.

4.3 Führungsschiene



① Gemittelte Referenzgrade der gangseitigen Steherköpfe
② Theoretische Achse der Führungsschiene bezüglich der Steherachsen
③ Wirkliche Achse der Führungsschiene. Diese Achse muß innerhalb des Toleranzfeldes von ± 5 mm gegenüber Sollage ② liegen.

Hinweis: Zwei mögliche, zulässige Extremsituationen

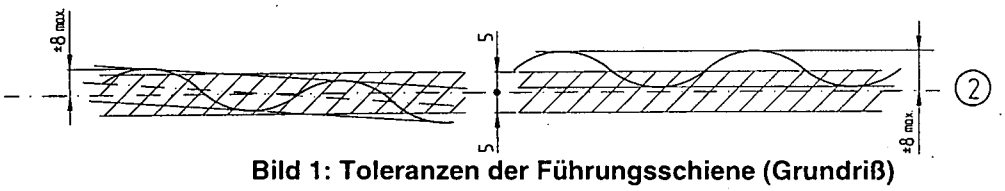


Bild 1: Toleranzen der Führungsschiene (Grundriß)

4.3.1 Die Toleranz der Längsachse der Führungsschiene darf zwischen den gangseitigen Steherköpfen gegenüber der gemittelten Geraden auf eine Meßlänge von 50 m ±5 mm nicht überschreiten, siehe Bild 1.

4.3.2 Die horizontale Abweichung der Führungsschiene von ihrer Längsachse darf in unbelastetem Zustand ± 3 mm nicht überschreiten, siehe Bild 1.

4.3.3 Unterschiedliche Abmessungen beim Stoß sind im Laufbereich der Rollen (Führungsrollen, Kabelwagenrollen) beizuschleifen, Ebenheit bei einer Meßlänge von 200 mm ≤ 0,5 mm.

4.3.4 Im Laufrollenbereich dürfen keine Walzaufschriften vorhanden sein.

4.3.5 Die maximale seitliche Verformung (Durchbiegung und Verdrillung) im Bereich der Führungsrollen darf aus horizontaler Belastung bei ausgefahrenem Lastaufnahmemittel und maximaler Last 6 mm nicht überschreiten.

4.3.6 Die Unterkante der Führungsschiene darf gegenüber einer toleranzfreien horizontalen Systemebene im unbelasteten Zustand des Regals das Toleranzfeld H_3 + 10 / - 5 mm nicht überschreiten, Bild 3.

4.3.7 Zusätzlich zu berücksichtigen sind die vertikalen Verformungen aus Lasten, wie z.B. Regalbelastung (Stützenstauchung), Schneelasten.

4.3.8 Die Dimensionierung sowie die Festlegung der Befestigungsart obliegt dem Gerätehersteller in Absprache mit dem Schienenverleger (z.B. Regalhersteller).

4.4 Ladeeinheit

4.4.1 Ladehilfsmittel

Die Herstelltoleranzen sind für genormte Ladehilfsmittel den entsprechenden Normen zu entnehmen. Bei nicht genormten Ladehilfsmitteln sind sie in Abstimmung mit den Herstellern festzulegen.

Bei Ladehilfsmitteln aus Holz ist Schwinden wegen Austrocknung zusätzlich zu den Herstelltoleranzen zu berücksichtigen.

Die Gebrauchsfähigkeit von beladenen Euro-Pool-Holzpaletten, abgestellt auf eine steife Ebene, muß mit den im Bild 2 dargestellten Toleranzen gewährleistet sein.

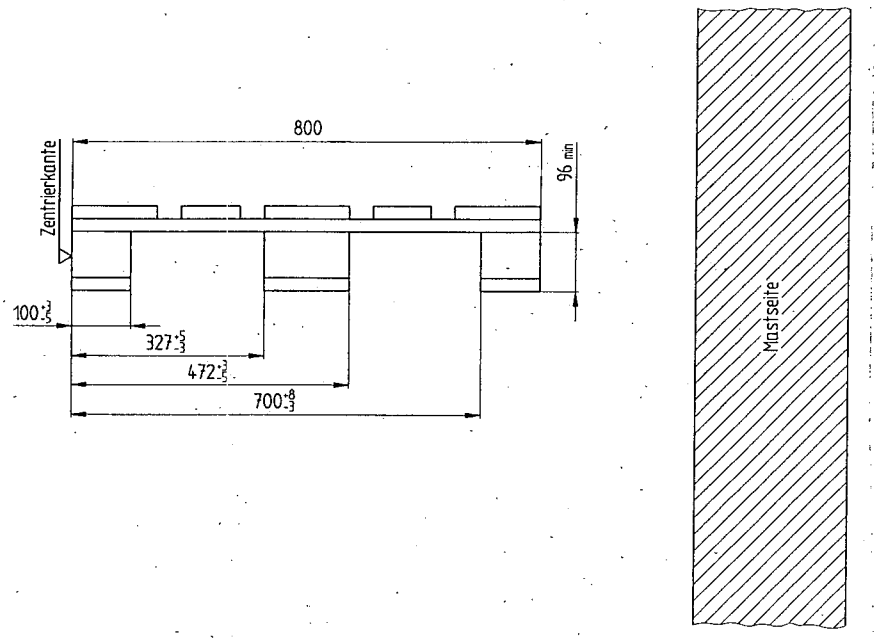


Bild 2: Toleranzen von beladenen Euro-Pool-Holzpaletten

Ladehilfsmittel können sich auch noch nach dem Passieren der Profilkontrolle elastisch und/oder plastisch verformen und somit die Einfahrmaße wesentlich beeinflussen. Diese Verformung kann über längere Lagerdauer zunehmen. Die Größe der Verformung ist abhängig von der aufgebrachten Last, der stabilisierenden Wirkung der Beladung, dem Auflagerabstand und der Beschaffenheit des Ladehilfsmittels (z.B. Feuchtigkeit von Holz).

Sofern über die Durchbiegung der Ladehilfsmittel keine Angaben vorliegen, sind bis zu 6 mm[1)] im Bereich des Lastaufnahmemittels, bezogen auf die Riegeloberkante, zulässig.

Die in der Praxis festgestellten IST-Maße der Euro-Pool-Palette (800 x 1200 mm) sind im Bereich der Gabeleinfahrtaschen besonders zu beachten, da die Einfahrfreimaße insbesondere bei Lastgabeln für hohe Gewichte sehr eingeengt sind. Die zulässigen Toleranzen der relevanten Störkanten sind im Bild 2 dargestellt.

---

1) Erfahrungswert für einwandfreie Europaletten 800 x 1200 mm aus Holz bei 1000 kg Flächenlast, unter Berücksichtigung der Stützwirkung der Nutzlast, 900 mm Stützweite (= Riegelabstand), Verweildauer im Lager und Holzfeuchte.

4.4.2 Ladung

Die maximalen Abmessungen der Ladung sind festzulegen unter Berücksichtigung folgender Kriterien:

- Schiefer Stapelung
- Überstände der Ladungssicherung (z.B. Falten der Umhüllungsfolien, Umreifungsbänder und Verschlüsse usw.)
- Verformung der Ladung während der Ein- und Auslagerung
- Verformung der Ladung während der Lagerung
- Symmetrie der Ladung

Gegebenenfalls sind zur Feststellung der Maße Versuche notwendig.

4.5 Profilkontrolle

Bei der Prüfung einer Ladeeinheit mittels Lichtschranken sind die Maße der Ladeeinheit mit einer Toleranz von ± 5 mm meßbar. Dieser Wert kann sich bei anderen Prüfverfahren ändern.

Eine Profilkontrolle erübrigt sich bei manueller Steuerung; sie ist jedoch für automatisch gesteuerte Regalbediengeräte sowohl für das Lichtraumprofil des Lastaufnahmemittels wie für die Ladung selbst unbedingt erforderlich.

4.6 Bereitstellplatz

Am Einlagerungs-Bereitstellplatz wird die Ladeeinheit mit einer Toleranz in x- und z-Richtung von ± 5 mm, bezogen auf ihre Sollage, bereitgestellt.

Bei automatischen Förderanlagen mit festen Endanschlägen kann in x-Richtung eine Bereitstelltoleranz von ± 2 mm erreicht werden.

4.7 Regalbediengerät

Aus der Summe der in den folgenden Abschnitten 4.7.1 bis 4.7.3 genannten Einflüssen ergibt sich an der Spitze des ausgefahrenen Lastaufnahmemittels ein Toleranzfeld mit meist unterschiedlichen Abmessungen in x-, y- und z-Richtung. Wegen oft beträchtlicher Unterschiede zwischen den Regalbediengeräten verschiedener Hersteller in Abmessungen, Steifigkeit und sonstigen konstruktiven Merkmalen sind hier keine allgemein gültigen Zahlenangaben möglich. Diese werden im Einzelfall durch den Gerätehersteller gemacht. Dafür hat der Gerätehersteller und/oder der Systemverantwortliche unter Zugrundelegung dieser Richtlinie die Gesamttoleranzen so zu überprüfen, daß die Funktion des Systems gewährleistet ist.

Im Berechnungsbeispiel (siehe Anhang) sind die genannten Regalbediengerät-Toleranzen nur beispielhaft, um damit die Auswirkungen auf das Gesamtsystem aufzuzeigen.

4.7.1 Systemtoleranzen aus dem Regalbediengerät

Die Freimaße werden beeinflußt z.B. durch:

- Toleranzen des Mastes und/oder der Führungen für den Hubwagen am Mast
- Führungsspiel des Hubwagens
- Abweichungen des Lastaufnahmemittels von der achsengerechten Lage
- Spiel in z-Richtung zwischen den Spur- und Führungsrollen gegenüber der Fahr- respektive Führungsschiene
- Mechanische Abnutzung

4.7.2 Elastische Verformungen

Beim Aufnehmen und Abgeben der Ladeeinheit treten Lastwechselverformungen auf, die für Einfahr- und Fachfreimaße von Bedeutung sind. Sie treten u.a. auf bei Mast, Hubwagen und Lastaufnahmemittel.

4.7.3 Positioniertoleranzen

Die Positioniergenauigkeiten in x-, y- und z-Richtung sind z.B. von folgenden Einflußgrößen abhängig:

- Positioniersystem und Motorsteuerung
- Positioniergeschwindigkeit
- Verzögerungszeit der Steuerung
- Einfallzeit der Bremse

- Unterschiedliche Bremswege aus Verschleiß, Temperatur und Reibwertänderungen
- Spiel in den Antrieben
- Einseitiges oder wechselseitiges Anfahren der Haltepunkte
- Schaltgenauigkeit (z.B. Hysterese) der Positioniersensoren (Schalter, Lichtschranken, Initiatoren)
- Abweichung eines Inkrementalgebersystems vom absoluten Maß

4.7.4 Toleranzen der Positioniermarken

Positioniermarken (Schaltnocken, Reflexfolien, induktive Schaltfahnen usw.) sind mit einer Toleranz von ± 1 mm, bezogen auf ihre Sollage, anzubringen. Die Sollage richtet sich nach den realen Maßen des Regals.

4.7.5 Hinweise

Hinweis 1: Die kritische Einfahrt der Teleskopgabeln in die Gabeltaschen des Ladehilfsmittels kann durch obere und seitliche Anschrägungen der Gabelspitzen gemildert werden.

Hinweis 2: (gilt insbesondere für Steuerungsart B)
Beim Setzen der Höhenpositionsmarken am RBG-Mast soll sich die Lage der Marke an der Höhe des ausgefahrenen Lastaufnahmittels, bezogen auf die Fachebene, orientieren. Damit sind die Herstelltoleranzen am Regalbediengerät kompensiert, nicht jedoch die elastischen Verformungen.

Hinweis 3: (besonders wichtig bei Pool-Paletten 800 x 1200 mm respektive Einfahrtaschen von ≤ 230 mm Breite)
Die Lastwechselverformung kann in der Berechnung der Einfahrmasse halbiert werden, wenn die Palette bei der Aufnahmestelle zur Einlagerung um die halbe Lastwechselverformung versetzt aufgenommen wird (Palette in Richtung Mast verschoben, bzw. das Maß x_2 entsprechend erhöhen), siehe Bild 5.

Hinweis 4: Die Sollage der in Bodennähe plazierten Positioniermarken in x-Richtung sollte sich am obersten Regalfach orientieren. Dadurch kann die Montagetoleranz des Regals teilweise mit der Lastwechsel-Verformung des Regalbediengerätes kompensiert werden.

4.8 Regalkonstruktion

Die Toleranzen und Verformungen des Regals beeinflussen die Funktionssicherheit. Die zulässigen Werte sind zum Teil abhängig von den im Abschnitt 2 (Geltungsbereich) beschriebenen 4 Steuerungsarten, von den Abmessungen des Lastaufnahmemittels und der Art des Ladehilfsmittels bzw. der Abmessungen der Gabeleinfahrtaschen. Einfachheitshalber werden für die Regalkonstruktion jedoch nur 2 Toleranzqualitäten festgelegt.

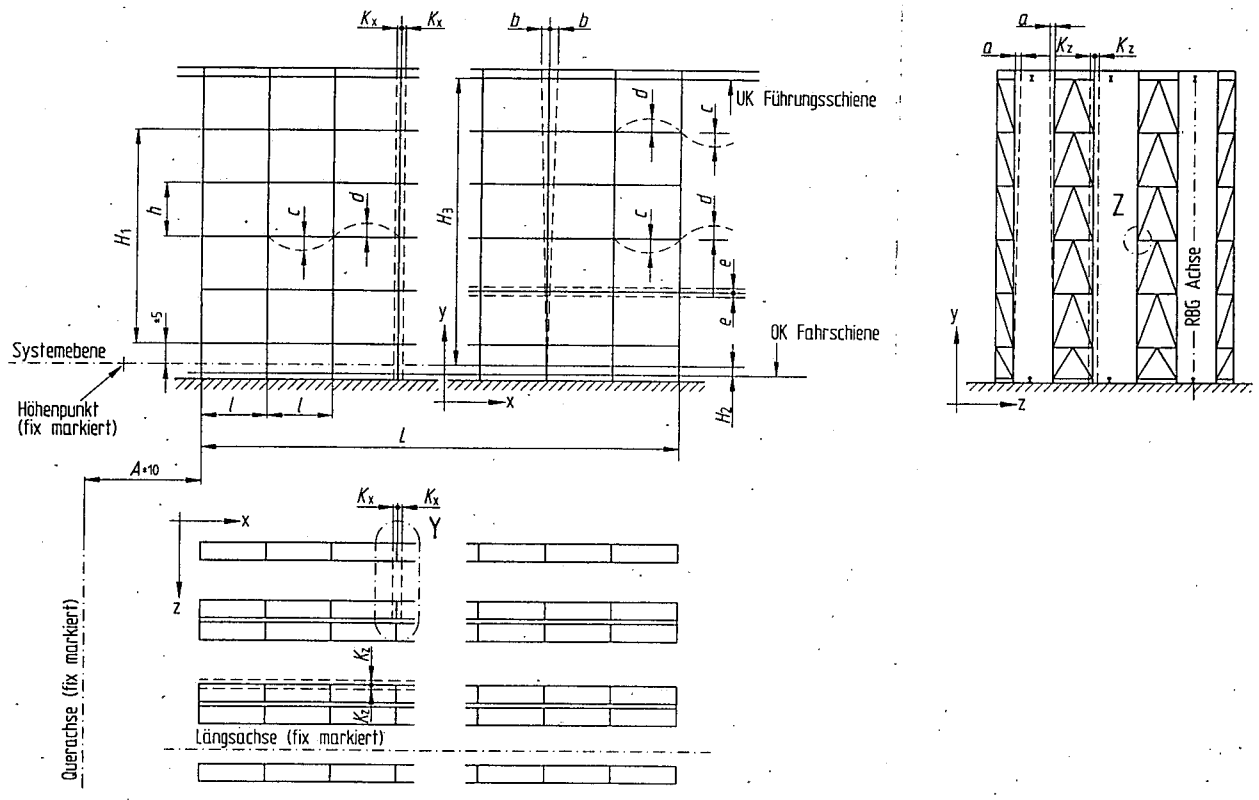
ANMERKUNG: Bei Verwendung von freistehenden Regalen (nicht gebäudetragend) kann unter Umständen auf Diagonalverbände in x-Richtung verzichtet werden. Die entsprechenden Auswirkungen auf Montagetoleranzen und Verformungen müssen in diesem Fall mit dem Systemverantwortlichen vertraglich abgestimmt werden.

Klasse 100: (Kleinere Toleranz- und Verformungswerte)
Für Steuerungsart B, für den Einsatz in Verbindung mit Regalbediengeräten ohne Positionierhilfen am Stellplatz und in der Regel bei Anlagen mit kleinen Palettengewichten und von niedrigen bis mittleren Bauhöhen (max. 18 m).

Klasse 200: (Größere Toleranz- und Verformungswerte)
Für Steuerungsarten A, C und D, für den Einsatz in Verbindung mit Regalbediengeräten mit Positionierhilfen am Stellplatz oder manuell gesteuerten Geräten.

Bei automatischen Anlagen muß nach einer Modellberechnung festgelegt werden, welche Regalklasse bzw. Steuerungsart gewählt werden soll.

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich insbesondere auf Regale mit Riegelauflagen (siehe Bild 3); für andere Regalarten sind sie im Einzelfall sinngemäß anzustellen.



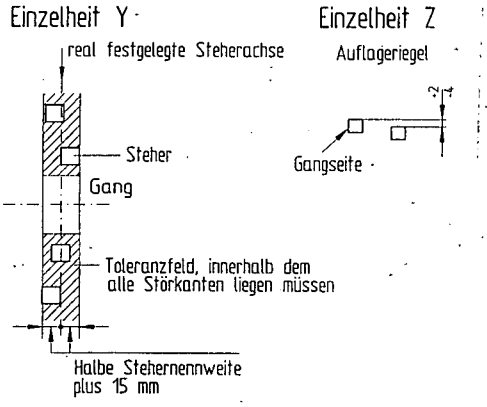


Bild 3: Regalanlage

4.8.1 Herstellungs- und Montagetoleranzen in unbelastetem Zustand

4.8.1.1 Maße in x-Richtung (für Klasse 100 und 200):
Das Toleranzfeld K_x gegenüberliegender Ständer, resultierend aus Versatz der Steherfüße, Schiefstellung, Vorkrümmung der Steher und Ständer darf auf der gesamten Höhe ± 15 mm nicht überschreiten (siehe Bild 3).

Die einzelne Feldlänge (Rasterteilung) l muß innerhalb einer Toleranz von ± 3 mm liegen.

Die vorderste Steherachse (Seite Ein-/Auslagerung) muß gegenüber der horizontalen Referenz-Querachse innerhalb einer Toleranz von ± 10 mm liegen.

Die Gesamtlänge (L) der Regalanlage darf bis 40 m Länge ± 20 mm und bei längeren Regalanlagen max. ± 0,5 ‰ vom Nennmaß abweichen.

Die einzelnen Steherachsen sind nach der Montage endgültig festzulegen. Dabei müssen jedoch die Toleranzen folgender Maße unabhängig auch eingehalten werden:

- Regalbeginn (Maß A, Bild 3)
- Feldlänge l
- Gesamtlänge L

4.8.1.2 Maße in z-Richtung (für Klasse 100 und 200):
Die gangseitigen Störkanten der Steher sowie der Riegel müssen innerhalb einer Toleranz von K_z = ± 15 mm gegenüber der vertikalen, toleranzfreien Gangebene (x-y) liegen. Mechanische Anschläge auf der Rückseite der Palette (Durchschubsicherungen) müssen gegenüber der Stehervorderkante mit einer Toleranz von ± 5 mm angebracht werden (siehe Bild 7).

4.8.1.3 Maße in y-Richtung:
Die Niveautoleranz aller gangseitigen Auflageriegel einer bestimmten Riegelebene in allen, von demselben Regalbediengerät bedienten Gang, muß innerhalb der folgenden Werte liegen:

Klasse 100: e = ± 5 mm
Klasse 200: e = ± 10 mm

Der Abstand (h) zweier benachbarter Riegelniveaus darf max. ± 5 mm vom Sollmaß abweichen.

Die Höhe (H_1) zwischen unterstem und oberstem Riegelniveau, die gemäß vorhandener Situation festgelegt wird, darf eine Summentoleranz von ± 0,5 ‰ der Höhe H_1 aufweisen.

Die Niveautoleranz des untersten Riegelniveaus gegenüber der horizontalen Systemebene beträgt ± 5 mm.

Die Oberkante des hinteren Auflageriegels sollte im Bereich eines Stellplatzes nicht höher, jedoch maximum 4 mm tiefer liegen als der vordere Riegel. Plustoleranzen bis + 2 mm sind zugelassen.

4.8.1.4 Bei Silobauten sind beim Meßvorgang Wind- und Temperatureinflüsse zu beachten.

4.8.2 Verformung durch äußere Kräfte

Äußere Kräfte wie z.B. Schneelasten, Reaktionskräfte von Regalbediengeräten, Temperatureinwirkungen und insbesondere Winddrücke führen zu verschiedenen Verformungen.

Bei Silobauten führen Windkräfte in z-Richtung zu kritischen Verformungen der Randregale. Ebenso können Windkräfte in x-Richtung am Lagerkopf kritische Auslenkungen erzeugen. Es ist auch zu beachten, daß die Richtung und die Größe der einzelnen Verformungen von der Windeinfallssrichtung sowie der Umgebung abhängig sind. Je nach Situation kann dies dazu führen, daß in den Grenzbereichen (äußere Regalzeile oder obere Lagerbereiche) der Betrieb durch folgende Einschränkungen belegt werden muß, damit die Gebrauchsfähigkeit erhalten werden kann:

- keine Umlagerungen
- Betriebseinstellung bestimmter Zonen ab einer zu definierenden Windgeschwindigkeit und Windrichtung (z.B. Außengang oder obere Lagerfächer)

ANMERKUNG: Ohne anderslautende Vereinbarungen oder gesetzlichen Vorschriften sollte die Gebrauchsfähigkeit (Funktionsfähigkeit) eines Lagers bis zu einer Windgeschwindigkeit von 70 % (Staudruck 50 %) der in nationalen Normen bezüglich Lastannahmen für Bauten angegebenen Werte in allen Lagerbereichen erhalten bleiben. Dieser reduzierte Wert entspricht einer Windgeschwindigkeit von ca. 80 - 100 km/h.

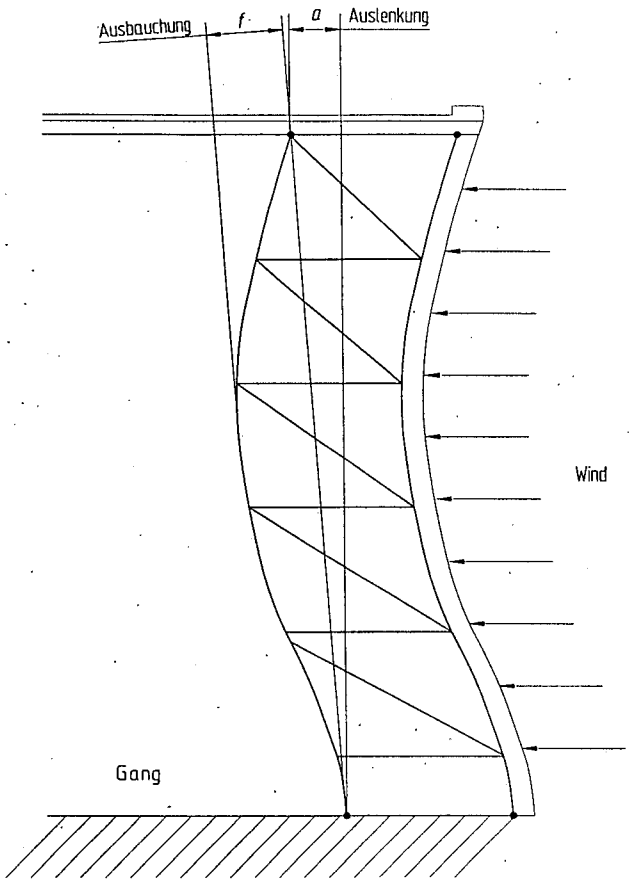


Bild 4 Verformung der Randregale unter Winddruck

Bild 4: Verformung der Randregale unter Winddruck

Bei seitlichem Winddruck auf das Randregal treten die im Bild 4 gezeigten Verformungen auf. Treten im Betriebszustand Stützenverformungen von f > 15 mm bezüglich der Geraden zwischen Stützenfuß und Stützenkopf auf, bedingen diese in der Regel eine Erhöhung der lichten Gangbreite zwischen den Ladungen. Ist die Förderanlage für die Paletteneinlagerung mit dem Randregal verbunden, ist die zusätzliche Verschiebung in z-Richtung bei der Übernahme zu beachten.

In einem Hochregallager in Silobauweise mit Verwendung von Euro-Pool-Paletten 800 x 1200 mm werden insbesondere die Einfahrmaße x_1 und x_2 im oberen Lagerbereich äußerst kritisch. Treten in diesem Fall Auslenkungen im Betriebszustand von mehr als ± 10 mm auf, sind vom Systemverantworlichen geeignete Maßnahmen zur Erhaltung der Gebrauchsfähigkeit festzulegen (z.B. Fachfeinpositionierung in x-Richtung oder Verstärkung der Längsverbände im Regal oder schmälere Lastgabeln). Sofern Ladehilfsmittel mit genügender Breite der Einfahrtaschen verwendet werden, darf die Auslenkung in x-Richtung aus Nutzlasten und äußeren Kräfte am Lagerkopf bei einer Windgeschwindigkeit gemäß obiger Vereinbarung die in Tabelle 1 aufgeführten Werte erreichen.

Tabelle 1: Zulässige Verformungen für den Nachweis der Gebrauchsfähigkeit (unter Berücksichtigung von z.B. einer Windgeschwindigkeit gemäß Kapitel 4.8.2, siehe auch Bild 3).Die Maße für Zwischenhöhen sind durch Interpolation abzuleiten.

Lagerhöhe (m)	Maß a (mm) in z-Richtung	Maß b (mm) in x-Richtung		
		Euro-Pool-Paletten 800 x 1200 mm		Ladehilfmittel mit mind. 260 mm breiten Gabeleinfahrtaschen
		Steuerungsarten A/D	B/C	Steuerungsarten A/B/C/D
bis 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

Für die Berechnung der wahrscheinlichen Auslenkungen in x-Richtung darf für den Gebrauchsfähigkeitsnachweis die stabilisierende Wirkung der Längsfassaden entsprechend ihrer Konstruktionsart berücksichtigt werden. Auf jeden Fall muß der Tragfähigkeitsnachweis jedoch entsprechend den landesüblichen Berechnungsmethoden und Lastannahmen erbracht werden.

Für Verformungen aus Erdbebenkräften oder Pufferstößen am Lagerkopf von Regalbediengeräten ist kein Gebrauchsfähigkeitsnachweis zu führen.

4.8.3 Verformung aus Nutzlasten

Durch die Belastung der Auflageriegel werden diese verformt und die Steher gestaucht. Daraus ergeben sich Verschiebungen insbesondere in y-Richtung nach unten. Die Auswirkungen der Stauchung der Steher nimmt nach oben kontinuierlich zu.

Die Auflageriegel verformen sich je nach Belastungsverteilung und Konstruktionsart (Einfeld- oder Mehrfeldriegel) verschiedenartig. Durchgehende Auflageriegel verformen sich bei ungünstigster Belastungsannahme gemäß Bild 3.

Die im Bereich der Gabelzinken zulässigen Durchbiegungen sind in Tabelle 2 aufgeführt. Vorrangig dürfen jedoch die zulässigen Biege- und Kippfestigkeiten der Profile nicht überschritten werden.

Tabelle 2: Maximale Verformung in mm von Auflageriegeln unter Last (im Bereich der Gabelzinken)

	Klasse 100		Klasse 200	
	c	d	c	d
Feldträger	$\frac{1}{300} \cdot l$ max. 10	max. 7	$\frac{1}{200} \cdot l$ max. 15	max. 9
Kragarmträger	Unter der Voraussetzung gleichen Profilquerschnittes ist bei Einplatz-Kragarmträgern die Durchbiegung kleiner als die des angrenzenden Dreiplatz-Trägers. Ist der angrenzende Träger nur für 2 Plätze ausgelegt, sind die Durchbiegungswerte des Kragarmträgers ca. 20 % größer als die des Feldträgers.			
c: Durchbiegung nach unten d: Aufbiegung nach oben l : Feldlänge (Achse - Achse)				

Mögliche maximale Überhöhungen unbelasteter Felder von durchlaufenden Riegeln sind bei der Einlagerung zu beachten. Bei der Auslagerung kann angenommen werden, daß die Überhöhung durch das Gewicht der Ladung und die Regalstauchung ausgeglichen ist.

4.8.4 Zusätzliche Verformungen wegen Schiefstellungen

Durch äußere Kräfte und/oder Montage treten Schiefstellungen auf, die ihrerseits zu zusätzlichen horizontalen Verformungen führen. Diese Verformungen "zweiter Ordnung" müssen bei der Auslegung der Regalanlage berücksichtigt werden.

4.8.5 Zulässige Verformungen

Die Größenordnungen der zulässigen Verformungen a und b (siehe Bild 3) sind für den Gebrauchsfähigkeitsnachweis (d.h. für Betriebszustände ohne extreme äußere Kräfte z.B. für Windgeschwindigkeiten gemäß Punkt 4.8.2) in der Tabelle 1 aufgeführt. Die Angaben gelten für Werte, gemessen am Steherkopf. Dabei müssen die Verformung aus den äußeren Kräften bis zur Gebrauchsgrenze der Anlage (Kap. 4.8.2), die Nutzlasten (Kap. 4.8.3) und die zusätzlichen Verformungen (Kap. 4.8.4) berücksichtigt werden.

Bei Verwendung der Euro-Pool-Palette sind unter Umständen (insbesondere bei Palettengewichten über 800 kg bzw. breiten Teleskopgabeln) detaillierte Betrachtungen für die Einfahrmaße x_1 und x_2 und entsprechende Maßnahmen nötig.

HINWEIS: Für Regalanlagen in Silobauweise sind bei Verwendung der Euro-Pool-Palette 800 x 1200 mm bei den Steuerungsarten B und C in der Regel besondere Maßnahmen für die Längsversteifung der Regalanlage notwendig (siehe Kap. 4.8.2 und Tabelle 1, Kolonne 4).

Im Falle von freistehenden Regalen kommt die vom Gewicht der gelagerten Waren verursachte waagerechte Verschiebung in nur einer Richtung vor, aufgrund von Lotimperfektionen. Die Verschiebung wird sich nicht umkehren wie im Falle des verkleideten Regals. Es ist deshalb möglich, das System nach der Einlagerung durch Einstellen der Regalbediengeräte-Positionierungsmarkierungen zu berichtigen.

ANMERKUNG: Regalanlage in Betonkonstruktion
In der Regel sind Beton-Hochregallager in der Längsrichtung wesentlich steifere Konstruktionen als Stahlbauten. Dies wirkt sich insbesondere auf die Verformungen aus äußeren Kräften und Nutzlasten aus (geringere Auslenkungen, praktisch keine Stauchung). Die Herstell- und Montagetoleranzen sind jedoch zum Teil wesentlich größer, wobei bei der Höhentoleranz der Plattenträger je nach Justier- und Montageverfahren (z.B. mittels Regalbediengerät) ebenfalls Toleranzwerte von ± 3 mm erreicht werden können. Zu beachten ist jedoch auch, daß die Feldlängen in der Regel größer gewählt werden und dadurch mehr Trägerdurchbiegung zugelassen werden muß. Eine detaillierte, interdisziplinäre Systembetrachtung ist zwingend nötig.

5 Freimaße

Alle Freimaße beziehen sich auf das toleranzfreie, unbelastete System.

5.1 Einfahrmaße

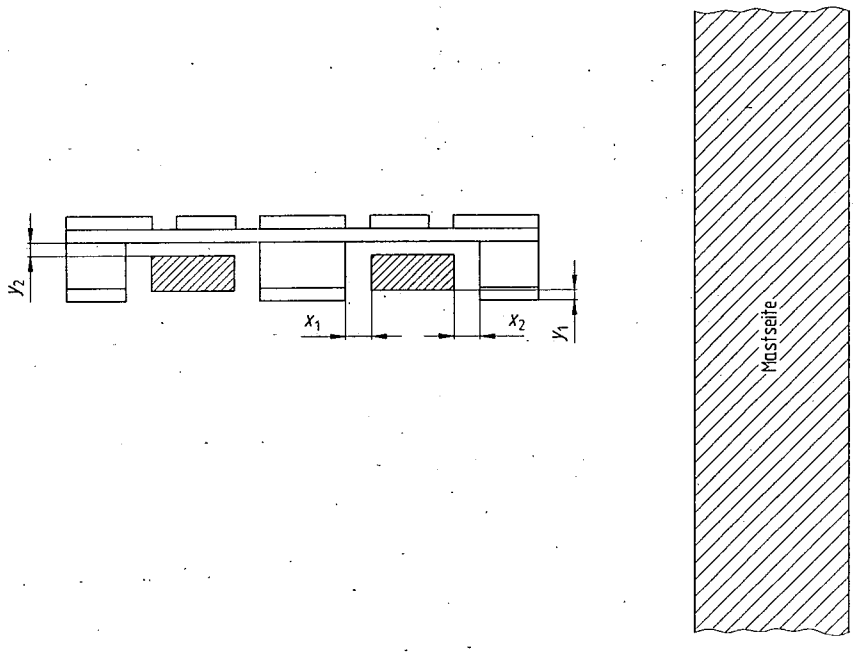


Bild 5: Einfahrmaße

Einfahrmaße sind die Freimaße zwischen Lastaufnahmemittel und Ladehilfsmittel.

- x_1 auf der dem Mast abgewandten Seite des Lastaufnahmemittels
- x_2 auf der dem Mast zugewandten Seite des Lastaufnahmemittels

Bei Zweisäulengeräten ist für beide Seiten x_2 einzusetzen.

- y_1 zwischen Lastaufnahmemittel und Auflageriegel
- y_2 zwischen Lastaufnahmemittel und Ladehilfsmittel

Wobei in allen Fällen der größte Querschnitt des Lastaufnahmemittels zu beachten ist, der in das Ladehilfsmittel einfährt.

5.2 Fachfreimaße

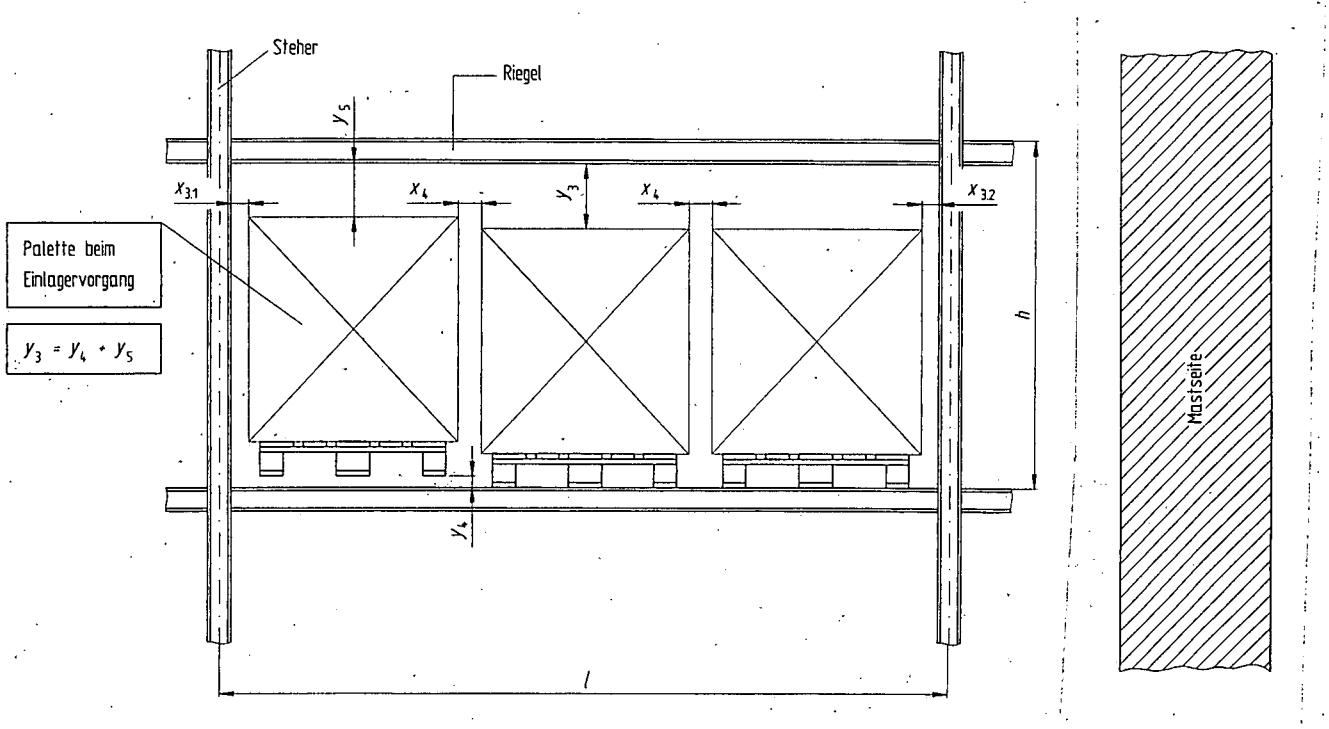


Bild 6: Fachfreimaße

Fachfreimaße sind die Mindestabstände

- $x_{3.1}$ zwischen den Ladeeinheiten und den Stehern, mastabgewandte Seite
- $x_{3.2}$ zwischen den Ladeeinheiten und den Stehern, mastseitig
- x_4 zwischen den Ladeeinheiten untereinander,
- y_3 zwischen der Oberkante der eingelagerten Ladeeinheit und der Regalkonstruktion bzw. Störkante (z.B. Sprinkler). Das Fachfreimaß y_3 setzt sich zusammen aus dem unteren Einfahrmaß y_4 (Unterkante des angehobenen Ladehilfsmittels bis Oberkante Auflageriegel) plus dem oberen Freimaß y_5 (Oberkante der angehobenen Ladeeinheit bis Unterkante oberer Riegel), siehe Bild 6.

5.3 Gangfreimaße

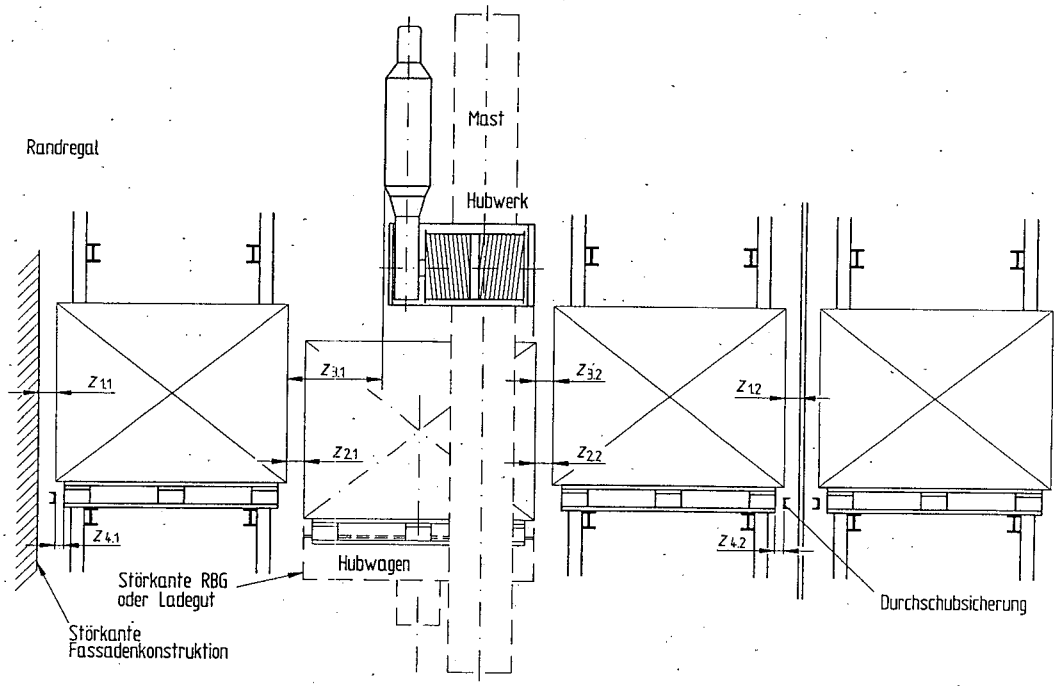


Bild 7: Gangfreimaße

Gangfreimaße sind die Mindestabstände

- $z_{1.1}$ zwischen Ladeeinheit und fassadenseitiger Störkante (z.B. Fassadenriegel, Regenfallrohr)
- $z_{1.2}$ zwischen Ladeeinheit und Regalkonstruktion innenliegender Regale
- $z_{2.1}$ zwischen dem äußersten Punkt des Hubwagens resp. der Ladeeinheit auf dem Hubwagen und der Sollage der eingelagerten Ladung bzw. der Regalstörkante bei zurückstehender Ladung. Seite Randregal
- $z_{2.2}$ dito, Seite Mittelregal
- $z_{3.1}$ zwischen fixen Störkanten am Regalbediengeräte (z.B. Hubwerke, Podeste usw.) und der eingelagerten Ladung bzw. der Regalstörkante. Seite Randregal
- $z_{3.2}$ dito, Seite Mittelregal
- $z_{4.1}$ zwischen Palettendurchschubsicherung und Hinterkante der Palette. Seite Randregal
- $z_{4.2}$ dito, Seite Mittelregal

5.4 Besondere Störkanten

Schon in der Planungsphase und insbesondere bei der Berechnung der Freimaße müssen u.a. folgende Begebenheiten beachtet werden:

- Anordnung von Lösch- und Rauchmeldeanlagen
- Haustechnische Installationen (Leitungen, Leuchten, Kanäle, Rohre etc.)
- Mindestabstände (z.B. zu Sprinklerdüsen)
- Variation der Profilstärken je nach Regalsystem
- Vorstehende Einzelteile (Schraubenköpfe, Halterungen, Geber etc.)
- Veränderung unstabiler Ladungen während der Einlagerung oder während der Lagerdauer

6 Kontrollrechnung

6.1 Zusammenfassung der Einflußfaktoren auf die Freimaße

(T: Toleranzfeld, V: Verformungsmaß)

Nr.	Einflußfaktor/Zugehörigkeit	Kapitel
	Ladung und Profilkontrolle	4.4.2
T1	Maximale Ladungsbreite (Meßgenauigkeit)	4.5
T2	Maximale Ladungslänge (Meßgenauigkeit)	
T3	Maximale Ladungshöhe (Meßgenauigkeit)	
	Ladehilfsmittel	4.4.1
T6	Palettenabmessungen bezogen auf die Zentrierkante	Bild 2
T7	Bereitstellgenauigkeit in x-Richtung	
T8	Bereitstellgenauigkeit in z-Richtung	
T9	Höhenmindermaß der Gabeleinfahrtaschen (Verschleiß und Schwinden)	
V1	Durchbiegung des Ladehilfsmittels, gemessen zwischen den Auflageriegeln	
	Regalbediengerät	4.7
T12	Positioniergenaugikeit in x-Richtung	
T13	Positioniergenauigkeit in y-Richtung	
T14	Positioniergenauigkeit der Gabelausfahrt	
T15	Positioniergenauigkeit der Gabelmittenzentrierung	
T16	Mast-Herstellgenauigkeit in x-Richtung, z.B. Schiefstellung, Geradheit der vertikalen Führungsschienen	
T17	Mast-Herstellgenauigkeit in z-Richtung	
T18	Parallelität der Gabelachsen zur Zentrierkante der Palette	
T19	Hubwagenverdrehung horizontal wegen Mastführungstoleranzen	
T20	Schräglage der Gabeloberkante in x-Richtung, bezogen auf die horizontale Systemebene	
T21	Schräglage der Gabeloberkante in z-Richtung, bezogen auf die horizontale Systemebene, herrührend aus Montagetoleranzen, Rollenspiel, Toleranz der Fahr- und Führungsschienen	
T22	Spiel der Seitenführungsrollen unten	
T23	Montagegenauigkeit der Höhepositioniermarken bezogen auf die Fachebenen (siehe Hinweis 2 im Kap. 4.7.5)	
T24	Gabeldurchhang unbelastet (Rollenspiel und Verschleiß)	
T41	Abnutzung der Räder und Fahrschienen	
V5	Mastauslenkung durch Schwingungen in x-Richtung	
V6	Mastverformung in x-Richtung beim obersten Fach (Lastwechselverformung)	
V7	Verschiebung der Last in z-Richtung, herrührend aus der Mast- und Hubwagenverformung durch die statischen Lastmomente und den Schwingungsamplituden wegen der Verzögerungskräfte der Massen	
V8	Schwingung der Last in z-Richtung während der Fahrt, herrührend aus Biege- und Torsionsschwingungen des Mastes	
V9	Verdrehung des Hubwagens in x-Richtung an der Gabelspitze (Lastwechsel) bei Gabelausfahrt	
V10	Gabeldurchbiegung unter Last exkl. T24 (Gabeldurchhang)	
V12	Hubwagenverformung an der Gabelspitze in y-Richtung bei ausgefahrener Last	
V13	Auslenkung der ausgefahrenen Gabelspitze in x-Richtung wegen Torsionsschwingungen des Mastes bedingt durch Lastbeschleunigungen in z-Richtung	

Nr.	Einflußfaktor/Zugehörigkeit	Kapitel
	Gangausrüstung	4.2, 4.3
T25	Fluchtgenauigkeit der Fahrschiene	Bild 1
T26	Seitengenauigkeit der oberen Führungsschienenachse und horizontale Abweichung der Führungsschiene gegenüber dieser Achse	
T27	Höhentoleranz der Fahrschiene	
T28	Montagenauigkeit der Positioniermarken in x-Richtung	
T29	Montagetoleranz der Fahrschiene in z-Richtung bez. vertikaler Systemebene	
V16	Auslenkung der oberen Führungsschiene in z-Richtung bei ausgefahrener Last	
V17	Durchbiegung der Fahrschiene in y-Richtung	
	Regalanlage	4.8 Bild 3
	in x-Richtung	Bild 6
T30	Toleranzfeld gegenüberliegender Steher	
V20	Schiefstellung durch äußere Kräfte und Nutzlasten im Betriebszustand	
	in y-Richtung	Bild 3
T31	Niveautoleranz der vorderen Auflageriegel	Bild 6
T32	Höhendifferenz des hinteren zum vorderen Auflageriegel	
T33	Toleranz des Abstandes zweier Riegelebenen	
V21	Stauchung der Steher	
V22	Verformung der Auflageriegel	
	in z-Richtung	Bild 3
T34	Toleranz der hinteren Störkante	Bild 4
T35	Toleranz der Durchschubsicherung zur Stützenvorderkante	Bild 6
T36	Montagetoleranz der Steher	
V23	Verformung durch äußere Kräfte und Nutzlasten im Betriebszustand (Maß f)	Bild 7
V24	Verschiebung des Paletten-Aufnahmepunktes durch Windkräfte (nur wenn Förderanlage mit Regal verbunden)	
	Bau und Diverses (in den folgenden Rechnungen unberücksichtigt)	
T40	Maßeinengungen durch z.B. Befestigungsmaterial, Sprinkler, Brandmelder, Heizungsrohre, Elektr. Leitungen, Ventilatoren, Lampen, Laschen bei Einhängeriegeln, Sanitärrohre usw.	
V30	Maßänderungen der Ladung während der Lagerdauer	
V31	Zusätzliche Durchbiegung des Ladehilfsmittels	
V32	Bodensenkungen und Biegung der Bodenplatte und daraus entstehende verschiedene Schiefstellungen der Regalbediengeräte und der Regale	
V33	Verformungen aus Temperatureinflüssen	

6.2 Zusammenhänge

Zur Überprüfung, ob im Einzelfall die gewählten Freimaße mit den vorhandenen Toleranzen und Verformungen eine sichere Systemfunktion erlauben, muß vom Systemlieferanten eine Kontrollrechnung durchgeführt werden.

Bei der Betrachtung jedes einzelnen Freimaßes müssen dabei die in Abhängigkeit der Steuerungsart resp. der Regalklasse unterschiedlichen Toleranzen und Verformungen beachtet werden. In den Tabellen A.1 bis A.12 im Anhang ist ein Berechnungsbeispiel dargestellt.

Die Erfahrung und die Wahrscheinlichkeitsabschätzung ergeben, daß nicht alle Maximaltoleranzen und Verformungen am selben Ort und zur gleichen Zeit und in der gleichen Richtung auftreten.

Bestimmte Toleranzen und insbesondere Verformungen die in einer Richtung gehen, können mit entsprechendem Justieraufwand am Regalbediengerät gemindert werden, z.B. Parallelstellung des RBG-Mastes in x-Richtung zum Regal oder Tiefersetzen der oberen y-Positioniermarken nach teilweiser Füllung des Lagers und damit Berücksichtigung der Stauchung.

Als besonders kritisch gelten bei Silobauten und Verwendung der Euro-Pool-Palette Typ I (800 x 1200 mm) die seitlichen Freimaße der Teleskopgabeln zur Einfahrt in die Gabeleinfahrtaschen der Palette. Bei schweren Paletten und dadurch großen Abmessungen der Teleskopgabeln kann mit den vorgängig festgelegten Maximalwerten der Toleranzen und Verformungen (insbesondere die Windeinflüsse in x-Richtung) im oberen Regalbereich die Systemfunktion nicht erreicht werden. Besondere Maßnahmen (Verringerung der in Tabelle 1 aufgeführten Werte durch z.B. Verstärkung der Windverbände oder Betriebseinschränkungen bei starkem Wind in x-Richtung) sind notwendig.

6.3 Rechenverfahren

Mit der "Worst-case"-Methode werden alle Toleranzen und Verformungen mit dem Maximalwert in der ungünstigen Wirkrichtung zusammengefügt. Das Ergebnis ergibt ein Maß, das in die richtige Relation zum gewählten Freimaß gestellt werden muß. Bei geteilten Verantwortungsabgrenzungen (Lieferung und Montage der einzelnen Gewerke) ist zu empfehlen, die Freimaße gleich den errechneten, anlagenbezogenen Werten der Worst-case-Methode festzulegen.

Im folgenden Berechnungsbeispiel (siehe Anhang) wird grundsätzlich vom Zusammentreffen der ungünstigsten Maximalwerte ausgegangen.

Anhang

Berechnungsbeispiel
Anhand der folgenden Beispiele werden die vorstehend analysierten Zusammenhänge mit Zahlenwerten verdeutlicht. Dabei wurden die maximal zulässigen Werte aus den Kapiteln 4.1 bis 4.6 und 4.8 eingesetzt. Diese Werte können für einzelne Bereiche verändert werden, wenn zwischen dem Systemverantwortlichen und dem Lieferanten des Teilsystems abweichende Zahlen vereinbart werden. In den folgenden Tabellen sind die RBG-Toleranzen beispielhaft angenommen, um damit die Auswirkungen auf das Gesamtsystem aufzuzeigen. Die entsprechenden *schräggestellten* Werte müssen durch den Gerätehersteller oder den Systemverantwortlichen im Einzelfall ermittelt werden.

Gemäß Ausführungen im Kap. 4.8 wird die Steuerungsart B nur bis Höhen von 18 m eingesetzt. Damit die folgenden Rechenmodelle für die Regalklasse 100 und Steuerungsart B Sinn machen, ist dafür ein zweites Lagerbeispiel angenommen worden. Zusätzlich sind einzelne Toleranzen und Verformungen durch besondere Maßnahmen gegenüber den vorgängig aufgeführten Werten verkleinert worden (siehe jeweilige Fußnote).

Technische Daten der angenommenen Lager
Beispiel 1 Regalklasse 200, Steuerungsarten A, C, D:
- Silobauweise mit Palettenregalen
- Lichte Gebäudehöhe 24 m, Regallänge 80 m
- Einmast-Regalbediengerät
- Nutzlast max. 1000 kg
- Radstand-Regalbediengerät 3,0 m
- Ladehilfsmittel Euro-Pool-Palette
- Maximale Abmessungen der Ladeeinheit x, z, y = 900 x 1300 x 1750 mm
- Drei Ladeeinheiten pro Regalfach
- Keine Langzeitverformung des Ladehilfsmittels und der Ladung
- Plattenbereitstellung (bodeneben) über Förderanlage mit festem Anschlag

Beispiel 2 Regalklasse 100, Steuerungsart B:
- Freistehende Regalanlage
- Lichte Gebäudehöhe 16 m, Regallänge 51 m
- Einmast-Regalbediengerät
- Nutzlast max. 1000 kg
- Radstand-Regalbediengerät 2,4 m
- Ladehilfsmittel Euro-Pool-Palette
- Maximale Abmessungen der Ladeeinheit x, y, z = 900 x 1300 x 1100 mm
- Drei Ladeeinheiten pro Regalfach
- Palettenbereitstellung für Regalbediengerät mit Förderanlage mit festem Anschlag

In den Berechnungsbeispielen werden folgende mögliche Einflußfaktoren vernachlässigt:
- Ungleiche Radabnutzung
- Ungleiche Schienendurchbiegung wegen unterschiedlicher Lasten beider Räder
- Restschwingungsamplituden nach Beruhigungszeit
- Maximale Verformungswerte bei extremen äußeren Kräften (Wind größer als in Kap. 4.8.2 beschrieben)
- ungleiche Bodensetzungen
- Verformung der Bodenplatte größer als in Kap. 4.1.2 beschrieben
- Verformung der Ladung nach dem Passieren der Profilkontrolle

ANMERKUNG: In allen folgenden Tabellen bezieht sich die Kolonne 1 (Regalklasse 100, Steuerung B) auf das Beispiel 2, die übrigen drei Kolonnen beziehen sich auf das Beispiel 1.

Tabelle A.1 Einfahrmaß x_1 (mm)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	1 200 C	1 200 D
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung	T7	2	-	2	2
	- Palettentoleranz	T6	3	3	3	3
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit 3 mal ausgenommen für A	T12	*9*	*5*	*9*	*9*
	- Gabelparallelität	T18	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Führungsrollenspiel reduziert auf die Gabelspitze	T22	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Torsionsschwingung - Mastschwingung	V13 V5	2	*3*	*3*	*3*
Regalanlage	- Schiefstellung	V20	10	3[2)]	10	3[2)]
Einfahrmaß		**x_1**	**28**	**16**	**29**	**22**

[1)]

Tabelle A.2 Einfahrmaß x_2 (mm)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	1 200 C	1 200 D
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung	T7	2	-	2	2
	- Palettentoleranz	T6	3	3	3	3
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit 3 mal ausgenommen für A	T12	*9*	*5*	*9*	*9*
	- Gabelparallelität	T18	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Führungsrollenspiel reduziert auf die Gabelspitze	T22	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Mastverformung oben	V6	*3*[3)]	-	*5*[3)]	-
	- Hubwagenverformung	V9	*1*[3)]	*2*	*1*[3)]	*2*
	- Torsionsschwingung - Mastschwingung	V13 V5	*2*	*3*	*3*	*3*
Regalanlage	- Schiefstellung	V20	10	3[2)]	10	3[2)]
Einfahrmaß		**x_2**	**32**	**18**	**35**	**24**

[1)]

Tabelle A.3 Einfahrmaß y_1 (mm)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	1 200 C	1 200 D
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit	T13	*2*	*6*	*4*	*4*
	- Schräglage Gabel in x-Richtung	T20	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Schräglage Gabel in z-Richtung	T21	*3*	*3*	*3*	*3*
	- Höhenpositioniermarke resp. Toleranz des Riegels	T23	*1*	-	*1*	*1*
	- Gabeldurchhang	T24	*4*	*6*	*6*	*6*
Gangausrüstung	- Durchbiegung der Fahrschiene	V17	*1*	-	-	-
	- Höhentoleranz der Fahrschiene	T27	2	-	-	-
Regalanlage	- Niveau Auflageriegel (plus Tol.)	T31	5	-	-	-
	- Höhendifferenz Auflageriegel (plus Tol.)	T32	2	2	2	2
Einfahrmaß		**y_1**	**21**[13)]	**18**	**17**	**17**

ANNAHME: Die Riegelaufbiegung bei durchlaufenden Riegeln wird vernachlässigt, da praktisch ausgeschlossen werden kann, daß neben einem vollbelasteten Feld nur Leerpaletten eingelagert werden.

ANNAHME: Der negative Höhenversatz des hinteren Auflageriegels wird durch den Gabeldurchhang T24 kompensiert.

Tabelle A.4 Einfahrmaß y_2 (mm)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	 C	 D	
Ladehilfsmittel	- Höhenmindermaß	T9	4	4	4	4	
	- Durchbiegung	V1	2	6	6	6	
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit	T13	*2*	*6*	*4*	*4*	
	- Schräglage Gabel in x-Richtung	T20	*1*	*1*	*1*	*1*	
	- Schräglage Gabel in z-Richtung	T21	*0*	*0*	*0*	*0*	5)
	- Höhenpositioniermarken	T23	*1*	-	*1*	*1*	4)
Gangausrüstung	- Höhentoleranz der Fahrschiene	T27	2	-	-	-	
Regalanlage	- Niveau Auflageriegel (minus Toleranz)	T31	5	-	-	-	
	- Durchbiegung Auflageriegel	V22	6[15)]	-	-	-	
	- Stauchung Steher	V21	1[14)]	-	-	-	
	- Versatz Auflageriegel	T32	2	2	2	2	6)
Einfahrmaß		y_2	**26**[13]	**19**	**18**	**18**	

Tabelle A.5 Fachfreimaß $x_{3.1}$ (mm)
(für die mastabgewandte Seite der Palette)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	 C	 D
Profilkontrolle	- Breite	T1	5	5	5	5
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung	T7	2	-	2	2
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit 2 mal, ausgenommen für A	T12	*6*	*5*	*6*	*6*
	- Mast-Herstellung	T16	*3*	-	*3*	-
	- Hubwagenverdrehung	T19	*1*	*2*	*1*	*2*
	- Lastneigung wegen Schräglage der Gabeln	T20	*3*	*3*	*3*	*3*
	- Führungsrollenspiel, reduziert auf die Gabelspitze	T22	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Mastverformung B,C, 1,5 mal	V6	*15*[3)]	-	*15*[3)]	-
	- Mastverformung A, D	V6	-	*10*	-	*10*
Gangausrüstung	- Fluchtgenauigkeit der Fahrschiene, reduziert auf die Gabelspitze	T25	1	1	1	1
	- Mastneigung wegen Höhentoleranz der Fahrschiene	T27	3	-	3	-
	- Positioniermarken 2 mal	T28	2	-	2	2
Regalanlage	- Toleranzfeld Steher	T30	15	-	15	-
	- Schiefstellung	V20	10	3[2)]	10	3[2)]
Fachfreimaß		$x_{3.1}$	**67**	**30**[17)]	**67**	**35**

ANNAHME: Die Riegelaufbiegung bei durchlaufenden Riegeln wird vernachlässigt, da praktisch ausgeschlossen werden kann, daß neben einem vollbelasteten Feld nur Leerpaletten eingelagert werden.

Tabelle A.6 Fachfreimaß $x_{3.2}$ (mm)
(für die mastzugewandte Seite der Palette)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	1 200 C	1 200 D
Profilkontrolle	- Breite	T1	5	5	5	5
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung	T7	2	-	2	2
	- Versatz der Positioniermarke am Bereitstellelplatz (siehe[3)])		*3*	-	*5*	-
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit 2 mal, (ausgenommen für A 1 mal)	T12	*6*	*5*	*6*	*6*
	- Mast-Herstellung	T16	*3*	-	*3*	-
	- Hubwagenverdrehung	T19	*2*	*2*	*2*	*2*
	- Lastneigung wegen Schräglage der Gabeln	T20	*2*	*3*	*3*	*3*
	- Führungsrollenspiel, reduziert auf die Gabelspitze	T22	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Verdrehung Hubwagen	V9	*3*	*4*	*4*	*4*
Gangausrüstung	- Fluchtgenauigkeit der Fahrschiene, reduziert auf die Gabelspitze	T25	1	1	1	1
	- Mastneigung wegen Höhentoleranz der Fahrschiene	T27	3	-	3	-
	- Positionsmarken 2 mal	T28	2	-	2	2
Regalanlage	- Toleranzfeld Steher	T30	15	-	15	-
	- Schiefstellung	V20	10	3[2)]	10	3[2)]
Fachfreimaß		**$x_{3.2}$**	**58**	**24**[17)]	**62**	**29**

Tabelle A.7 Fachfreimaß x_4 (mm)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	1 200 C	1 200 D
Profilkontrolle	- Breite 2 mal	T1	10	10	10	10
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung 2 mal	T7	4	-	4	4
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit 4 mal, ausgenommen für A	T12	*12*	*10*	*12*	*12*
	- Mastverformung	V6	*0*	-	*0*	- [12)]
	- Hubwagenverdrehung	V9	*3*	*4*	*4*	*4*
	- Führungsrollenspiel, reduziert auf die Gabelspitze 2 mal	T22	*2*	*2*	*2*	*2*
Gangausrüstung	- Mastneigung wegen Höhentoleranz der Fahrschiene 1 1/3 mal	T27	4	-	4	-
	- Positioniermarken 3 mal	T28	3	-	3	-
Regalanlage	- Schiefstellung 2 mal	V20	10[16)]	6[2)]	20	6[2)]
	- Lastneigung wegen Durchbiegung der Auflageriegel	V22	12	22	22	22
Fachfreimaß		**x_4**	**60**	**54**[17)]	**81**	**60**

Tabelle A.8 Fachfreimaß y_3 (mm)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	 C	 D	
Profilkontrolle	- Höhe	T3	5	5	5	5	
Ladehilfsmittel	- Mindermaß Höhe	T9	4	-	4	4	
Regalbediengerät	- Positioniergenauigkeit Höhe 2 mal	T13	*4*	*12*	*6*	*6*	9)
	- Positioniermarke oder Profiltoleranz des Auflageriegels 2 mal	T23	*2*	-	*2*	*2*	9)
	- Gabeldurchhang	T24	*4*	*6*	*6*	*6*	
	- Gabeldurchbiegung	V10	*16*	*16*	*16*	*16*	
	- Abnutzung Räder, Fahrschiene	T41	*1*	-	*1*	*1*	
	- Hubwagenverformung	V12	*4*	*6*	*6*	*6*	
Gangausrüstung	- Höhe Fahrschiene 2 mal	T27	4	-	4	4	8)
	- Durchbiegung Fahrschiene	V17	1	1	1	1	8)
Regalanlage	- Niveau Auflageriegel 2 mal	T31	10	20	20	20	7)
	- Höhendifferenz Auflageriegel (plus Toleranz)	T32	2	2	2	2	
	- Abstand Auflageriegel	T33	5	5	5	5	
	- Verformung des Auflageriegel	V22	10	15	15	15	
	- Stauchung Steher	V21	2[14]	-	4	4	
Diverses	- Summe der Resultierenden in y-Richtung aus V16, T22, T25, T26, T29 max. 2 mal		*2*	*4*	*4*	*4*	9)
Fachfreimaß		**y_3**	**76**	**92**	**101**	**101**	

Tabelle A.9 Gangfreimaße $z_{1.1}$ und $z_{1.2}$ (mm)
(Berechnung für ca. halbe Lagerhöhe)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	 C	 D	
Profilkontrolle	- Ladungslänge	T2	5	5	5	5	
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung	T8	5	5	5	5	
Regalbediengerät	- Gabelausfahrt 2 mal	T14	*4*	*4*	*4*	*4*	
	- Mast-Herstellung in z-Richtung	T17	*3*	*3*	*3*	*3*	
	- Hubwagenverdrehung	T19	*1*	*1*	*1*	*1*	
	- Spiel Seitenführungsrollen	T22	*1*	*1*	*1*	*1*	
	- Schrägstellung der Last aus V10,T41,V12,V13 und T24		*25*	*32*	*32*	*32*	
	- Mastverformung	V7	*6*	*8*	*8*	*8*	
Gangausrüstung	- Fluchtgenauigkeit Fahrschiene 1/2	T25	2	2	2	2	11)
	- Seitengenauigkeit Führungssch. 1/2	T26	4	4	4	4	11)
	- Auslenkung Führungsschiene 1/2	V16	3	3	3	3	11)
Regalanlage	- Resultierende aus Höhendifferenz Riegel	T32	-	-	-	-	10)
	- Toleranz hintere Störkante	T34	15	15	15	15	
	- Verformung Mittelregale	V23	*5*	*5*	*5*	*5*	
	(Randregale)		*(5)*	(15)	(15)	(15)	
	- Verschiebung Palettenaufnahme	V24	-	-	-	-	
Gangfreimaße	**Mittelregale**	**$z_{1.2}$**	**79**	**88**	**88**	**88**	
	Randregale	**$z_{1.1}$**	**79**	**98**	**98**	**98**	

Tabelle A.10 Gangfreimaße $z_{2.1}$ und $z_{2.2}$ (mm)
Störkante: eingelagerte Palette zu der Palette auf dem Regalbediengerät
(Berechnung auf ca. halber Lagerhöhe)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	 C	 D
Profilkontrolle	- Ladungslänge 2 mal	T2	10	10	10	10
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung z-Richtung 2 mal	T8	10	10	10	10
Regalbediengerät	- Gabelausfahrt 2 mal	T14	*4*	*4*	*4*	*4*
	- Spiel Seitenführungsrollen	T22	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Mastschwingung	V8	*6*	*6*	*6*	*6*
Regalanlage	- Schrägstellung aus Höhendifferenz hinterer Riegel	T32	4	4	4	4
	- Verformung Mittelregale	V23	*5*	*5*	*5*	*5*
	(Randregale bzw. Fassade)		*(5)*	(15)	(15)	(15)
	- Verschiebung Palettenaufnahme	V24	-	-	-	-
Gangfreimaße	**Mittelregale**	**$z_{2.2}$**	**40**	**40**	**40**	**40**
	Randregale	**$z_{2.1}$**	**40**	**50**	**50**	**50**

Tabelle A.11 Gangfreimaße $z_{3.1}$ und $z_{3.2}$ (mm)
Störkanten: eingelagerte Palette zu fixe Teile am Regalbediengerät
(Berechnung für ca. 4 m über Fahrschiene)

	Lagerbeispiel Regalklasse Steuerungsart	Nr.	2 100 B	1 200 A	 C	 D
Profilkontrolle	- Ladungslänge	T2	5	5	5	5
Ladehilfsmittel	- Bereitstellung	T8	5	5	5	5
Regalbediengerät	- Gabelausfahrt	T14	*2*	*2*	*2*	*2*
	- Spiel Seitenführungsrollen	T22	*1*	*1*	*1*	*1*
	- Mastschwingung auf 4 m Höhe	V8	*2*	*2*	*2*	*2*
Regalanlage	- Schrägstellung Pal. aus plus Tol. hinterer Riegel	T32	4	4	4	4
	- Verformung Mittelregal	V23	*4*	*5*	*5*	*5*
	(Randregal)		*(5)*	(15)	(15)	(15)
	- Verschiebung Palettenaufnahme	V24	-	-	-	-
Gangfreimaße	**Mittelregale**	**$z_{3.2}$**	**23**	**24**	**24**	**24**
	Randregale	**$z_{3.1}$**	**24**	**34**	**34**	**34**

Tabelle A.12 Gangfreimaße $z_{4.1}$ und $z_{4.2}$ (mm)
(Berechnung für ca. halbe Lagerhöhe)

	Lagerbeispiel	Nr.	2	1			
	Regalklasse		100	200			
	Steuerungsart		B	A	C	D	
Ladehilfsmittel	- Toleranz Palettenlänge		*3*	*3*	*3*	*3*	
	- Bereitstellung	T8	5	5	5	5	
Regalbediengerät	- Gabelausfahrt	T14	*2*	*2*	*2*	*2*	18)
	- Mast Herstellgenauigkeit z-Richtung	T17	*2*	*2*	*2*	*2*	
	- Hubwagenverdrehung	T19	*2*	*2*	*2*	*2*	
	- Spiel Seitenführungsrollen	T22	*1*	*1*	*1*	*1*	
	- Lastverschiebung aus ...	V7	*4*	*6*	*6*	*6*	
Gangausrüstung	- Fluchtgenauigkeit Fahrschiene 1/2	T25	2	2	2	2	11)
	- Seitengenauigkeit Führungsschiene 1/2	T26	4	4	4	4	11)
	- Auslenkung Führungsschiene 1/2	V16	3	3	3	3	11)
Regalanlage	- Tol. Durchschubsicherung	T35	5	5	5	5	
	- Montagetoleranz Steher	T36	15	15	15	15	
	- Verformung Mittelregal	V23	*5*	*5*	*5*	*5*	
	(Randregal)		*(5)*	(15)	(15)	(15)	
	- Verschiebung Palettenaufnahme	V24	-	-	-	-	
Gangfreimaße	**Mittelregale**	**$z_{4.2}$**	**53**	**55**	**55**	**55**	
	Randregale	**$z_{4.1}$**	**53**	**65**	**65**	**65**	

Fußnoten

1) Kann durch Beruhigungszeiten beeinflußt werden.

2) Veränderung der Regalauslenkung während der Gabelausfahrt.

3) Entspricht der halben maximalen Lastwechselverformung unter der Annahme, daß bei der Palettenbereitstellung die Positionsmarke um die halbe Lastwechselverformung auf die mastabgewandte Seite verschoben wird, d.h. bei der Palettenbereitstellung erhöht sich das Einfahrmaß x_2 um die halbe Lastwechselverformung.

4) Höhentoleranz des Palettenträgers (für Steuerungsart C und D) resp. der Positioniermarke (für B).

5) Die Schräglage wird kompensiert durch den Durchhang der ausgefahrenen Gabel.

6) Der Riegelversatz von 4 mm wirkt sich am kritischen Mittelbrett mit 2 mm aus.

7) Plus-Toleranz unterer Riegel und Minus-Toleranz oberer Riegel

8) Wenn die Fachfeinpositionierung für die Einlagerung nicht wirksam ist (Normalfall), sind diese Toleranzen mitzurechnen.

T27: Plus-Toleranz gegen oberen Riegel, Minus-Toleranz gegen unteren Riegel.

9) Plus-Toleranz gegen oberen Riegel, Minus-Toleranz gegen unteren Auflageriegel.

10) Vernachlässigbar, da kleiner als Schrägstellung der Last aus V13 und T24

11) Halber Wert wegen Berechnungsniveau "halbe Höhe"

12) In diesem Beispiel kompensiert sich die Fehlposition durch die Lastwechsel-Verformung mit der Lastneigung (V22). Bei niedrigen Paletten ist der größere der beiden Werte Mastverformung (1,5 x V6) bzw. Schiefstellung (2 x V20) einzusetzen.

[13] Unter der Berücksichtigung der beiden Freimaße y_1 und y_2 ergibt sich aus der Rechnung noch ein Maß von 53 mm für die Gabeldicke. Zieht man in Betracht, daß der Worst-case-Fall nicht eintreten muß, die Gabelspitzen angeschrägt und möglicherweise die Palettenträger noch mit einem Radius versehen sind, kann auch eine geringfügig größere Gabeldicke noch genügend zuverlässig arbeiten.

[14] 2/3 Stauchung wird durch Tiefersetzen der Positioniermarke kompensiert.

[15] Ein Teil (ca. 30 %) der Durchbiegung kann durch Tiefersetzen der Gabeleinziehposition kompensiert werden.

[16] Die Neigung kann sich maximal nur auf eine Seite ergeben (keine Wechselkraft wie bei Wind).

[17] Wert ohne einen Zuschlag für die Entscheidungsrisiken des RBG-Fahrers.

[18] Die Mastschwingung V8 wird in diesem Rechnungsbeispiel für das Freimaß gegenüber der Paletten-Durchschubsicherung vernachlässigt, weil eine Berührung zwischen Palette und Durchschubsicherung zulässig ist.

Erstellt durch den Technischen Unterausschuß "Regalbediengeräte und Stapelkrane" der Sektion IX und
der Arbeitsgruppe 3 "Regale - Toleranzen, Verformungen, Freimaße" der Sektion X der Fédération Européenne de la Manutention (FEM)
Prepared by the Technical Subcommittee "Storage/retrievel machines and stacker cranes" of Section IX
and Working group 3 "Racking - Tolerances, Deformations, Clearances" of Section X of the Fédération Européenne de la Manutention (FEM)
Etabli par le Sous-comité Technique "Transtockeurs et ponts gerbeurs" de la section IX
et du groupe de travail 3 "Rayonnage - Tolérances, Déformations, Cotes de dégagement" de la section X de la Fédération Européenne de la Manutention (FEM)

Sekretariat: **Sekretariat der FEM Sektion IX**
Secretariat: **c/o VDMA**
Secrétariat: **Fachgemeinschaft Fördertechnik**
Postfach 71 08 64
D-60498 Frankfurt

Zu beziehen durch das oben angegebene Sekretariat oder durch die folgenden Nationalkomitees der FEM
Available from the above secretariat or from the following committees of the FEM
En vente auprès du secrétariat ou des comités nationaux suivants de la FEM

Belgique
Comité National Belge de la FEM
Fabrimétal
Rue des Drapiers 21
B-1050 Bruxelles

Deutschland
Deutsches Nationalkomitee der FEM
VDMA
Fachgemeinschaft Fördertechnik
Postfach 71 08 64
D-60498 Frankfurt
Lyoner Str. 18
D-60528 Frankfurt

España
Comité Nacional Español de la FEM
Asociación Nacional de Manutención (AEM)
ETSEIB-PABELLON F Diagonal, 647
E-08028 Barcelona

Finland
Finnish National Committee of FEM
Federation of Finnish Metal, Eng. and Electro-
techn. Industries (FIMET)
Eteläranta 10
SF-00130 Helsinki

France
Comité National Français de la FEM
Syndicat des industries de matériels
de manutention (SIMMA)
39/41 rue Louis Blanc - F-92400 Courbevoie
cedex 72 - F-92038 Paris la Défense

Great Britain
British National Committee of FEM
British Materials Handling Federation
Bridge House, 8th Floor
Queensway, Smallbrook
GB-Birmingham B5 4JP

Italia
Comitato Nazionale Italiano della FEM
Federazione delle Associazioni Nazionali dell'Industria
Meccanica Varia ed Affine (ANIMA)
Via L. Battistotti Sassi 11
I-20133 Milano

Luxembourg
Comité National Luxembourgeois de la FEM
Fédération des Industriels Luxembourgeois
Groupement des Constructeurs et Fondeurs du
Grande-Duché de Luxembourg
Boîte Postale 1304
Rue Alcide de Gasperi 7
L-1013 Luxembourg

Nederland
Nederlands Nationaal Comité bij de FEM
Vereniging FME
Postbus 190, Bredewater 20
NL-2700 AD Zoetermeer

Norge
Norwegian FEM Groups
Norsk Verkstedsindustris
Standardiseringssentral NVS
Box 7072 / Oscars Gate 20
N-0306 Oslo

Portugal
Comissão Nacional Portuguesa da FEM
Federaçao Nacional do Metal
FENAME
Rua do Quelhas, 22-3
P-1200 Lisboa

Schweiz / Suisse / Svizzera
Schweizerisches Nationalkomitee der FEM
Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller
(VSM)
Kirchenweg 4 / Postfach 179
CH-8032 Zürich

Sverige
Swedish National Committee of FEM
Sveriges Verkstadsindustrier
Materialhanteringsgruppen
Storgatan 5, Box 5510
S-114 85 Stockholm