

Regalbediengeräte
Grundsätze für Stahltragwerke
 Berechnungen

DIN
15 350

Storage and retrieval machines; rules for calculations of steel structures

Approvisionnement mécaniques de casiers (transtockeurs); structures en acier; bases de calcul

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	1
2 Benennung eines Regalbediengerätes und dessen Bauteile	2
3 Formelzeichen und Bedeutung	3
4 Berechnung	4
4.1 Allgemeine Angaben	4
4.2 Inhalt der Berechnung	4
4.3 Ausführung der Berechnung	4
5 Last- und Kraftannahmen	5
5.1 Hauptlasten	5
5.1.1 Eigenlasten	5
5.1.2 Hublasten	5
5.1.3 Wirkung lotrechter Massenkräfte	5
5.1.3.1 Eigenlastbeiwert ϕ	5
5.1.3.2 Hublastbeiwert ψ und Hubklassen	5
5.1.4 Wirkung horizontaler Kräfte	6
5.1.4.1 Dynamischer Schwingbeiwert S_w	6
5.1.4.2 Wirkung horizontaler Massenkräfte	7
5.1.4.3 Horizontale Antriebskraft F_A	7
5.1.4.4 Horizontale Kräfte aus Kurvenfahrt	7
5.1.4.5 Kräfte bei Übergabe/Übernahme der Ladeinheit	9
5.2 Zusatzlasten	10
5.2.1 Kräfte aus Schräglaufl der Laufräder	10
5.2.2 Zusätzliche Kräfte aus Temperatureinwirkungen	13
5.2.3 Lasten auf Podesten und an Geländern	13
5.3 Sonderlasten	13
5.3.1 Pufferstoß	13
5.3.1.1 Auslegung der Puffer	13
5.3.1.2 Spannungsnachweis der Tragwerke und der Pufferanschläge	13
5.3.2 Prüflasten	14
5.3.3 Fanglasten	14
6 Lastfälle	16
7 Nachweis der Standsicherheit	17

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für schienenengebundene Regalbediengeräte und legt die Berechnung der Tragwerke fest.

Fortsetzung Seite 2 bis 17

Normenausschuß Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.



Documents

Document Sharing Hub

2 Benennung eines Regalbediengerätes und dessen Bauteile

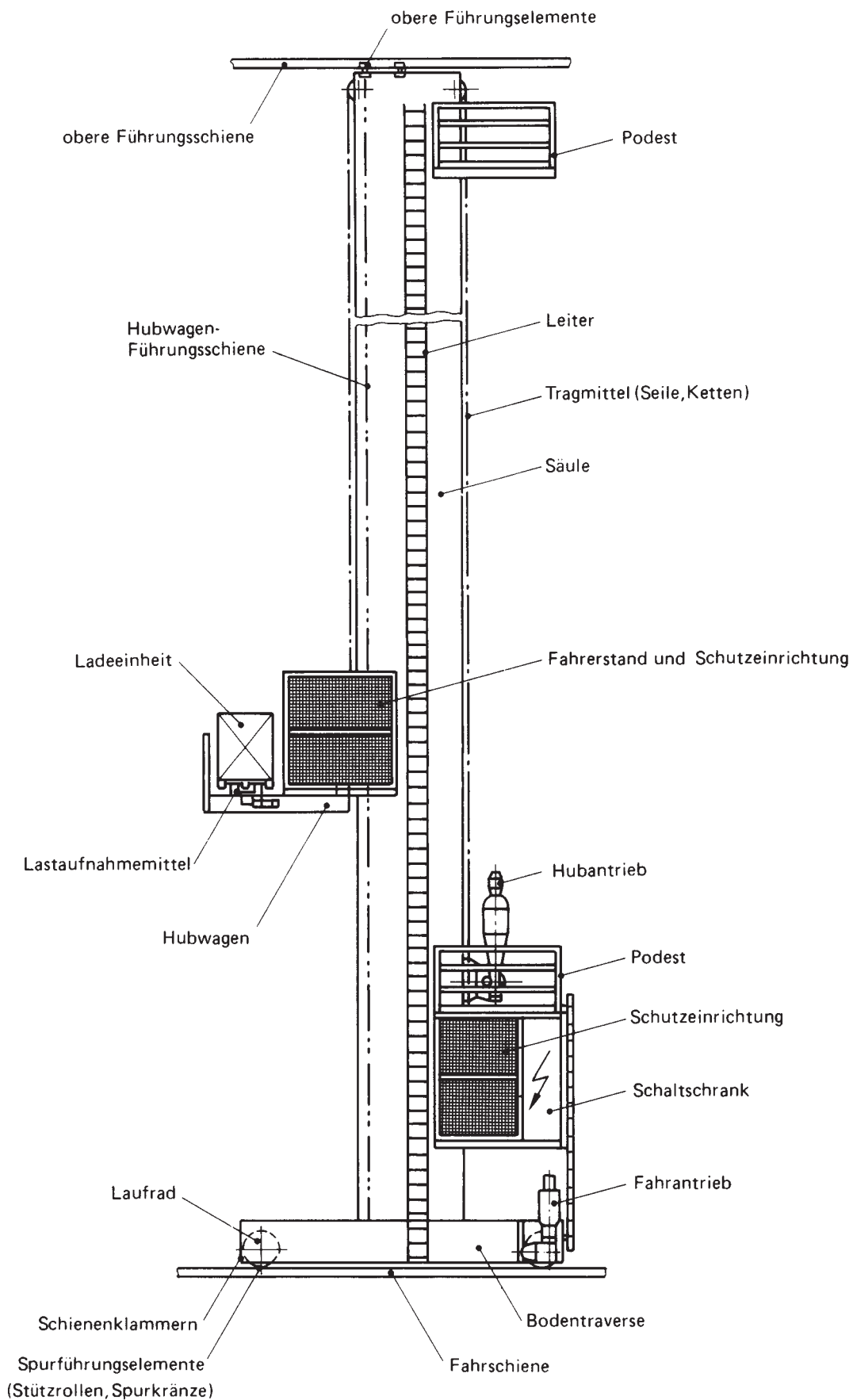


Bild 1. Regalbediengerät und dessen Bauteile, Beispiel

3 Formelzeichen und Bedeutung

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung	Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
a	m/s^2	Beschleunigung	g_n	m/s^2	Normfallbeschleunigung $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$
a_m	m/s^2	Mittlere Beschleunigung	G_o	N	Summe der Gewichtskräfte des Gerätes ohne den ausfahrbaren Teil des Lastaufnahmemittels
a_z	m/s^2	Zentrifugalbeschleunigung	G_E	N	Gewichtskraft aus Eigenlasten
A_P	J	Arbeitsaufnahmevermögen der Puffer	G_{Hu}	N	Gewichtskraft der Hublasten
c	N/m	Federkonstante des Tragwerks	G_L	N	Gewichtskraft der Ladeeinheit
d	m	Lauftraddurchmesser	G_1	N	Gewichtskraft des ausfahrbaren Teils des Lastaufnahmemittels
e	—	Basis der natürlichen Logarithmen $e = 2,71828$	h	m	Vertikaler Abstand zwischen den oberen und unteren Führungselementen
E_k	J	Kinetische Energie	h_1, h_2, h_3	m	Vertikale Abstände der Massenschwerpunkte von der Fahrschiene
f	—	Kraftschlußbeiwert	h_o	m	Vertikaler Schwerpunkts-Abstand der Gesamtmasse des Regalbediengerätes zu den oberen Führungselementen
F_1	N	Horizontale Massenkraft aus Ladeeinheit und Hubwagen mit Lastaufnahmemittel und Bedienperson	h_u	m	Vertikaler Schwerpunkts-Abstand der Gesamtmasse des Regalbediengerätes zu den unteren Führungselementen
F_2	N	Horizontale Massenkraft aus Säule und Anbauten	h_L	m	Vertikaler Abstand der Wirkungsebene der Seitenkraft F_L von den unteren Führungselementen
F_3	N	Horizontale Massenkraft aus Bodentraverse und Anbauten (z. B. Schaltschrank, Hubwerk, Fahrtrieb u.a.)	H_1, H_2, H_3	—	Hubklassen
F_A	N	Horizontale Antriebskraft	i_{getr}	—	Getriebeübersetzung zwischen Motorwelle und Laufrad
F_L	N	Seitenkraft aus Übergabe/Übernahme der Ladeeinheit	J_A	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	Auf die Motorwelle reduziertes Trägheitsmoment des Fahrtriebes
F_{Fa}	N	Fangkraft	K	—	Von der Bauart der Fangvorrichtung abhängiger Faktor
F_{Ho}	N	Gesamtkraft an den oberen Führungselementen	l	m	Abstand zwischen erstem und letztem Führungselement
F_{Hu}	N	Gesamtkraft an den unteren Führungselementen	l_i, l_k	m	Abstand des Laufrades i, k vom ersten Führungselement in Fahrtrichtung
F_P	N	Pufferkraft	l_r	m	Radstand des Regalbediengerätes
F_R	N	Radkraft	l_{xi}	m	Horizontaler Abstand des Schwerpunktes der Gesamtmasse des Regalbediengerätes zum Führungselement i
$F_{R, \min}$	N	Minimale Radkraft	m_1	kg	Masse des ausfahrbaren Teils des Lastaufnahmemittels
$F_{R, \max}$	N	Maximale Radkraft	m_{dyn}	kg	Dynamische Ersatzmasse der gefederten Massen
$F_{R, \text{stat}}$	N	Statische Radkraft	m_B	kg	Masse der Bodentraverse einschließlich Anbauten
$F_{Ri, \text{stat}}$	N	Statische Kraft am Laufrad i, k ohne Beiwert nach Abschnitt 5.1.3 und Abschnitt 5.1.4	m_E	kg	Ersatzmasse aus rotierenden Teilen des Fahrtriebes
$F_{Rk, \text{stat}}$	N		m_G	kg	Gesamtmasse des Regalbediengerätes einschließlich Masse der Nutzlast
F_S	N	Formschlüssige Kraft an den Führungselementen			
F_X	N	Massenkräfte in x-Richtung (Fahrtrichtung)			
F_{Yi}	N	Kraftschlüssige Kraft am Laufrad i			
F_Z	N	Gesamte Horizontalkraft aus Kurvenfahrt des Regalbediengerätes			
F_{Zi}	N	Gesamte Horizontalkraft aus Kurvenfahrt am Führungselement i			
F_{ZRi}	N	Komponente der Kraft F_{Zi} quer zur Richtung der Fahr- und Führungsschiene			
F_{ZTi}	N	Komponente der Kraft F_{Zi} in Richtung der Fahr- und Führungsschiene			

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung	Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
m_H	kg	Masse des Hubwagens, einschließlich Lastaufnahmemittel und Bedienperson	v_A	m/s	Auslösegeschwindigkeit des Geschwindigkeitsbegrenzers
m_L	kg	Masse der Ladeeinheit	v_F	m/s	Nennfahrgeschwindigkeit des Regalbediengerätes
m_{Pr}	kg	Masse der Prüflast	v_{FP}	m/s	Anzusetzende Fahrgeschwindigkeit des Regalbediengerätes bei Pufferstoß
m_S	kg	Masse der Säule einschließlich Anbauten	v_H	m/s	Nennhubgeschwindigkeit
s_o	m	Abstand der Wirkungsebene der Gewichtskraft G_o von der Schienenmitte	$y(t)$	m	Dynamische Verformung
s_a	m	Fahrweg während der Beschleunigungsphase	α_o	‰	Schräglaufwinkel aus Fertigungstoleranz der Bodentraverse
s_{Br}	m	An der Schiene nach einem Fangfall feststellbarer Bremsweg	α	‰	Gesamt-Schräglaufwinkel des Regalbediengerätes am System Lauf- räder-Bodenschiene
s_{Fa}	m	Fallweg des Hubwagens bis zum Erreichen der Auslösegeschwindigkeit des Geschwindigkeitsbegrenzers	α_f	‰	Schräglaufwinkel aus Spurspiel
s_{Fv}	m	Totweg an der Fangvorrichtung einschließlich der Betätigungsorgane	α_s	‰	Schräglaufwinkel aus der Toleranz der Fahrschiene
s_{Gb}	m	Totweg am Geschwindigkeitsbegrenzer	α_v	‰	Schräglaufwinkel aus Verschleiß
s_L	m	Abstand der Wirkungsebene der Gewichtskraft G_L von der Schienenmitte	α_T	K ⁻¹	Thermischer Längenausdehnungskoeffizient
S_P	–	Schwingbeiwert beim Pufferstoß	μ_g	–	Gleitreibungszahl
S_W	–	Dynamischer Schwingbeiwert	μ_h	–	Haftreibungszahl
t	s	Zeit (Schwingzeit)	v_s	–	Standsicherheit des Regalbediengerätes
t_a	s	Beschleunigungsdauer	φ	–	Eigenlastbeiwert
T_e	s	Eigenschwingzeit des Tragwerkes	ω	s ⁻¹	Eigenfrequenz des Systems
			ψ	–	Hublastbeiwert
			ψ_{Fa}	–	Hublastbeiwert im Fangfall
			ψ_{Pr}	–	Hublastbeiwert bei der Prüflast

4 Berechnung

4.1 Allgemeine Angaben

Der rechnerische Sicherheitsnachweis der Tragwerke muß den anerkannten Regeln der Statik, Dynamik und Festigkeitslehre entsprechen. Werden Versuche zur Ermittlung von Spannungen oder der Festigkeitseigenschaften von Bauteilen durchgeführt, können die Versuchsergebnisse unter Einhaltung gleicher Sicherheit dem Nachweis zugrunde gelegt werden.

Die Angaben der Systeme, Maße und Werkstoffe müssen in Berechnungen und Zeichnungen übereinstimmen. Abweichungen sind zulässig, wenn dadurch die Sicherheit nicht beeinträchtigt wird.

4.2 Inhalt der Berechnung

In der Berechnung zum rechnerischen Sicherheitsnachweis der Tragwerke von Regalbediengeräten sind anzugeben die

- Art und die Arbeitsweise des Regalbediengerätes,
- vorausgesetzte Anzahl der gesamten Last- und Arbeitspiele während der Lebensdauer,
- maßgebende Hubklasse,

- maßgebenden Beanspruchungsgruppen nach DIN 15 018 Teil 1,
- möglichst wirklichkeitsnahen Tragsystemen mit Übersichtsskizzen und Hauptmaßen,
- Lastannahmen,
- Formen, Maße und statischen Querschnittswerte aller tragenden Bauteile,
- Werkstoffe der einzelnen Bauteile und Verbindungen,
- Nachweis nach Abschnitt 4.3 für tragende Bauteile und ihre wesentlichen Verbindungen.

4.3 Ausführung der Berechnung

Mit den Lastannahmen nach Abschnitt 5 sind folgende Nachweise für die Tragwerke zu führen:

- Allgemeiner Spannungsnachweis:
Sicherheit gegen Überschreiten der Streckgrenze
- Stabilitätsnachweis:
Sicherheit gegen Knicken, Kippen und Beulen
- Betriebsfestigkeitsnachweis:
Sicherheit gegen Überschreiten der Ermüdungsgrenze
- Standsicherheitsnachweis:
Sicherheit gegen Umkippen

An Stelle der Nachweise nach a) und b) kann alternativ nach der Theorie zweiter Ordnung nach DIN 18 800 Teil 2 gerechnet werden. In diesem Falle dürfen die Schnittgrößen und Spannungen nicht mit einem Eigenlast- bzw. Hublast-Beiwert multipliziert werden.

Die Beanspruchungen in den Bauteilen der Tragwerke sind für die einzelnen Lastfälle nach Tabelle 5 zu ermitteln.

Die zulässigen Beanspruchungen sind der DIN 15 018 Teil 1 zu entnehmen.

5 Last- und Kraftannahmen

Die auf das Tragwerk wirkenden Lasten werden eingeteilt in

- Hauptlasten
- Zusatzlasten
- Sonderlasten

und sind als Kräfte in N anzusetzen.

Hauptlasten sind:

- Eigenlasten
- Hublasten
- Massenkkräfte aus betriebsmäßigen Bewegungen
- statische Führungskräfte

Zusatzlasten sind auftretende Kräfte aus:

- Schräglauf
- Temperatureinwirkungen
- Lasten auf Laufstegen, Treppen, Podesten und Geländern

Sonderlasten sind:

- Pufferkräfte
- Prüflasten
- Fanglasten
- Lasten aus Notbremsungen¹⁾

5.1 Hauptlasten

5.1.1 Eigenlasten

Eigenlasten G_E sind die Gewichtskräfte aller im Betrieb stets vorhanden festen und beweglichen Teile, der mechanischen und elektrischen Anlagen und des Anteils der Tragmittel, z. B. Seile, mit Ausnahme der Gewichtskräfte nach Abschnitt 5.1.2.

5.1.2 Hublasten

Die Hublasten G_{Hu} sind die Gewichtskräfte

- der Ladeeinheiten

- der Teile zur Aufnahme der Ladeeinheiten, z. B. Ausfahreinrichtung, Rollentisch, Lastgabel
- des Hubwagens und eventueller Bedienpersonen
- des Anteils der Tragmittel, z. B. Seile, Ketten

5.1.3 Wirkung lotrechter Massenkkräfte

Die Wirkung lotrechter Massenkkräfte, die beim Bewegen von Lasten nach den Abschnitten 5.1.1 und 5.1.2 entstehen, werden durch Eigenlastbeiwert ϕ und Hublastbeiwert ψ berücksichtigt.

5.1.3.1 Eigenlastbeiwert ϕ

Die Eigenlasten bewegter Regalbediengeräte nach Abschnitt 5.1.1 sind mit einem Eigenlastbeiwert ϕ nach Tabelle 1 zu vervielfachen.

Tabelle 1. Eigenlastbeiwert ϕ in Abhängigkeit von der Nennfahrgeschwindigkeit

Nennfahrgeschwindigkeit v_f in m/min ¹⁾		Eigenlastbeiwert ϕ
Fahrbahnen mit Stößen	Fahrbahnen ohne Stöße	
bis 63	bis 100	1,1
über 63 bis 125	über 100 bis 200	1,2
über 125	über 200	1,3

¹⁾ Die Tabellenwerte beziehen sich auf Geschwindigkeitsangaben in m/min, nicht in m/s.

Werden bei Regalbediengeräten stoßdämpfende Fahrwerke verwendet, darf unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit und der Ausführung der Fahrbahn mit $\phi = 1,1$ gerechnet werden.

5.1.3.2 Hublastbeiwert ψ und Hubklassen

Die Hublasten nach Abschnitt 5.1.2 sind mit einem Hublastbeiwert ψ nach Tabelle 2 zu vervielfachen. Dieser berücksichtigt die zu Beginn des Anhebens wirksam werdenden dynamischen Beanspruchungen. Sie sind um so kleiner, je weicher die Federung des Hubwerks, je größer die Elastizität des Tragwerks und je kleiner und stetiger die Beschleunigung und Verzögerung bei Änderungen der Hubbewegungen sind.

Der Hublastbeiwert ψ wird festgelegt in Abhängigkeit von der mittleren Beschleunigung a_m des Hubwerks und der Nennhubgeschwindigkeit v_H .

Die Regalbediengeräte werden demgemäß in Hubklassen H_1 , H_2 und H_3 mit verschiedenen Hublastbeiwerten ψ nach Tabelle 2 eingestuft.

¹⁾ Lasten aus Notbremsungen werden unter Abschnitt 7 im allgemeinen durch die entsprechenden Sonderlastfälle berücksichtigt.

Tabelle 2. Hublastbeiwert ψ in Abhängigkeit von der Beschleunigung und Nennhubgeschwindigkeit des Hubwerks

Hubklassen	Mittlere Beschleunigung/Verzögerung des Hubwerks $\pm a_m$ in m/s^2 ¹⁾	Hublastbeiwert ψ ²⁾
H_1	$\leq 0,6$	$1,1 + 0,0022 \cdot v_H$
H_2	$\leq 1,3$	$1,2 + 0,0044 \cdot v_H$
H_3	$> 1,3$	$1,3 + 0,0066 \cdot v_H$

¹⁾ $\pm a_m$ maximal $1,3 \text{ m/s}^2$ bei mitfahrenden Bedienpersonen
²⁾ Nennhubgeschwindigkeit v_H in m/min , nicht in m/s

5.1.4 Wirkung horizontaler Kräfte

5.1.4.1 Dynamischer Schwingbeiwert S_W

Die beim Beschleunigen und Verzögern der Bewegungen von Regalbediengeräten, z. B. Fahren, Übernahme oder Übergabe der Ladeinheit, auf das Tragwerk wirkenden Massenkräfte sind aus den größten im regelmäßigen Betrieb auftretenden Kräften der Antriebe zu ermitteln. Statt einer genaueren Berechnung dürfen zur Berücksichtigung der dynamischen Wirkung die auf das Tragwerk wirkenden quasi-statischen Kräfte mit dem dynamischen Schwingbeiwert S_W vervielfacht werden. Die quasi-statischen Kräfte folgen aus der Betrachtung der Schwerpunktbewegung des Systems unter der Einwirkung der Kräfte der Antriebe, der Bewegungswiderstände und der Massenkräfte. Die Anwendung des Beiwertes S_W setzt ferner voraus, daß die Kräfte des Antriebs auf das Regalbediengerät praktisch spielfrei erfolgen.

Die Kenntnis der Schwingungsbeanspruchung aus der Fahrbewegung ist für die Dimensionierung der Regalbediengeräte erforderlich. Durchbiegungen oder Spannungen oder Schnittkräfte sind mit dem dynamischen Schwingbeiwert S_W zu multiplizieren.

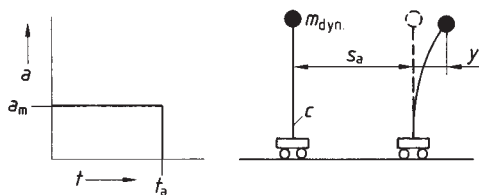


Bild 2. Dynamisches Ersatzsystem

$$y(t) = \frac{m_{\text{dyn}} \cdot a_m}{c} \cdot (\cos \omega t - 1) \quad (1)$$

dynamische Verformung = statische Verformung · Schwingbeiwert S_W

Hierin bedeuten:

m_{dyn} Dynamische Ersatzmasse der gefederten Massen. Die dynamische Ersatzmasse ist eine punktförmige Masse an der Säulenspitze, die so zu bestimmen ist, daß sie mit der Federkonstante des Tragwerks c die gleichen Schwingungseigenschaften bewirkt, wie die reale, annähernd gleichmäßig verteilte Masse der Säule und die Massen des Hubwagens einschließlich der Masse der Last in oberster Stellung.

c Federkonstante des Tragwerks

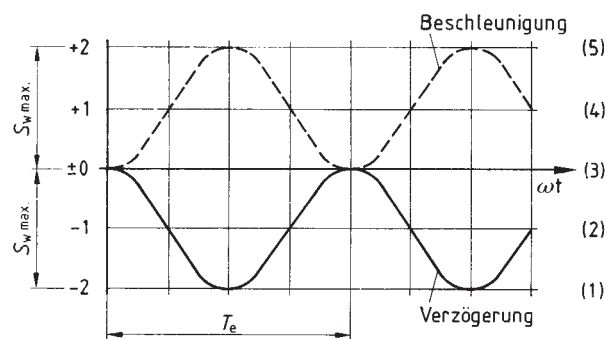
a_m Mittlere Beschleunigung (Verzögerung) der Horizontalbewegung

s_a Fahrweg während der Beschleunigungsphase

t_a Beschleunigungsdauer (Verzögerungsdauer)

$y(t)$ Dynamische Verformung

ω Eigenfrequenz des Systems



- (1) Maximaler Schwingbeiwert während der Verzögerung
- (2) Quasi-statische Mittellage während der Verzögerung
- (3) Statische Ruhelage
- (4) Quasi-statische Mittellage während der Beschleunigung
- (5) Maximaler Schwingungsausschlag während der Beschleunigung

Bild 3. Schwingbeiwert $S_W = \cos \omega t - 1$

Annahmen für Bild 3:

- Vernachlässigung der Dämpfung des Systems
- Konstante Beschleunigung (Verzögerung)
- $t_a = 2 T_e$
(T_e = Eigenschwingzeit des Tragwerks)

Die dynamische Verformung $y(t) = \frac{m_{\text{dyn}} \cdot a_m}{c} \cdot (\cos \omega t - 1)$ erreicht ihr Maximum, wenn $(\cos \omega t - 1)$ den Wert (-2) annimmt.