

**Deutsche
Demokratische
Republik**

Stahlbau
STAHLTRAGWERKE DER HEBEZEUGE
Berechnung **Bauliche Durchbildung**

TGL
13470

Gruppe 13470

Стальное строительство
Несущие стальные конструкции
для подъемных машин
Расчёт Строительная конструкция

Structural Steel Engineering
Steel Supporting Structures of
Lifting machines
Calculation Structural Design

Deskriptoren: Stahltragwerk; Hebezeug; Stahlbau; Berechnung

Verbindlich ab 1. 7. 1975

Dieser Standard gilt in Verbindung mit TGL 13500 "Stahlbau; Stahltragwerke; Berechnung, Bauliche Durchbildung" für die Stahlbauteile der Tragkonstruktionen von Hebezeugen gemäß Arbeitsschutzanordnung 908/1 "Hebezeuge".

Dieser Standard gilt nicht für Wiederholausführungen von Hebezeugen, deren Tragwerke vor dem Termin der Verbindlichkeit konstruiert oder dimensioniert wurden und deren Tragwerke oder Belastungen keine wesentlichen Änderungen erfuhren.

Abweichungen von diesem Standard sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet und von der zuständigen Prüfstelle genehmigt sind.¹⁾

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Allgemeine Grundsätze	3
2. Lastannahmen	3
2.1. Hauptlasten	3
2.1.1. Totlasten (G)	3
2.1.2. Hublasten (P)	3
2.1.3. Massenkräfte aus Heben oder Senken der Hublast	3
2.1.4. Reiß-, Stoß- und Schlagkräfte	6
2.1.5. Horizontalkräfte aus Schrägzug	7
2.1.6. Vorspannkräfte	7
2.1.7. Untergeordnete Lasten	7
2.1.7.1. Lasten auf Laufstegen, Treppen und Podesten	7
2.1.7.2. Schnee-, Eis- und Staublasten	7
2.2. Zusatzlasten	7
2.2.1. Massenkräfte aus Stößen bei Fahr- und Drehbewegungen	7
2.2.2. Anfahr- und Bremskräfte	8
2.2.3. Zentrifugalkräfte	10
2.2.4. Tangentialkräfte	11
2.2.5. Sonstige Massenkräfte	11

Fortsetzung Seite 2 bis 38

1) siehe Hinweise

Verantwortlich: VVB Tagebauausrüstungen, Krane und Förderanlagen

Bestätigt: 17. 10. 1974, Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung, Berlin

	Seite	
2.2.6.	Axialkräfte an Laufrädern	11
2.2.6.1.	Axialkräfte	11
2.2.6.2.	Seitenkräfte aus Schräglauf bei Portalkranen	12
2.2.7.	Spezielle Lasten	13
2.2.8.	Windlasten	13
2.2.8.1.	Staudruck	14
2.2.8.2.	Vom Wind getroffene Flächen	15
2.2.9.	Wärmewirkungen	17
2.2.10.	Statisch unbestimmte Stützung der Hebezeuge	17
2.3.	Sonderlasten	17
2.3.1.	Pufferstoß	17
2.3.2.	Horizontalkräfte an Tragwerkteilen zur Hublastführung	18
2.4.	Grenzlastfälle	18
2.4.1.	Grenzlastfall H	18
2.4.2.	Grenzlastfall HZ	18
2.4.3.	Grenzlastfall S	19
3.	Nachweise	19
3.1.	Statischer Spannungs- und Stabilitätsnachweis	19
3.2.	Ermüdungsfestigkeitsnachweis	19
3.3.	Formänderungsnachweis	22
3.4.	Standsicherheitsnachweis	22
3.4.1.	Belastungsfall "Betrieb"	24
3.4.2.	Belastungsfall "Überlast"	24
3.4.3.	Belastungsfall "Abfallen der Hublast"	24
3.4.4.	Kippkante	28
3.4.5.	Kippsicherungen	30
3.5.	Standsicherheitsprüfung	30
3.5.1.	Prüfung mit 10 % Überlast	30
3.5.2.	Prüfung mit 25 % Überlast	31
3.6.	Nachweis gegen Abtreiben durch Wind	31
4.	Besondere Regeln der Berechnung und baulichen Durchbildung	32
4.1.	Allgemeines	32
4.2.	Radlasteinleitung	32
4.3.	Radlasteinleitung in Flansche	36
4.4.	Doppelwandige Querschnitte	37
4.5.	Direkt befahrene Fachwerkträger	37
4.6.	Schweißen an kaltverformten Blechen	37
	Hinweise	37

1. ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE

Die Berechnung muß die erforderlichen Spannungs- und Sicherheitsnachweise²⁾ der tragenden Teile, ihrer Anschlüsse und Stöße unter Berücksichtigung des auftretenden Verschleißes und der zu erwartenden Korrosion in übersichtlicher und leicht prüfbarer Form sowie die Angaben der für die einzelnen Bauteile vorgesehenen Werkstoffe enthalten.

Die Kräfte sind bis in die Schienen, Fundamente und entsprechenden Stützkonstruktionen zu verfolgen. Das Tragwerk, seine Lage und seine Teile sind darzustellen und die wichtigsten Maße anzugeben.

Die Verwendung von Stählen, deren Anwendung nach TGL 13500 nicht möglich ist, verlangt gesonderte Untersuchungen.³⁾

Für Hebezeuge mit besonderen Aufgaben oder für erschwerte Einsatzbedingungen sind entsprechende Belastungen und Lastfälle festzulegen.

Die Art der Berechnungsverfahren ist freigestellt, soweit sie nicht den Festlegungen dieses Standards widersprechen. Für außergewöhnliche Formeln ist die Quelle anzugeben, wenn diese allgemein zugänglich ist. Sonst sind die Herleitungen soweit zu entwickeln, daß ihre Richtigkeit geprüft werden kann.

Jede Berechnung muß ein in sich geschlossenes Ganzes bilden. Aus anderen Berechnungen dürfen ohne Herleitung nur dann Werte übernommen werden, wenn die neue Berechnung eine schon vorhandene ergänzt. In den Zahlenenergebnissen ist eine größere Genauigkeit als auf drei geltende Ziffern nicht erforderlich.

2. LASTANNAHMEN

Die Lasten werden eingeteilt in

- Hauptlasten,
- Zusatzlasten,
- Sonderlasten.

Sie sind bei den Nachweisen in den ungünstigsten möglichen und beim Ermüdungsfestigkeitsnachweis in den wiederholt auftretenden Stellungen anzuordnen, wobei unter Umständen auch eine Neigung des Tragwerkes zu berücksichtigen ist (siehe Abschnitt 2.4.).

2.1. Hauptlasten

Hauptlasten sind alle Totlasten, beim Hubvorgang entstehende Lasten sowie ständig im Tragwerk wirkende sonstige Kräfte.

2.1.1. Totlasten (G)

Totlasten sind die Eigenlasten aller Bauteile des Hebezeuges und die nicht ständig wirkenden Eigenlasten, z. B. Fördergut auf Bändern und Bunkerfüllung.

Auszunehmen sind die im Abschnitt 2.1.2. genannten Hublasten.

2.1.2. Hublasten (P)

Hublasten sind alle vertikal bewegten Nutzlasten, die Eigenlasten der zugehörigen Lastaufnahmemittel sowie die Eigenlasten der beim Hubvorgang vertikal bewegten Teile des Hebezeuges.

2.1.3. Massenkräfte aus Heben oder Senken der Hublast

Die beim Heben oder Senken der Hublast entstehenden Massenkräfte sind, sofern keine speziellen Schwingungsuntersuchungen durchgeführt werden, durch nachstehende Annahmen zu erfassen:

Im Schwerpunkt der Hublast ist eine vertikal gerichtete Massenkraft

$$V_P = \pm \psi \cdot P \quad (1)$$

anzusetzen.

Für Krane mit Laufkatzen oder E-Zügen, z. B. Brücken-, Hänge- und Portalkrane mit Laufkatze, Konsol- und Säulendrehkrane mit Katzausleger und für Laufkatzen, beträgt der Faktor ψ in Gleichung (1)

$$\psi = (0,05 + 0,0125 v_H) \cdot P \quad (2)$$

²⁾ Anwendung der in diesem Standard verwendeten Formelzeichen für Kraft und Fläche nur unter Berücksichtigung der TGL 0-1304

³⁾ siehe Hinweise 11.

Als obere Grenze gilt $\psi = 1,1$

Für Handantrieb des Hubwerkes gilt

$$\psi = 0,05$$

Für die übrigen Hebezeuge beträgt der Faktor ψ in Gleichung (1)

$$\psi = 0,053 \cdot \frac{\xi \cdot v_H}{\sqrt{f}} \quad (3)$$

Als obere Grenzen gelten für Gleichung (3)

$$\psi = (0,2 + 0,015 v_H) \xi \quad \text{oder} \quad \psi = 1,4 \xi \quad \text{oder} \quad \psi = 1,1$$

Der kleinste Wert ist maßgebend.

In Gleichung (2) und (3) bedeutet:

v_H Hub- bzw. Senkgeschwindigkeit der Schwerpunkte der Hublastteile in Abhängigkeit von der Größe und Stellung der Hublast in m/min.

Die Geschwindigkeiten der Eigenlastanteile können von der Geschwindigkeit der Nutzlast abweichen.

ρ Faktor nach Tabelle 1

Tabelle 1

Anlauf des Hubmotors	Momentenverhältnisse	ρ
regelbar	$\frac{\Sigma M_K}{M_L} \leq 3,3$ und $\frac{\Sigma M_{Br}}{M_L} \leq 3,0$	1,0 ^{*4)}
	$\frac{\Sigma M_K}{M_L} > 3,3$ oder $\frac{\Sigma M_{Br}}{M_L} > 3,0$	1,3
nicht regelbar	z. B. Kurzschlußläufermotore ohne besondere Anlaufschaltungen	1,5

Für $\frac{\Sigma M_K}{M_L} \leq 4,0$ kann der Anlauf der Kurzschlußläufermotore als regelbar angesehen werden.

ΣM_K Summe der gleichzeitig beim Heben oder Senken der Hublast auftretenden größten Motor-momente bzw. der Motorkippmomente bei Asynchronmotoren

M_L Lastmoment auf die Motorwelle reduziert. Der Wirkungsgrad des Hubwerkes wird vereinfachend 1,0 gesetzt.

ΣM_{Br} Summe der gleichzeitig beim Bremsen der Hublast auftretenden Mindestbremsmomente.

ξ Faktor nach Tabelle 2

Für hydraulische Antriebe gilt Faktor nach Tabelle 3.

*4) Der Faktor ρ kann zwischen 0,5 und 1,0 festgelegt werden, wenn die maschinentechnische Aus-rüstung geringere Massenkräfte bedingt.

Tabelle 2

Änlauf des Hubwerkes	Anteil der Lastspiele mit mindestens 80 % der vollen Last an der Gesamtspielzahl	ξ
programmgesteuert	ohne Einfluß	0,4
regelbar	unter 20 %	0,4
	von 20 bis 70 %	0,6
	über 70 %	0,8
	Betrieb mit Seilgreifer	0,6
nicht regelbar	ohne Einfluß	1,0

Tabelle 3

Hydraulische Antriebe	ξ
ohne Dämpfungseinrichtungen beim Heben oder Senken	1,0
Druckbegrenzungsventile beim Heben oder Senken	0,8
gedämpfte Steuerventile	0,6

f rechnerische Vertikalverschiebung⁵⁾ des Lastaufhängepunktes in cm unter gleichzeitiger Wirkung von G und P mit Beachtung der Seillängenänderung und der Elastizität des hydraulischen Antriebes.⁶⁾

Der Anteil der Vertikalverschiebung infolge der Hubseillängenänderung beträgt

$$f_s = \frac{P}{E_s \cdot F_s} \cdot \frac{ml_1 + nl_2}{n^2} \quad \text{in cm} \quad (4)$$

In Gleichung (4) bedeutet:

- l_1 und l_2 Seilabschnitt in cm, Bild 1
- n, m Anzahl der Seilstränge
- E_s *7) Elastizitätsmodul des Seiles in Mp/cm^2
- F_s metallische Querschnittsfläche des Seiles in cm^2
- P Hublast gemäß Abschnitt 2.1.2. in Mp

5) Wird bei der prüftechnischen Abnahme durch Messung die vertikale Verschiebung des Lastaufhängepunktes unter der Wirkung einer Hublast um mehr als 30 % geringer als der rechnerische Wert bei gleicher Belastung ermittelt, so ist mit der gemessenen Größe ein neuer ψ -Wert nach Gleichung (3) festzulegen.

6) Für Öle, deren Volumelastizitätsmodul nicht bekannt ist, kann mit $16\,000 \text{ kp/cm}^2$ gerechnet werden.

*7) Sofern kein genauere Wert für den Elastizitätsmodul der Kranseile bekannt ist, kann E_s mit 1200 Mp/cm^2 angenommen werden.

Bei Auslegerkranen muß die Ermittlung von f gegebenenfalls für verschiedene Auslegerstellungen erfolgen.

Näherungsverfahren zur Bestimmung von f sind zulässig.

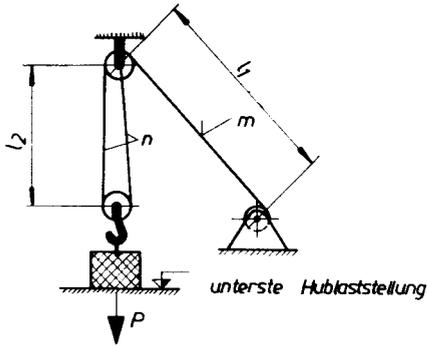


Bild 1

Bei Hebezeugen, deren Auslegerspitze durch Vertikalbelastung eine Horizontalverschiebung erleidet, ist an der Auslegerspitze eine horizontal wirkende Massenkraft H_p anzunehmen, (Bild 2). Sie ist dann anstelle von V_p anzusetzen, wenn sie für die zu untersuchenden Bauteile einen ungünstigeren Einfluß hat.

Sofern keine genauere Schwingungsuntersuchung durchgeführt wird, ist anzusetzen

$$H_{p1} = \pm V_p \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\delta_{hv}}{\delta_{hh}} + \frac{\delta_{vv}}{\delta_{hv}} \right) \quad \text{oder} \quad H_{p2} = \pm V_p \cdot 3 \cdot \frac{\delta_{hv}}{\delta_{vv}} \quad (5)$$

Der kleinste Wert ist maßgebend.

In Gleichung (5) bedeutet:

δ_{vv} , δ_{hh} die Verschiebungen der Auslegerspitze infolge der vertikalen oder der horizontalen Kraft 1
 δ_{hv} , δ_{vh} nach Bild 2, wobei $\delta_{hv} = \delta_{vh}$ ist.

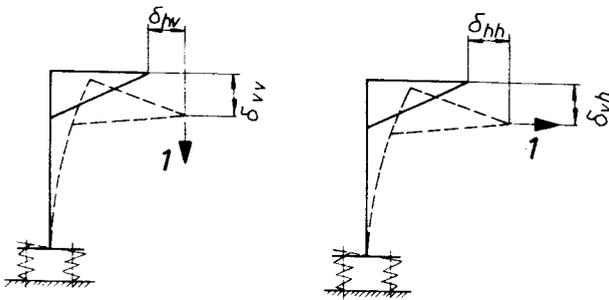


Bild 2

2.1.4. Reiß-, Stoß- und Schlagkräfte

Bei Spezialhebezeugen können im regelmäßigen Betrieb durch Reißen, Stoßen und Schlagen Kräfte entstehen, die größer sind als die Summe Hublast und Massenkraft aus Heben oder Senken der Hublast. Sie sind entsprechend den besonderen Bedingungen anzunehmen oder durch Messungen an vorhandenen Kranen zu ermitteln.

Stoßkräfte, die beim Betrieb der Greifer, der Lasthebemagnete oder der Vakuumlashaftgeräte entstehen, sind im Abschnitt 2.1.3. erfaßt.

Treten Reiß-, Stoß- oder Schlagkräfte nur ausnahmsweise auf, sind sie als Zusatzlasten zu betrachten.

2.1.5. Horizontalkräfte aus Schrägzug

Ist in Ausnahmefällen Schrägzug betriebsmäßig erforderlich, dann muß die hierbei entstehende Horizontalkomponente berücksichtigt werden.

Bei Handantrieb der Laufkatze ist stets an jedem Laufrad rechtwinklig zur Bewegungsrichtung eine Horizontalkraft

$$H_R = 0,05 R \quad (6)$$

anzusetzen. Dabei ist R die zugehörige Radlast aus Tot- und Hublasten.

2.1.6. Vorspannkräfte

Als Vorspannkräfte gelten alle ständig im Tragwerk wirkenden Kräfte, die durch Spannglieder, Bandzug, Kettenvorspannung oder andere konstruktive Maßnahmen eingeleitet werden.

2.1.7. Untergeordnete Lasten

2.1.7.1. Lasten auf Laufstegen, Treppen und Podesten

Auf Laufstegen, Treppen und Podesten ist eine wandernde Einzellast von 300 kp anzunehmen. Sie darf auf 150 kp ermäßigt werden, wenn die Begehung selten und nur ohne Traglasten erfolgt.

Die Lasten für Wartungsbühnen sind entsprechend den größten abzusetzenden Einzellasten festzulegen und betragen mindestens 150 kp. Für Steigleitern sind drei im Abstand von 1,6 m wandernde Einzellasten von je 100 kp anzunehmen.

Für die Geländer ist an den Holmen eine wandernde waagerechte Einzellast von 30 kp anzusetzen.

Die Wirkung dieser Lasten auf andere Bauteile darf vernachlässigt werden, wenn ihr Einfluß gering ist.

2.1.7.2. Schnee-, Eis- und Staublasten

Schneelasten sind nur für die tragenden Teile von Dächern und Abdeckungen zu berücksichtigen, sie betragen 70 kp/m^2 .

Die Größe der Schneelast auf eine unter dem Winkel α gegen die Waagerechte geneigte Fläche beträgt $70 \cdot \cos \alpha \text{ kp/m}^2$ Grundfläche.

Für $\alpha > 60^\circ$ braucht die Schneelast nicht berücksichtigt zu werden.

Eislasten sind nur in besonderen Fällen entsprechend den örtlichen klimatischen Verhältnissen und der Hebezeugart anzunehmen. Bei Staublasten ist sinngemäß zu verfahren.

Diese Lasten können in Abhängigkeit ihres Auftretens auch als Zusatzlasten eingestuft werden.

2.2. Zusatzlasten

Zusatzlasten sind Kräfte aus Bewegungen, die nicht zu den Hub- und Senkvorgängen gehören sowie Windlasten und die Kräfte aus Wärmewirkungen.

2.2.1. Massenkräfte aus Stößen bei Fahr- und Drehbewegungen

Die Größe der aus Stößen bei Fahr- und Drehbewegungen durch die Totlasten (G) entstehenden vertikalen Massenkräfte

$$V_G = \pm \Phi \cdot G$$

Der Faktor φ beträgt:

$\varphi = 0,03 + a_F \cdot v_F$	bei Fahren schienengebundener Hebezeuge
$\varphi = 0,1$	bei Fahren nicht schienengebundener Hebezeuge
$\varphi = 0,03 + a_D \cdot v_D$	bei Drehen

Dabei bedeutet:

$a_F = 0,001$	bei geschraubten Schienenstößen in min/m
$a_F = 0,0002$	bei geschweißten Schienenstößen und bei besonders bearbeiteten, nicht geschweißten Schienenstößen in min/m
$a_D = 0,0002$	bei Drehschemeln oder Drehrollen in min/m
$a_D = 0$	bei Kugeldrehverbindungen oder Rollenkränzen für Drehwerke
v_F	Fahrgeschwindigkeit in m/min
v_D	Laufgeschwindigkeit der Drehrollen in m/min

Führen die Teile eines Hebezeuges mehrere Bewegungen aus, so sind für die sich unterschiedlich ergebenden φ -Werte bei der Bestimmung von V_G folgende Grundsätze maßgebend, Bild 3:

Ist der φ -Wert des oberen Kranteiles (φ_1) kleiner als der des darunter befindlichen (φ_2), so gilt für beide Teile der größere Wert φ_2 .

Ist dagegen φ_1 größer als φ_2 , so gilt für den oberen Teil φ_1 , für den unteren φ_2 .

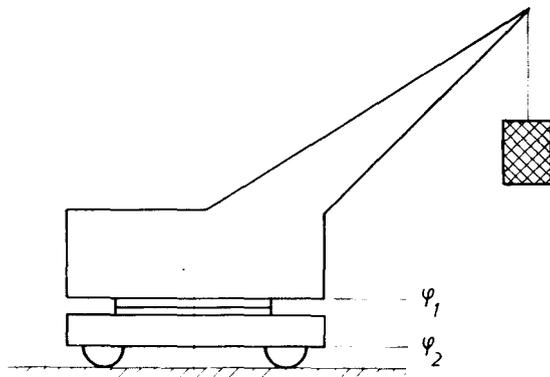


Bild 3

Sind mehr als zwei φ -Werte zu beachten, ist sinngemäß zu verfahren.

Wird die Fahr- oder Drehbewegung von Hand getätigt, so braucht V_G nicht berücksichtigt zu werden.

2.2.2. Anfahr- und Bremskräfte

Die Größe der in den einzelnen Massenschwerpunkten wirkenden Kräfte ist

$$B_i = G_i \cdot \frac{b}{g}, \quad B_p = P \cdot \frac{b}{g} \quad (8)$$

Für $\frac{b}{g}$ ist der Mittelwert des konstant angenommenen Verhältnisses der Anfahrbeschleunigung bzw. Bremsverzögerung zur Fallbeschleunigung aus der maschinentechnischen Berechnung zu entnehmen. Beim Fehlen einer maschinentechnischen Berechnung und für Überschlagberechnungen gilt für das Verhältnis Anfahrbeschleunigung zur Fallbeschleunigung

$$\frac{b}{g} = \frac{\Sigma \frac{\lambda \cdot M_M}{r} - \beta \cdot \Sigma G_i - \beta \cdot P \pm W}{\Sigma G_i + P} \quad (9)$$

und für das Verhältnis der Bremsverzögerung zur Fallbeschleunigung

$$\frac{b}{g} = \frac{\beta \cdot \Sigma G_i + \beta \cdot P + \Sigma \frac{M_B}{r} - W}{\Sigma G_i + P} \quad (10)$$

Wegen des möglichen Rutschens der Laufräder beim Anfahren bzw. beim Bremsen muß

$$\frac{b}{g} \geq \frac{\beta \cdot \Sigma R_R + \mu \cdot \Sigma R_B - W}{\Sigma G_i + P} \quad (11)$$

sein.

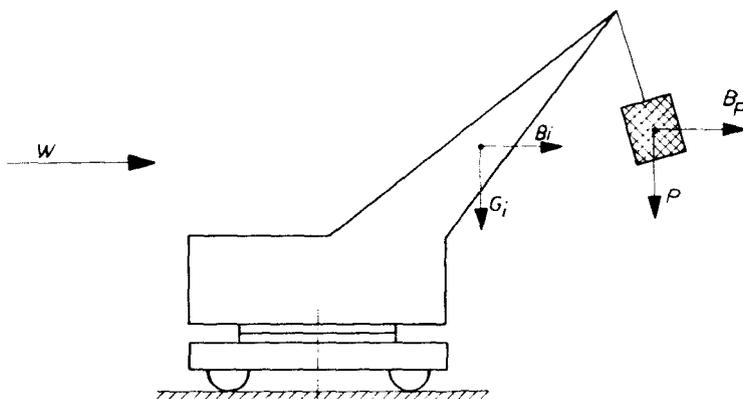


Bild 4

In den Gleichungen (8) bis (11) sowie im Bild 4 bedeutet:

G_i Totlasten der einzelnen Bauteile gemäß Abschnitt 2.1.1. in Mp

P Hublast gemäß Abschnitt 2.1.2. in Mp

W Windlast, die gegebenenfalls anzusetzen ist, in Mp. Die Windrichtung ist beim Bilden der Grenzfälle stets in der Richtung anzusetzen mit der die Anfahr- bzw. Bremskräfte ermittelt wurden.

ΣR_R Summe der Vertikallasten der nicht gebremsten bzw. nicht angetriebenen Laufräder aus Totlasten, Hublasten, Anfahr- oder Bremskräften und gegebenenfalls Windlasten in Mp

ΣR_B Summe der Vertikallasten der gebremsten bzw. angetriebenen Laufräder aus Totlasten, Hublasten, Anfahr- oder Bremskräften und gegebenenfalls Windlasten in Mp

ΣM_M Summe der Motornennmomente aller Fahrwerke auf die Laufrädachsen bezogen in Mp · m

ΣM_B Summe der Bremsmomente aller Fahrwerke auf die Laufrädachsen bezogen in Mp · m

λ Verhältnis des mittleren Anlaufmomentes zum Motornennmoment; $\lambda = 1,5$ bis $2,5$, wobei der kleinere λ -Wert für geringere Einschaltdauer der Motore gilt.

r Radius der Laufräder in m

β	Fahrwiderstandsbeiwert	
	bei Gleitlagerung	0,02
	bei Wälzlagerung	0,007

μ Mittelwert für die Reibung zwischen Rad und Schiene $\mu = 0,12$ für Stahl auf Stahl

Bei Fahrwerken mit Seilzugantrieb sowie für freizügig ortsveränderliche Krane kann die Anfahrbeschleunigung bzw. Bremsverzögerung überschlägig aus $b = \Delta v / \Delta t$ ermittelt werden.

Die durch das Anfahren oder Bremsen der Hebezeuge entstehenden Horizontalschwingungen sind bei sehr elastischen Systemen zu berücksichtigen.

Bei Säulen von Stapelkranen, Regalbediengeräten und ähnlichen Hebezeugen, für die keine Schwingungsberechnungen erfolgen, sind die Horizontalschwingungen durch 1,5fache Anfahr- bzw. Bremskräfte der horizontal schwingenden Massen zu berücksichtigen. Die vergrößerten Massenkräfte sind im allgemeinen nur in den schwingenden Elementen und ihren Anschlüssen zu berücksichtigen.

Wird das Hebezeug von Hand verfahren, so brauchen Anfahr- und Bremskräfte nicht berücksichtigt zu werden.

2.2.3. Zentrifugalkräfte

Bei der Bewegung um eine Achse, die vom Hebezeug beim Kurvenfahren oder von seinen Teilen ausgeführt wird, entstehen die radial nach außen gerichteten Zentrifugalkräfte (siehe Bild 5).

$$Z_i = \frac{G_i}{g} \cdot \omega^2 \cdot r_i$$

$$Z_p = \frac{P}{g} \cdot \omega^2 \cdot r_p \tag{12}$$

Ergänzend zu den bereits genannten Größen bedeutet:

- ω Winkelgeschwindigkeit in s^{-1}
- r_i, r_a, r_p Schwerpunktabstände von der Drehachse in m

Vereinfacht darf $r_p = r_a$ gesetzt werden.

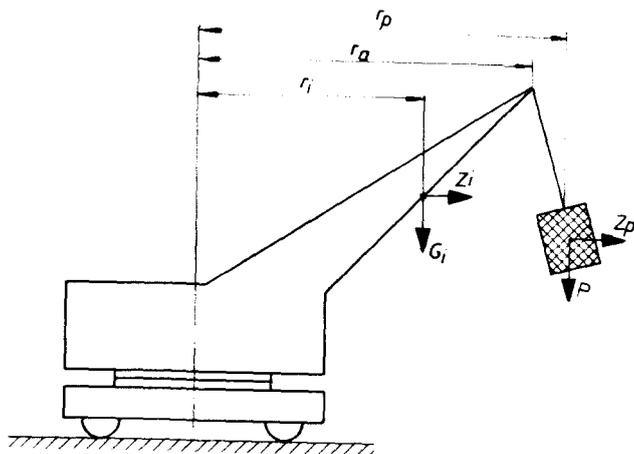


Bild 5

2.2.4. Tangentialkräfte

Bei beschleunigten und verzögerten Bewegungen um eine Achse, die vom Hebezeug oder seinen Teilen ausgeführt werden, entstehen zusätzlich zu Abschnitt 2.2.3. die tangential gerichteten Kräfte, Bild 6.

$$T_i = \frac{G_i}{g} \cdot \epsilon \cdot r_i$$

$$T_p = \frac{P}{G} \cdot \epsilon \cdot r_p \quad (13)$$

Ergänzend zu den bereits genannten Größen bedeutet ϵ die Winkelbeschleunigung in s^{-2} .

Vereinfacht darf $r_p = r_a$ gesetzt werden.

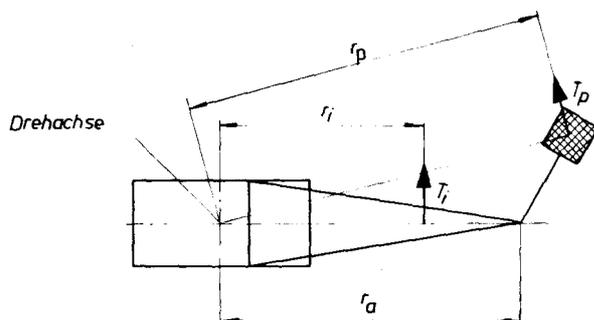


Bild 6

Erfolgt die Kraftübertragung durch Reibschluß, z. B. Rutschkupplungen, angetriebene und gebremste Laufräder, dann bestimmt das Rutschmoment dieser Teile den Größtwert der tangentialen Kräfte.

2.2.5. Sonstige Massenkräfte

Neben den in den Abschnitten 2.2.1. bis 2.2.4. genannten Massenkräften können zusätzliche Kräfte aus Bewegungsvorgängen während des regelmäßigen Betriebes entstehen, z. B. Auslegerwippen.

Sie sind mittels geeigneter Verfahren zu bestimmen.

2.2.6. Axialkräfte an Laufrädern

2.2.6.1. Axialkräfte

Die Axialkräfte H_d nach Bild 7 sind an den Laufrädern in Höhe Unterkante Rad anzusetzen.

Sie können in beiden Richtungen wirken, sind aber an allen Rädern gleichsinnig anzunehmen.

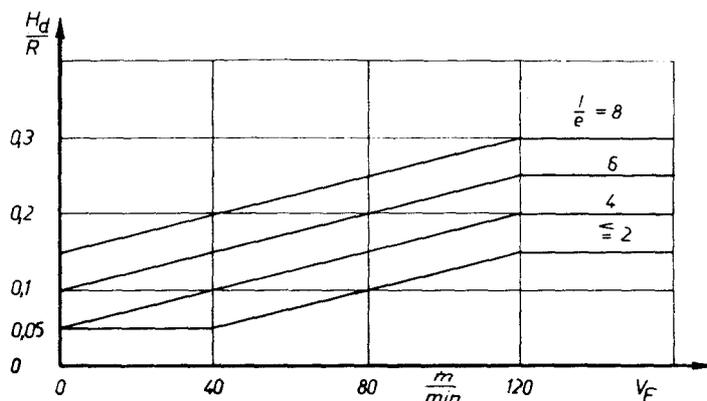


Bild 7

Im Bild 7 bedeutet:

- R jeweilige größte Radlast aus Tot- und Hublasten
 l Spurmaß
 e Abstand der äußersten Räder oder - bei drehbaren Schwingen - Abstand der äußersten Schwingenbolzen, Bild 8
 v_F Fahrgeschwindigkeit in m/min

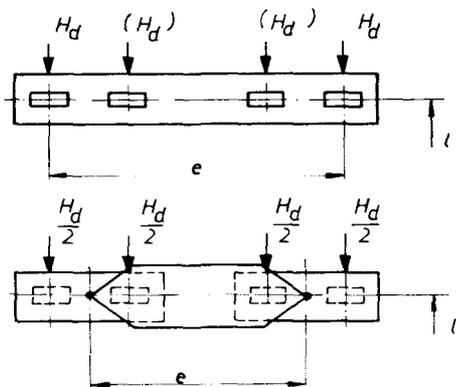


Bild 8

Die in Klammern gesetzten Werte sind nur örtlich zu berücksichtigen.

Die Kräfte der Führungsrollen sind ebenso zu berechnen, wobei für R die Summe derjenigen Radlasten anzusetzen ist, die einer Führungsrolle zugeordnet sind.

Bei einseitigem Fahrtrieb oder bei wesentlich größerem Fahrwiderstand oder Windbelastung einer Fahrwerkseite sind die hierdurch entstehenden horizontalen Führungskräfte zu ermitteln. Wenn diese dem Betrag nach größer als die horizontalen Axialkräfte nach Bild 7 sind, so sind die Führungskräfte maßgebend.

Für einseitige Führung des Hebezeuges sind die Axialkräfte der Laufräder der geführten Hebezeugseite um die entsprechenden Anteile der nichtgeführten Hebezeugseite zu erhöhen. Für die Laufräder der nicht geführten Seite gilt dann $\frac{H_d}{R} = 0,05$.

Einzelne Axialkräfte sind wegzulassen, wenn dadurch eine ungünstigere Beanspruchung entsteht, z. B. Torsion.

Die Axialkräfte brauchen im Regelfall nur für die Bauteile berücksichtigt zu werden, die unmittelbar diese Kräfte aufnehmen, wie Kopfträger, Fahrwerkschwingen, auch bei Pendelstützen, einschließlich ihrer Anschlüsse.

2.2.6.2. Seitenkräfte aus Schräglauf bei Portalkranen

Mögliches Schräglaufen ist bei Portalkranen durch ein Kräftepaar H parallel zur Fahrtrichtung, an Unterkante Rad wirkend, zu berücksichtigen. Die Kräfte betragen für jede Fahrwerkseite bei Portalkranen mit

zentralem Fahrtrieb	0,02
Einzeltrieb, Laufräder mit Gleitlagerung	0,015
Einzeltrieb, Laufräder mit Wälzlagerung	0,01
Handtrieb	0,007

mal der größten Stützkraft aus Totlasten und Hublasten auf einer Stützen- oder Fahrwerkseite. Zu diesem Kräftepaar ist die Seitenkraft H_s rechtwinklig zur Fahrtrichtung je nach Anordnung der Spurkränze oder Führungsrollen und im Verhältnis der Torsionssteifigkeiten der beiden Stützen anzusetzen, Bild 9.

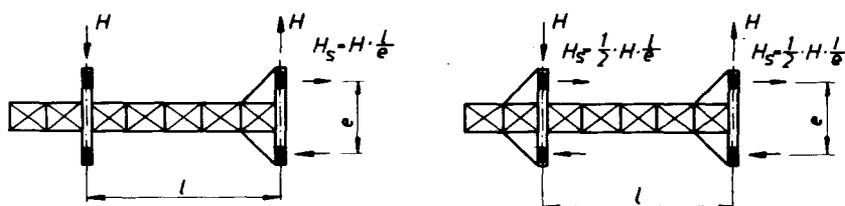


Bild 9

Sind in Ausnahmefällen die Differenzkräfte bei einseitigem oder getrenntem Antrieb größer als die angegebenen Kräfte in Fahrtrichtung, so sind erstere maßgebend.

Der Mindestwert der anzusetzenden Seitenkraft beträgt 0,05mal der größten Radlast aus Tot- und Hublasten je Ecklast.

Die Seitenkräfte aus Schräglauf sind im gesamten Tragwerk zu berücksichtigen. Sie können bei Bauteilen unberücksichtigt bleiben, auf deren Bemessung sie erfahrungsgemäß keinen Einfluß haben. Näherungsweise Abschätzung der Kräfte ist zulässig, sofern sie auf der sicheren Seite liegt.

Für Tragwerkteile, für die größere Axialkräfte nach Abschnitt 2.2.6.1. zu berücksichtigen sind, entfallen die Seitenkräfte aus Schräglauf. Eine Überlagerung der Axialkräfte und der Seitenkräfte aus Schräglauf erfolgt nicht.

2.2.7. Spezielle Lasten

Spezielle Lasten sind alle nicht in den Abschnitten 2.2.1. bis 2.2.6. und 2.2.8. bis 2.2.9. genannten Zusatzlasten; z. B. Kräfte durch frei fallende Schüttgüter in Bunker. Sie sind mittels geeigneter Verfahren zu bestimmen.

2.2.8. Windlasten

Die Windrichtung ist im Regelfall horizontal und in Richtung der Hauptachsen des Hebezeuges anzunehmen. Nur in besonderen Fällen ist eine Anströmung über Eck zu untersuchen. Die rechtwinklig auf eine unter dem Winkel α geneigte Windfläche auftreffende Windlast beträgt:

$$W = c \cdot q \cdot F_W \cdot \sin \alpha \quad \text{in kp} \quad (14)$$

Hierin bedeutet:

- c Gestaltbeiwert nach Tabelle 4
- q Staudruck nach Abschnitt 2.2.8.1.
- F_W vom Wind getroffene Fläche nach Abschnitt 2.2.8.2. in m^2

Die in Richtung der Fläche wirkende Komponente bleibt bei glatten Flächen unberücksichtigt, Bild 10. Sie darf dagegen bei stark gegliederten Flächen nicht entfallen, Bild 11.

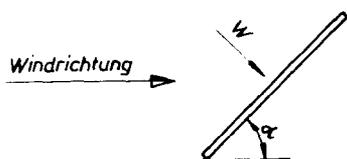


Bild 10

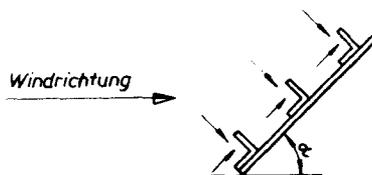


Bild 11

Zur Sicherung gegen Vertikalböen ist im Lastfall "Sturm" für verstellbare Ausleger turmartiger Hebezeuge, die unter einem Winkel $\alpha \cong 20^{\circ}$ gegen die Horizontale geneigt sind, gegebenenfalls eine Windlast für $\alpha = 20^{\circ}$ zu beachten.

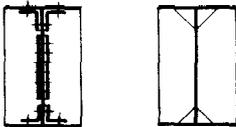
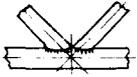
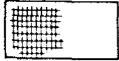
Für Hebezeuge in geschlossenen Hallen entfällt die Windlast.

Besondere, die Windlast verringernde Lagen von Bauteilen dürfen nur dann berücksichtigt werden, wenn sie in der Betriebsanweisung ausdrücklich vermerkt sind, z. B. im Lastfall "Sturm" der Ausleger eines Baukranes in tiefster Stellung.

2.2.8.1. Staudruck

Für das im Betrieb befindliche Hebezeug ist, wenn nicht vom Besteller begründete höhere Werte gefordert werden oder wenn es sich um einen Aufstellungsort mit sehr ungünstiger Windbelastung handelt, der Staudruck für die Bemessung der Tragkonstruktion sowie der Fahr- und Drehwerksbremsen mit q entsprechend der Tabelle 5 einzusetzen.

Tabelle 4

I.f.d. Nr.	Art der Bauteile	Querschnittsform Beispiele	c	
1.	Vollwandkonstruktionen mit weit hervorstehenden Teilen, Aussteifungen oder Aussparungen		1,6	
2.	Vollwandkonstruktionen mit glatten Außenflächen und Hauswände		1,2	
3.	Vollwandkonstruktionen in Rohrbauweise mit glatten Außenflächen		$d\sqrt{q} > 1^{*8)}$	0,7
			$d\sqrt{q} < 1^{*8)}$	1,2
4.	Fachwerkkonstruktionen aus gegliederten Stäben		1,6	
5.	Fachwerkkonstruktionen aus glatten Stäben		1,4	
6.	Fachwerkkonstruktionen aus Rohren		1,2	
7.	Verkleidungen, Abdeckungen			
8.	Drähte, Seile, Kabel			

*8) Hierbei ist d in m und q in kp/m^2 einzusetzen.

Tabelle 5

Bereich	Windgeschwindigkeit v m/s	Staudruck q kp/m ²
I	17,9	20
II	15,5	15

Bereich I: Küstenstreifen bis 60 km parallel zur Küste, Inseln und Höhenlagen der Gebirge, etwa oberhalb 500 m über NN

Bereich II: Binnenland außer Bereich I

Hebezeuge, die ihren Einsatzbereich leicht ändern können und deren Einsatzänderung auch vorgesehen ist, z. B. Autokrane im Bauwesen, sind im Bereich I einzustufen.

Liegt die Eigenfrequenz eines Hebezeuges ausnahmsweise unter 0,1 Hz, so erfolgt seine Einstufung unabhängig vom Einsatzbereich in den Bereich I.

Für den Fall "Sturm" - Hebezeug außer Betrieb - ist der Staudruck entsprechend der Höhe über dem umgebenden Gelände anzusetzen. Die Werte sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6

Höhe über dem umgebenden Gelände m	Windgeschwindigkeit v m/s	Staudruck q kp/m ²
bis 10	28,3	50
über 10 bis 20	33,4	70
über 20 bis 40	38,0	90
über 40 bis 100	42,0	110
über 100	45,6	130

Alle im Freien eingesetzten Hebezeuge sind für den Lastfall "Sturm" mit den in Tabelle 6 angegebenen Staudruckwerten zu berechnen, selbst wenn die Forderung besteht, sie an windgeschützte Stellen zu fahren.

Für Turmdrehkrane des Bauwesens können die in Tabelle 6 angegebenen Staudruckwerte um 20 % vermindert werden.

2.2.8.2. Vom Wind getroffene Flächen

Die vom Wind getroffenen Flächen F_W der Konstruktion sind nach den endgültigen Abmessungen, die Flächen F_p der vom Hebezeug beförderten Hublast nach dem Verwendungszweck des Hebezeuges zu bestimmen. Sind die Windflächen der Hublasten nicht bekannt, so können sie entsprechend der Formel (15) gewählt werden.

$$\begin{aligned}
 F_p &\triangleq P && \text{für } P < 12,5 \text{ Mp} \\
 F_p &\triangleq 3,5 \cdot \sqrt{P} && \text{für } P \geq 12,5 \text{ Mp}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

In Gleichung (15) bedeutet:

F_p Windfläche der Hublast in m^2

P Hublast gemäß Abschnitt 2.1.2. in MP

Der Gestaltbeiwert c für die Hublast beträgt 1, 2.

Liegen mehrere vom Wind getroffene Konstruktionsflächen hintereinander, so ist die 2. und jede folgende Fläche auf

$$\bar{F}_W = k \cdot F_W \quad (16)$$

abzumindern.

Teile der 2. und folgenden Flächen, die nicht verdeckt sind, müssen voll in Rechnung gesetzt werden.

In Gleichung (16) bedeutet:

\bar{F}_W abgeminderte Windfläche in m^2

k Faktor nach Bild 12

F_W Windfläche der Konstruktion in m^2

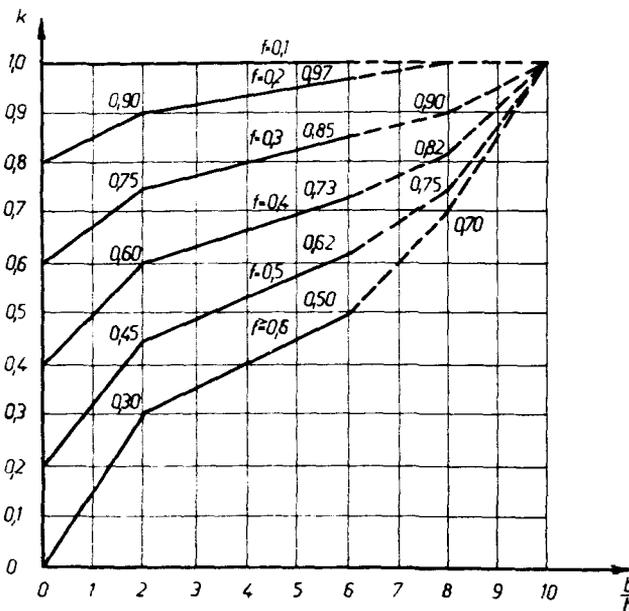


Bild 12 Abminderungsfaktoren für hintereinander liegende Windflächen.
Die Faktoren k für $\frac{b}{h} > 6$ (gestrichelte Darstellung) werden zur Anwendung empfohlen.

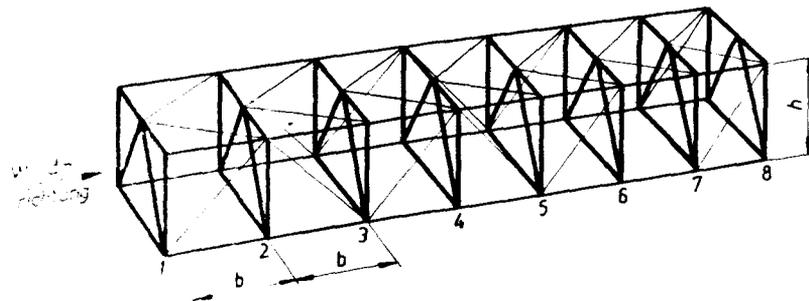


Bild 13

Der Abminderungsfaktor k ist Bild 12 zu entnehmen und dort abhängig vom Völligkeitsgrad

$$f = \frac{F_{W1}}{F_1} \quad (17)$$

der 1. Fläche und dem Verhältnis $\frac{b}{h}$ dargestellt.

In Bild 12, 13 und Gleichung (17) bedeutet:

F_{W1}	Windfläche der 1. Wand
F_1	Umrißfläche der 1. Wand
h	kleinstes Seitenmaß, Höhe oder Breite der Umrißfläche
b	Abstand der Wände voneinander

Abweichend von Bild 12 ist für die 2. Fläche und die folgenden, sofern sie in Windrichtung gesehen von der 1. verdeckt sind und der Abstand bei Fachwerken kleiner als die Stabbreite oder bei Vollwandträgern kleiner als die Trägerhöhe ist, $k = 0$ zu setzen.

Die Diagonalen von Tragwerkscheiben, deren Ebene parallel zur Windrichtung liegt, dürfen vernachlässigt werden, wenn sie durch Teile verdeckt sind, die bei der Windfläche bereits berücksichtigt werden.

2.2.9. Wärmewirkungen

Wärmewirkungen sind nur in besonderen Fällen zu berücksichtigen. Bei Hebezeugen im Freien ist von der anzunehmenden Aufstellungstemperatur 10°C aus, eine Temperaturdifferenz von ± 35 grad anzusetzen, wenn nicht vom Besteller andere Werte gefordert werden.

2.2.10. Statisch unbestimmte Stützung der Hebezeuge

Bei Hebezeugen oder Teilen von Hebezeugen mit statisch unbestimmter Stützung können Stützkraftänderungen auftreten, wobei in besonderen Betriebszuständen eine statisch bestimmte Stützung möglich sein kann. Die Stützkraftänderungen sind in Abhängigkeit der Häufigkeit ihres Auftretens als Zusatz- oder Sonderlasten zu berücksichtigen, wenn sie nicht offensichtlich entfallen können.

2.3. Sonderlasten

Sonderlasten sind Lasten, die nicht bei normalem Betrieb entstehen.

2.3.1. Pufferstoß

Die Ermittlung der Kräfte, die beim Fahren von Hebezeugen oder Teilen von Hebezeugen an Anschläge entstehen, erfolgt unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeiten und der elastischen Eigenschaften der Tragwerke und Dämpfungseinrichtungen.

Die rechnerische Anfahrsgeschwindigkeit beträgt 32 m/min auch für Fahrgeschwindigkeiten größer 32 m/min .

Wenn ein Anfahren der Anschläge mit größerer Fahrgeschwindigkeit als 32 m/min vorgesehen ist oder kein ausreichender Abstand zwischen den Betätigungseinrichtungen für die Fahrbegrenzung und dem Anschlag vorliegt, ist die rechnerische Anfahrsgeschwindigkeit zu erhöhen.

Für Fahrgeschwindigkeiten bis einschließlich 32 m/min sind die rechnerischen Anfahrsgeschwindigkeiten gleich den vorgesehenen Anfahrsgeschwindigkeiten.

Wenn vereinfachend die gesamte Bewegungsenergie von den Pufferelementen aufgenommen werden soll, kann eine Abminderung der rechnerischen Anfahrsgeschwindigkeit auf 90 % erfolgen. Bei der Energieermittlung kann im allgemeinen die frei in Seilen hängende Hublast vernachlässigt werden.

Darf ein Anfahren der Anschläge nicht erfolgen, beträgt die rechnerische Pufferkraft 5 % der anteiligen größten Radlasten aus Tot- und Hublasten.

Die Pufferkräfte sind bei Brücken- und Portalkranen nur in den Tragkonstruktionen der Fahrwerke, z. B. Kopfträgern und deren Anschlüsse, zu verfolgen.

Für Laufkatzen und ähnliche Baugruppen erfolgt die Berücksichtigung der Pufferkräfte nur in den Anschlagkonstruktionen und deren Anschlüssen. Erfolgt das Anfahren der Anschläge im regelmäßigen Betrieb, so gelten die Pufferkräfte als Zusatzlasten.

2.3.2. Horizontalkräfte an Tragwerkteilen zur Hublastführung

An Tragwerkteilen zur Hublastführung können Horizontalkräfte beim Aufnehmen bzw. Absetzen der Hublast und beim Stoßen an Hindernisse auftreten. Die Größe und die Angriffspunkte der Horizontalkräfte richten sich nach der Art der Konstruktion, den auftretenden Bewegungen, den Arbeitsaufgaben des Hebezeuges und den möglichen Hindernissen.

Entsprechend der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Horizontalkräfte und ihrer Bedeutung für das Bauwerk sind sie als Zusatz- oder Sonderlasten zu betrachten.

2.4. Grenzlastfälle

Für die nach Abschnitt 3. zu führende Berechnung sind die Schnittkräfte aus den einzelnen Lasten und Kräften so in die Grenzlastfälle H, HZ und S zusammenzufassen, daß aus jedem dieser Fälle die maßgebenden Werte für die erforderlichen Nachweise erhalten werden.

Dabei sind die Lasten und ihre Kombinationen entsprechend den Grenzlastfällen und den zu führenden Nachweisen anzuordnen.

Festgelegte Neigungen der Tragwerke und Besonderheiten aus Transportzuständen sind zu beachten.

Auf die Bildung eines Grenzlastfalles darf verzichtet werden, wenn feststeht, daß er für die Berechnung nicht maßgebend ist.

2.4.1. Grenzlastfall H

Der Grenzlastfall H ist nur aus Hauptlasten zu bilden.

Wird ein Bauteil außer durch seine Eigenlast nur durch Zusatzlasten beansprucht, so gilt für ihn diejenige Zusatzlast mit als Hauptlast, die die ungünstigste Beanspruchung hervorruft.

2.4.2. Grenzlastfall HZ

Der Grenzlastfall HZ ist aus Haupt- und Zusatzlasten zu bilden. Von den Hauptlasten sind die Tot-, die Hublast, die Vorspannkräfte und die ungünstigste Last nach Abschnitt 2.1.3. bis 2.1.5., die gleichzeitig mit den Zusatzlasten auftritt, zu berücksichtigen. Von den unter den Abschnitten 2.2.1. bis 2.2.5. genannten Lasten sind für das jeweilige Bauteil nur die drei im Betrieb gleichzeitig auftretenden ungünstigsten zu berücksichtigen. Ein Überlagern der Lasten des Abschnittes 2.2.6. hat nur mit Lasten zu erfolgen, die beim Fahren des Hebezeuges auftreten können.

Untersagt die Betriebsanweisung ausdrücklich das Zusammenwirken bestimmter Bewegungen, so darf diese Besonderheit bei der Bildung des Grenzlastfalles beachtet werden.

"Sturm" bei Hebezeug außer Betrieb zusammen mit vorhandenen Lasten ist stets Grenzlastfall HZ, so daß die Festlegung nach Abschnitt 2.4.1., zweiter Absatz hier nicht gilt.

Wiederholtes Auf- und Abbauen von Derrick-, Bau- und freizügig ortsveränderlichen Kranen ist Grenzlastfall HZ.

2.4.3. Grenzlastfall S

Der Grenzlastfall S ist aus Totlasten, aus vorhandenen Hublasten und je einer Sonderlast nach Abschnitt 2.3. oder aus anderen nicht im normalen Betrieb auftretenden Lasten und Betriebszuständen, z. B. der Montage, der Probebelastung, der Strom- bzw. der Notabschaltung, zu bilden.

3. NACHWEISE

Mittels der im Abschnitt 2.4. genannten Grenzlastfälle sind unter Einhaltung des Abschnittes 1. die nach TGL 13500 geforderten Nachweise zu führen.

3.1. Statischer Spannungs- und Stabilitätsnachweis

Das Führen dieser Nachweise hat mit den möglichen ungünstigen Lastkombinationen des entsprechenden Grenzlastfalles zu erfolgen.

Für die Beanspruchung durch Totlasten des Hebezeuges dürfen die zulässigen Spannungen bzw. Sicherheitszahlen des Grenzlastfalles HZ zugrunde gelegt werden. Bei Beanspruchung durch diese Lasten und die übrigen im Grenzlastfall H anzusetzenden Lasten dürfen die zulässigen Spannungen und Sicherheitszahlen zwischen den Grenzlastfällen H und HZ im Verhältnis der Lasten interpoliert werden.

3.2. Ermüdungsfestigkeitsnachweis

Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis ist als Betriebsfestigkeitsnachweis auf der Grundlage von TGL 13500 zu führen. Hierzu erfolgt nach Gleichung (18) in Abhängigkeit von der Form des Spannungskollektives und der Spannungswechselzahl die Bestimmung zulässiger Spannungen $\text{zul } \bar{\sigma}_D$ und $\text{zul } \bar{\tau}_D$, die teilweise größer als die zulässigen Spannungen $\text{zul } \sigma_D$ und $\text{zul } \tau_D$ nach TGL 13500 sind.

$$\left. \begin{aligned} \text{zul } \bar{\sigma}_D &= \frac{\text{zul } \sigma_D \left(1 + \left| \frac{\max \sigma_{K2}}{\max \sigma_{K1}} \right| \right)}{x + r - r \cdot x + \left| \frac{\max \sigma_{K2}}{\max \sigma_{K1}} \right|} \\ \text{zul } \bar{\sigma}_D &= \frac{\text{zul } \sigma_D}{r} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Die dem Betrag nach kleinere} \\ \text{Spannung } \text{zul } \bar{\sigma}_D \text{ ist maß-} \\ \text{gebend} \end{array} \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{zul } \bar{\tau}_D &= \frac{\text{zul } \tau_D \left(1 + \left| \frac{\max \tau_{K2}}{\max \tau_{K1}} \right| \right)}{x + r - r \cdot x + \left| \frac{\max \tau_{K2}}{\max \tau_{K1}} \right|} \\ \text{zul } \bar{\tau}_D &= \frac{\text{zul } \tau_D}{r} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Die dem Betrag nach kleinere} \\ \text{Spannung } \text{zul } \bar{\tau}_D \text{ ist maß-} \\ \text{gebend} \end{array}$$

In Gleichung 18 bedeutet:

$\text{zul } \sigma_D, \text{ zul } \tau_D$	zulässige Spannungen nach TGL 13500 in Abhängigkeit von der Lastspielgruppe der Tabelle 7
$\max \sigma_{K1}, \max \sigma_{K2}$ $\max \tau_{K1}, \max \tau_{K2}$	Kollektivgrößtspannungen nach Bild 15
x	Verhältnis der Grenzspannungen nach TGL 13500
r	Umrechnungsfaktor nach Tabelle 9

Mit den Spannungen zu $\bar{\sigma}_D$ und zu $\bar{\tau}_D$ ist der Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach TGL 13500 zu führen.

Beim Fehlen ausreichender Kenntnisse über die Form des zu erwartenden Spannungskollektives ist der Ermüdungsfestigkeitsnachweis als Zeit- oder Dauerfestigkeitsnachweis mit den zulässigen Spannungen zu σ_D und zu τ_D nach TGL 13500 zu führen.

Die Einordnung jedes Teiles des Hebezeuges erfolgt nach Tabelle 7 in Abhängigkeit von der während der gesamten Betriebszeit auftretenden Zahl der Spannungswechsel in die Lastspielgruppe A, B oder C.

Einstufung in Lastspielgruppen

Tabelle 7

Spannungswechselzahl n	Spannungswechselzahl der Normkollektive	Lastspielgruppe	Ermüdungsfestigkeitsnachweis
über $2 \cdot 10^6$ bis 10^7	10^7	A	Dauerfestigkeitsnachweis
über $5 \cdot 10^5$ bis $2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$		
über $6 \cdot 10^4$ bis $5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	B	Zeitfestigkeitsnachweis
bis $6 \cdot 10^4$	-	C	entfällt

Ein Lastspiel umfaßt einen vollen Arbeitszyklus des Hebezeuges und kann zu mehreren Spannungswechseln führen. Wenn keine anderen Festlegungen vorliegen, wird mit einer Lebensdauer des Hebezeuges von 20 Jahren gerechnet.

Für den Betriebsfestigkeitsnachweis sind die veränderlichen Spannungen in bezug zur konstanten Bezugsspannung zu ermitteln. Liegt keine Bezugsspannung eindeutig vor, der sich die veränderlichen Spannungen überlagern, ist der statistische Mittelwert der veränderlichen Spannungen als Bezugsspannung zu benutzen. Als Näherung für die Bezugsspannung kann auch der Mittelwert aus der Oberspannung ($\max \sigma$ oder $\max \tau$) und der Unterspannung ($\min \sigma$ oder $\min \tau$) Verwendung finden.

Zur Beschreibung der veränderlichen Spannungen dienen Spannungskollektive, die die Zahl der Spannungsüberschreitungen für die unterschiedlichen Spannungshöhen angeben. Spannungskollektive können ober- oder unterhalb bzw. Teile von ihnen ober- und unterhalb der Bezugsspannung liegen. Verschärfend kann angenommen werden, daß jeder Spannungswechsel bei der Bezugsspannung beginnt. Die auftretenden Kollektive sind Normkollektive zuzuordnen. Die Beschreibung der Normkollektive erfolgt durch den Kollektivbeiwert $K = 0; \frac{1}{3}; \frac{2}{3}$ und 1,0 nach Bild 14 und Tabelle 8 und durch die Spannungswechselzahl $\max n = 5 \cdot 10^5; 2 \cdot 10^6$ und 10^7 nach Tabelle 7.

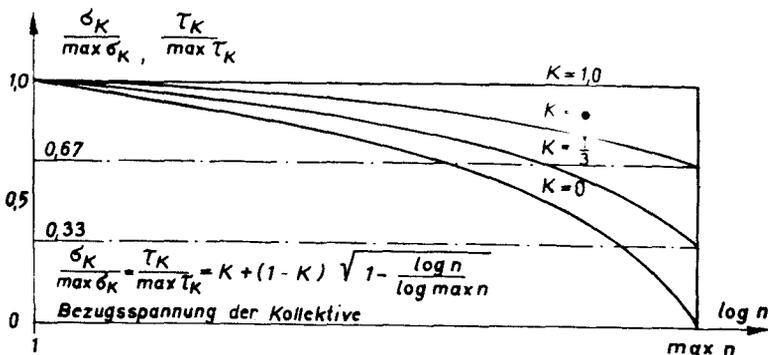


Bild 14 Normkollektive

Im Bild 14 bedeutet:

K Kollektivbeiwert
 σ_K, τ_K veränderliche Spannungen
 $\max \sigma_K, \max \tau_K$ größte veränderliche Spannung
 n Zahl der Spannungswechsel
 $\max n$ Spannungswechselzahl des Normkollektives

Werte der Normkollektive $\frac{\sigma_K}{\max \sigma_K}$ bzw. $\frac{\tau_K}{\max \tau_K}$

Tabelle 8

max n	K	n							
		10^2	10^3	10^4	10^5	$5 \cdot 10^5$	10^6	$2 \cdot 10^6$	10^7
$5 \cdot 10^5$	0	0,81	0,69	0,55	0,35	0	-	-	-
	$\frac{1}{3}$	0,87	0,79	0,70	0,57	0,33	-	-	-
	$\frac{2}{3}$	0,94	0,90	0,85	0,78	0,67	-	-	-
	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-	-
$2 \cdot 10^6$	0	0,83	0,72	0,60	0,45	-	0,22	0	-
	$\frac{1}{3}$	0,88	0,82	0,74	0,64	-	0,48	0,33	-
	$\frac{2}{3}$	0,94	0,91	0,87	0,82	-	0,74	0,67	-
	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-
10^7	0	0,85	0,76	0,65	0,53	-	0,38	-	0
	$\frac{1}{3}$	0,90	0,84	0,77	0,69	-	0,59	-	0,33
	$\frac{2}{3}$	0,95	0,92	0,88	0,84	-	0,79	-	0,67
	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	-	1,00

Beim Vorliegen von Teilen der Kollektive ober- und unterhalb der Bezugsspannung entsprechend Bild 15 ist jeder Teil des Kollektivs einem Normkollektiv zuzuordnen. Der dem Betrag der Spannungen nach größere Teil des Kollektivs erhält die Bezeichnung 1, dem entsprechend der dem Betrag der Spannungen nach kleinere Teil des Kollektivs die Bezeichnung 2.

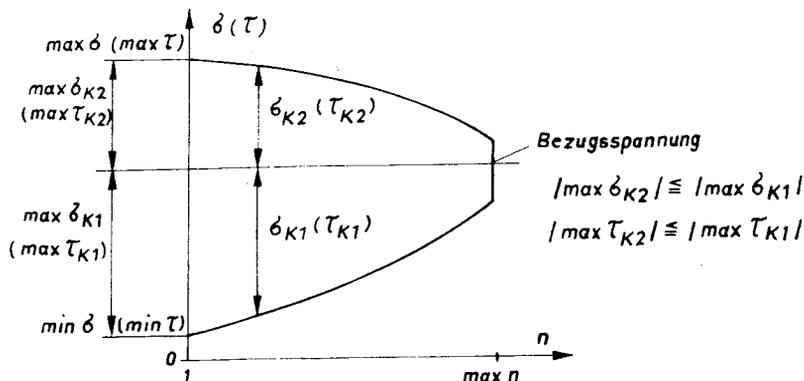


Bild 15

Im Bild 15 bedeutet:

max σ , min σ

max τ , min τ Grenzspannungen nach TGL 13500

max σ_{K1} , max τ_{K1} größte veränderliche Spannung des Teiles 1 des Kollektives

max σ_{K2} , max τ_{K2} größte veränderliche Spannung des Teiles 2 des Kollektives

In Abhängigkeit von den Werten K und max n der Normkollektive, enthält die Tabelle 9 den Umrechnungsfaktor r. Beim Vorliegen von Teilen der Kollektive ober- und unterhalb der Bezugsspannung ist je der größte Wert für K und max n, die sich aus den zugeordneten Normkollektiven ergeben, bei der Ermittlung des Umrechnungsfaktors r zu benutzen.

Umrechnungsfaktor r

Tabelle 9

Nachweis		Zeitfestigkeit	Dauerfestigkeit	
max n		$5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$	10^7
Kollektiv- beiwert K	0	0,4	0,4	0,5
	$\frac{1}{3}$	0,6	0,6	0,7
	$\frac{2}{3}$	0,8	0,8	0,9
	1,0	1,0	1,0	1,1

Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis erfolgt mit Hauptlasten nach Abschnitt 2.1.1. bis 2.1.6., wobei von den Lasten nach Abschnitt 2.1.3. bis 2.1.5. nur die ungünstigste zu berücksichtigen ist.

Lasten nach Abschnitt 2.1.5. können entfallen, wenn sie nicht in ausreichender Häufigkeit auftreten.

Für Lasten nach Abschnitt 2.1.3. bis 2.1.5. können auch Lasten nach Abschnitt 2.2.1. bis 2.2.7. treten, wenn sie in entsprechender Größe, Häufigkeit und gleichzeitig mit den anderen Hauptlasten auftreten.

Wenn Drehen, Fahren und Wippen zum normalen Arbeitsspiel gehören, so sind die dabei im Betrieb auftretenden Laststellungen beim Aufstellen der Spannungskollektive zu berücksichtigen.

Werden beim Ermüdungsfestigkeitsnachweis auch Zusatzlasten berücksichtigt, so dürfen die zulässigen Spannungen nach TGL 13500 beim Einzelspannungsnachweis die zulässigen Werte des Lastfalles HZ nicht überschreiten.

Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis für tragende Maschinenbauteile hat nach den Regeln des Maschinenbaues zu erfolgen.⁹⁾

3.3. Formänderungsnachweis

Die Formänderungen sind zu ermitteln, wenn diese zum Nachweis der Funktionstüchtigkeit oder zur Beurteilung der Schwingungseigenschaften des Tragwerkes notwendig sind. Für den Formänderungsnachweis sind nur Tot- und Hublasten zu berücksichtigen. Lochabzüge bleiben unberücksichtigt. Näherungsverfahren sind zulässig.

3.4. Standsicherheitsnachweis

Der rechnerische Standsicherheitsnachweis dient zum Nachweis der Sicherheit gegen Umkippen. Er ist für die Belastungsfälle nach Tabelle 11 und für das Abfallen der Hublast zu führen, wenn diese Sicherheit nicht zweifelsfrei feststeht. Rechnerische Standsicherheitsnachweise dürfen entfallen, wenn bei der Standsicherheitsprüfung keine Belastung unberücksichtigt bleibt. Für freizügig ortsveränderliche Krane und nicht auf Schienen verfahrbare kranähnliche Ladegeräte dürfen für die Belastungsfälle Betrieb nach Abschnitt 3.4.1. und Überlast nach Abschnitt 3.4.2. die rechnerischen Standsicherheitsnachweise entfallen.

⁹⁾ siehe Hinweise 7. und 9.

Für derartige Hebezeuge ist die Auswirkung des Betriebswindes beim Aufstellen der Tragkraftkurven zu berücksichtigen.

Sofern kein genauere Nachweis - z. B. nach der Energiemethode - erbracht wird, ist nachzuweisen, daß alle als statisch wirkend anzunehmenden Lasten und Kräfte nach Tabelle 11 in ihrer ungünstigsten Lage und Größe auf eine Kippkante bezogen, das Hebezeug nicht zum Umkippen bringen. Die Resultierende muß demzufolge die von den Kippkanten gebildete Unterstüztungsfläche durchstoßen.

Die Zuordnung zu den kippend wirkenden und den dem Kippen entgegenwirkenden Totlasten erfolgt jeweils für ganze Bauteile, z. B. Drucklenker, entsprechend der Lage ihres Schwerpunktes zur Kippkante.

Allgemein wird waagerechte Gleislage und ebener, nicht nachgiebiger Boden vorausgesetzt. Dagegen sind Baukrane stets mit einer Schrägstellung von 1 % zu berechnen, sofern nicht mit dem Besteller andere Werte vereinbart werden. Erfahren Hebezeuge eine Schrägstellung entsprechend Abschnitt 2.4., so ist für diese der Nachweis mit der in der Betriebsanweisung anzugebenden verminderten Tragkraft zu erbringen, z. B. Eisenbahn-Drehkran auf Gefällstrecke.

Der horizontale Abstand zwischen Hublast und vorderer Kippkante beträgt im Belastungsfall Betrieb (Bild 16)

$$a = a_0 + \delta \cdot \frac{h}{b} \quad (19)$$

Für die anderen Lastfälle gilt $a = a_0$

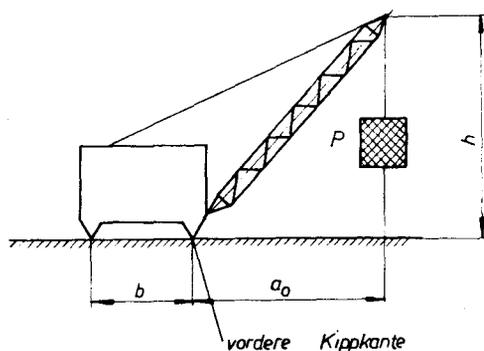


Bild 16

In Gleichung (19) und Bild 16 bedeutet:

- P** Hublast gemäß Abschnitt 2.1.2. in Mp
- a** rechnerischer horizontaler Abstand der Hublast zur vorderen Kippkante in m
- a₀** vorhandener horizontaler Abstand der am Hebezeug hängenden Hublast zur Kippkante in m
- h** senkrechter Abstand zwischen Kippkante und Mitte Seilrolle des Auslegers in m. Beim Portalkran mit Kragarm als Fahrbahn für Laufkatze oder Drehkran ist beim Standsicherheitsnachweis des Portalkranes $h = 0$ zu setzen.
- b** horizontaler Abstand zwischen hinterer und vorderer Kippkante
- δ** Faktor nach Tabelle 10 in m

Der Anteil $\delta \cdot \frac{h}{b}$ ist ein Zuschlag, der das dynamische Verhalten der am Hebezeug hängenden Hublast beim Ausführen von Bewegungen berücksichtigt.

3.4.1. Belastungsfall "Betrieb"

Treten Reiß-, Stoß- oder Schlagkräfte nach Abschnitt 2.1.4. auf, so ist ihr 1,1facher Wert anstelle von $1,05 \cdot P$ bzw. $1,10 \cdot P$ und $P \cdot \psi (0,3 + 0,025 \cdot \frac{h}{a})$ zu setzen.

Von den Massenkräften aus Fahr-, Dreh- und Wippbewegungen entsprechend den Abschnitten 2.2.2. bis 2.2.5. sind nur die beiden zu berücksichtigen, die das Standvermögen am ungünstigsten beeinflussen.

Der Anteil des Kippmomentes aus den Totlasten, der 50 % des Standmomentes überschreitet, ist durch eine transformierte Kraft in der Wirkungslinie der Hublast anzusetzen und als Hublast zu betrachten.

3.4.2. Belastungsfall "Überlast"

Beim Portalkran mit Fahrbahn für Laufkatze oder Drehkran ist beim Fehlen der Überlastsicherung in Tabelle 11 der Wert $1,25 P$ auf $2,00 P$ zu erhöhen.

Treten Reiß-, Stoß- und Schlagkräfte nach Abschnitt 2.1.4. auf, so ist ihr 1,25facher Wert anstelle von $1,25 P$ und $P \cdot \psi (0,3 + 0,025 \cdot \frac{h}{a})$ zu setzen.

3.4.3. Belastungsfall "Abfallen der Hublast"

Wenn kein genauere dynamischer Nachweis der Standsicherheit erfolgt, wird durch Energiebetrachtungen die Standsicherheit nachgewiesen. Alle nach dem Abfallen der Hublast verbleibenden Totlasten müssen die ungünstigste Stellung und die ungünstigste Größe für ein Umkippen nach hinten besitzen. Windkräfte sind nicht zu berücksichtigen.

Faktor δ in m

Tabelle 10

Art der Abstützung	starre Ausleger	verstellbare Ausleger	
		ohne Seiltrieb z. B. hydraulisch	mit Seiltrieb
starre Abstützung des Hebezeuges auf der Fahrbahn	0,01	0,02*	0,04
weiche Abstützung des Hebezeuges auf der Fahrbahn z. B. Reifen	0,02	0,03	0,05

Tabelle 11

Belastungsfall	Totlasten ¹⁰⁾¹¹⁾ (G) nach Abschnitt 2.1.1.	Hublasten ¹⁰⁾ (P) nach Abschnitt 2.1.2.	Massenkräfte ¹⁰⁾		Windlasten	
			aus Heben oder Senken nach Abschnitt 2.1.3.	aus Fahr-, Dreh- und Wippbewegung nach Abschnitt 2.2.2. bis 2.2.5.	im Betrieb (q nach Tabelle 5) nach Abschnitt 2.2.8.	bei Sturm (q nach Tabelle 6) nach Abschnitt 2.2.8.
Betrieb	kippend wirkend	$1,05 \cdot P^{*12)}$ $1,10 \cdot P$	$P \cdot \psi (0,3 + 0,025 \frac{h}{a})$	$1,0 \cdot (B + Z + T + u. a.)$	$1,1 \cdot W$	-
Überlast	$1,05 \cdot G$	$1,25 \cdot P$	$P \cdot \psi (0,3 + 0,025 \frac{h}{a})$	-	-	-
Sturm	dem Kippen entgegenwirkend	Lastaufnahme mittel	-	-	-	$1,1 \cdot W$
Aufrichten des Hebezeuges	$0,95 \cdot G$	-	-	-	-	-

¹⁰⁾ Die Totlasten, Hublasten und Massenkräfte sind gegebenenfalls Null zu setzen, wenn dadurch das Standvermögen am ungünstigsten beeinflusst wird.

¹¹⁾ Sofern eine Standsicherheitsberechnung mit detaillierten Totlasten und Schwerpunktabständen erfolgt und durch Kippversuche über die vordere und ungünstigste hintere Kippkante kontrolliert wird, darf mit $1,0 \cdot G$ gerechnet werden.

¹²⁾ Beim Vorhandensein einer Lastmomentensicherung, die Horizontalkräfte berücksichtigt, gilt $1,05 \cdot P$. Für alle anderen Fälle gilt $1,10 \cdot P$.

Für alle Auslegerkrane ist nachzuweisen, daß die durch das Anheben der Hublast im Hebezeug gespeicherte Energie E_1 kleiner ist als die zum Umkippen erforderliche Energie E_2

$$E_1 < E_2$$

$$E_1 = \frac{1}{2} f \cdot P \quad (20)$$

$$E_2 = (\sqrt{e_1^2 + e_2^2} - e_1 - \Delta f) G$$

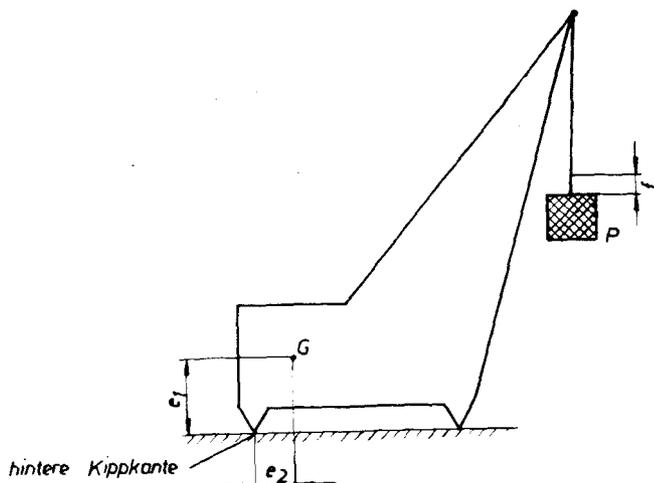


Bild 17

In Gleichung (20) und Bild 17 bedeutet:

- P Hublast gemäß Abschnitt 2.1.2.
 f Vertikalverschiebung des Lastaufhängepunktes unter der Wirkung von P ohne Berücksichtigung der Längenänderung des Hubseiles
 G Totlast gemäß Abschnitt 2.1.1.
 e_1, e_2 Schwerpunktabstände der Totlast zur hinteren Kippkante vor dem Abfallen der Hublast
 Δf Differenz der Einfederung der hinteren Kippkante vor dem Abreißen der Hublast zur Einfederung beim Abstützen des gesamten Kranes ohne Hublast auf die hintere Kippkante.

Für Auslegerkrane, deren Ausleger durch Seile gehalten werden, ist zusätzlich nachzuweisen, daß die im Auslegersystem gespeicherte Energie E_3 kleiner ist als die zum Anlegen des Auslegers an den Kran erforderliche Energie E_4 , (Bild 18)

$$E_3 < E_4$$

$$E_3 = \frac{1}{2} \sum \frac{S_N^2 \cdot l_1}{E_S \cdot F_N} + \frac{1}{2} \sum \frac{S_G^2 \cdot l_2}{E \cdot F_G} \quad (21)$$

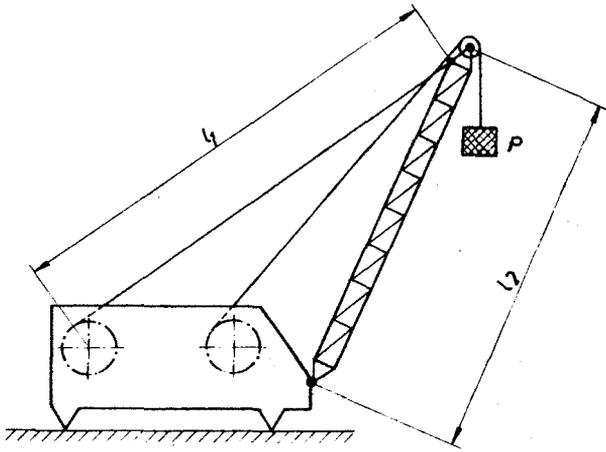


Bild 18

In Gleichung (21) und Bild 18 bedeutet:

- P Hublast gemäß Abschnitt 2.1.2.
 l_1, l_2 wirksame elastische Länge des Nackenseiles und des Auslegers
 S_N Nackenseilkräfte unter der Wirkung der Hublast
 S_G Gurtkräfte im Ausleger unter der Wirkung der Hublast
 E_S Elastizitätsmodul der Seile
 F_N metallische Querschnittsflächen der Nackenseile
 F_G Auslegergurtflächen

Wesentliche Flächen- und Kraftänderungen in einem Längenabschnitt l sind zu berücksichtigen. Die Energie E_3 kann um das Arbeitsvermögen elastischer Rückschlagsicherungen und Puffer vermindert werden, wenn der Ausleger die dabei entstehenden Kräfte aufnehmen kann, Bild 19.

$$E_4 = G_A (e_4' - e_4)$$

(22)

$$e_4' = \sqrt{e_4^2 + e_3^2 - e_3'^2}$$

Wenn $\alpha' \cong 90^\circ$ wird, dann gilt $e_3' = 0$

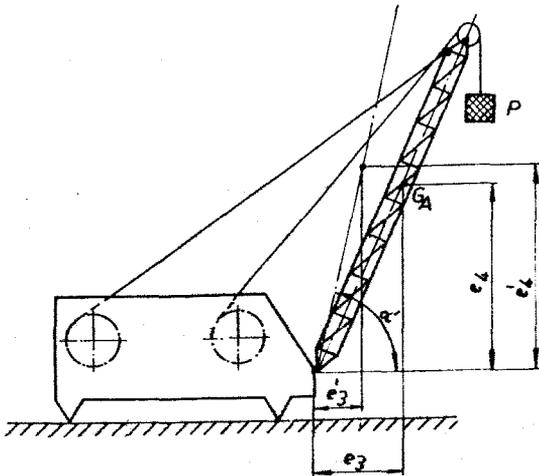


Bild 19

In Gleichung (22) und Bild 19 bedeutet:

G_A	Totlast des Auslegers
P	Hublast gemäß Abschnitt 2.1.2.
e_3, e_4	Schwerpunktabstände des Auslegers zum Auslegeranlenkpunkt
e'_3, e'_4	Schwerpunktabstände des zurückgeschlagenen Auslegers zum Auslegeranlenkpunkt
α'	Auslegerwinkel des zurückgeschlagenen Auslegers

3.4.4. Kippkante

Die Kippkante ist durch zwei im allgemeinen als unverschieblich anzunehmende Auflage- oder Gelenkpunkte festgelegt. Sie ist die Achse, um die das als starrer Körper zu betrachtende Hebezeug beim Umkippen dreht. Kippkanten können von der Horizontalen abweichen, Bild 20.

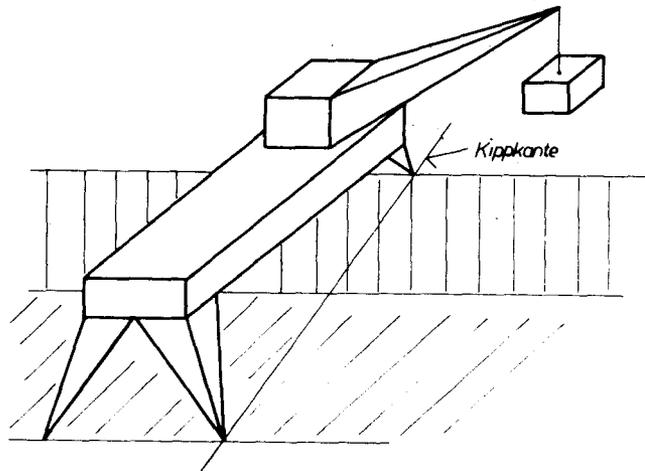


Bild 20

Ist die Starrheit des Hebezeuges nicht gegeben, so daß das Umkippen nicht gleichzeitig, sondern für Teile nacheinander erfolgt, dann ist der Nachweis für diese getrennt zu führen, z. B. bei einem Vollportalkran mit großer Spannweite wegen des elastischen Nachgebens des Brückenkörpers der Nachweis für jede Stütze getrennt, Bild 21.

Als Kippkante gilt:

bei Auto- und Mobilkränen

mit Abstützungen die Verbindungslinie der Stützenmitten. Befinden sich vor einer Kippkante nachgiebige Stützen (z. B. Räder mit Luftreifen), dann dürfen diese Stützen mit herangezogen werden, Bild 22  ;

ohne Abstützungen und ohne Achsfederung oder mit blockierter Achsfederung die Verbindungslinie der Bodenberührungspunkte der Räder (bei Doppelbereifung gilt der Berührungspunkt des äußeren Reifens), Bild 22 und 23  ;

mit frei schwingender Achsfederung, die im Stand belastet werden, die Verbindungslinie der Federangriffspunkte, Bild 22 und 23  ;

mit frei schwingender Achsfederung, die mit Last gefahren werden, die Verbindungslinie der Federangriffspunkte; dabei muß der Schwerpunkt des abgefederten Kranteils innerhalb der Kernfläche liegen, Bild 22 und 23  ;

bei Raupenkränen die Verbindungslinien der Kippunkte von Kettenrädern und Raupenkette, Bild 24.

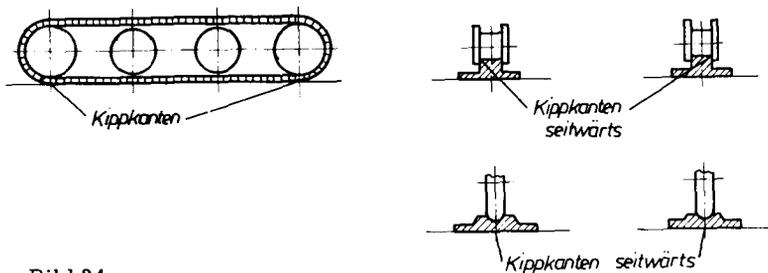


Bild 24

3.4.5. Kippsicherungen

Kippsicherungen dürfen nur, wenn die Stützkonstruktion die sich ergebenden Kräfte aufnehmen kann, in Rechnung gesetzt werden:

Im Belastungsfall "Betrieb" nur Sicherungen, die die vorgesehene Bewegungsfähigkeit des Hebezeuges nicht hindern, z. B. Gegendruckrollen, Drehsäulen.

Im Belastungsfall "Überlast" neben den vorher genannten solche Sicherungen, die nicht beim Anfahren des Hebezeuges gelöst werden müssen, z. B. Fanghaken oder Klauen, Zentrierzapfen.

Im Belastungsfall "Sturm" neben den vorher erwähnten auch lösbare Sicherungen (z. B. Schienenklammern).

3.5. Standsicherheitsprüfung

Die Standsicherheitsprüfung ist an kippgefährdeten Hebezeugen vorzunehmen. Die Festlegungen dieses Punktes gelten nicht für Flurförderzeuge.

Die Standsicherheitsprüfung hat unter den vom Hersteller vorgeschriebenen Aufstellungsbedingungen zu erfolgen (waagerechter Untergrund, waagerechte Gleislage, geneigter Untergrund). Entsprechend den Einsatzmöglichkeiten des Hebezeuges ist die Prüfung mit und ohne Abstützungen bei kleinster und größter Ausladung bzw. den ungünstigsten Laststellungen durchzuführen.

Bei Hebezeugen mit verschiedenen Auslegerarten ist jede Auslegerart zu prüfen.

Bei Hebezeugen mit veränderlichen Auslegerlängen bzw. verschiedenen Auslegerkombinationen hat die Prüfung in einem solchen Umfang zu erfolgen, daß die Standsicherheit als ausreichend nachgewiesen angesehen werden kann.

Die Prüfung kann bei einer Windgeschwindigkeit erfolgen, bis zu der vom Hersteller der Betrieb des Hebezeuges in der jeweiligen Aufstellungsvariante zugelassen ist.

Die Größe der Prüflast bezieht sich im allgemeinen auf den in der Tragkrafttabelle angegebenen Wert.

Überschreitet das Kippmoment aus den Totlasten 50 % des Standmomentes, so ist eine zusätzliche Prüflast aufzubringen. Diese zusätzliche Prüflast ist in der Wirkungslinie der Hublast anzusetzen. Die Größe der zusätzlichen Prüflast ist so zu wählen, daß sich eine Erhöhung des Kippmomentes, das 50 % des Standmomentes überschreitet, um 10 % bzw. 25 % ergibt.

Bei der Standsicherheitsprüfung von Drehkränen ist die Ausladung in einer horizontalen Ebene von der Drehmitte des unbelasteten Kranes aus zu messen.

3.5.1. Prüfung mit 10 % Überlast

Alle Bewegungen sind in den vom Hersteller angegebenen Kombinationen und mit den zulässigen Arbeitsgeschwindigkeiten auszuführen.

Bei gleislosen Auslegerkränen dürfen sich Räder oder Abstützungen kurzzeitig vom Boden abheben, eine Dreieckabstützung muß erhalten bleiben.

Bei Raupenkränen darf sich in keiner Stellung eine der Tragrollen von den Raupenkettten abheben.

3.5.2. Prüfung mit 25 % Überlast

Alle Bewegungen (ausgenommen die Fahrbewegung gleisloser Auslegerkrane) sind einzeln mit der kleinsten Geschwindigkeit auszuführen.

Die Hublast ist nur wenig anzuheben.

Das Lastpendeln ist durch geeignete Maßnahmen einzuschränken.

Bei gleislosen Auslegerkränen dürfen sich Räder oder Abstützungen vom Boden abheben, eine Dreieckabstützung muß erhalten bleiben.

Bei Raupenkränen dürfen sich Tragrollen von den Raupenkettten abheben.

3.6. Nachweis gegen Abtreiben durch Wind

Es ist für das im Freien auf ebener Fahrbahn arbeitende Hebezeug nachzuweisen, daß die fahrbaren Teile nicht abgetrieben werden. Bei größtmöglicher Entlastung der gebremsten Räder durch entsprechende Auslegerstellung und gegebenenfalls Windrichtung muß sein.

$$\begin{aligned} \text{Belastungsfall "Betrieb"} \quad & 1,1 \cdot W_1 \leq \mu \cdot \sum R_{B1} + \beta \cdot \sum R_{R1} \\ \text{Belastungsfall "Sturm"} \quad & 1,25 \cdot W_2 \leq \mu \cdot R_{B2} + \beta \cdot \sum R_{R2} + \sum Z \end{aligned} \quad (23)$$

In Gleichung (23) bedeutet:

- W_1 In der Ebene der Radberührungsstellen in Fahrtrichtung wirkende Horizontalkomponente aus Windlast mit einem Staudruck q entsprechend der Tabelle 5 des Abschnittes 2.2.8.
- W_2 Text entsprechend W_1 , nur q nach Tabelle 6
- $\sum R_{B1}$ Summe der Vertikallasten der gebremsten Laufräder aus G, P^{*13}) und $1,1 \cdot W_1$
- $\sum R_{B2}$ Summe der Vertikallasten der gebremsten Laufräder aus G und $1,25 \cdot W_2$
- $\sum R_{R1}$ Summe der Vertikallasten der nicht gebremsten Laufräder aus G, P^{*13}) und $1,1 \cdot W_1$
- $\sum R_{R2}$ Summe der Vertikallasten der nicht gebremsten Laufräder aus G und $1,25 \cdot W_2$
- $\sum Z$ Summe der Horizontalkräfte der Schienenzangen und anderer Sicherungen, die im Belastungsfall "Sturm" angesetzt werden dürfen¹⁴⁾.
- Für Gleitreibung zwischen Schiene und Schienenzange (Anlageflächen aufgeraut und gehärtet)
 $\mu = 0,25$
- μ Mittelwert für die Reibung zwischen Rad und Schiene, $\mu = 0,12$ für Stahl auf Stahl, in Ausnahmefällen kann dieser Wert wesentlich absinken, z. B. $\mu = 0,07$ für Schienen mit geschlossenem Ölfilm.
- β Fahrwiderstandsbeiwert
 bei Gleitlagerung $\beta \approx 0,02$
 bei Wälzlagerung $\beta \approx 0,007$
- Höhere Reibungsbeiwerte dürfen bei Anwendung besonderer baulicher Maßnahmen in Rechnung gestellt werden.

$\mu \cdot \sum R_{B1}$ oder $\mu \cdot \sum R_{B2}$ gelten nur, wenn die Bremsen diese Kraft aufnehmen können. Sonst ist der Wert einzusetzen, der von den Bremsen aufgenommen werden kann.

* 13) P ist Null zu setzen, wenn dadurch die Nachweise ungünstiger werden.

14) Die Weiterleitung der Kräfte bis zur Stützkonstruktion der Schiene muß gewährleistet sein.

Wenn die einzelnen Teile eines Hebezeuges getrennt abtreiben können, ist der Nachweis dafür zu führen.

Die zur Sicherung gegen Abtreiben angeordneten Vorrichtungen müssen in jeder Stellung des Hebezeuges wirken können.

Für freizügig ortsveränderliche Krane entfällt der Nachweis.

4. BESONDERE REGELN DER BERECHNUNG UND BAULICHEN DURCHBILDUNG

4.1. Allgemeines

Ergänzend zu TGL 13500 wird folgendes Koordinatensystem definiert:

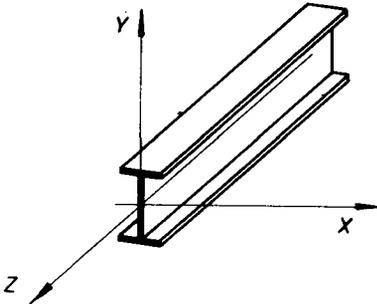


Bild 25

4.2. Radlasteinleitung

Die auf dem Gurt in Längsrichtung schubfest befestigte Schiene bildet mit diesem einen zusammengesetzten Querschnitt und ist entsprechend anzuschließen.

Wird die Schiene längsverschieblich gelagert, dann wirkt sie nicht als Teil des Trägers. Die Längsverschiebung (Wanderung) ist durch geeignete Maßnahmen zu begrenzen.

Für genietete Träger ist die Verteilungslänge l_v für die Radlast nach Bild 26 und Gleichung (24) anzunehmen.

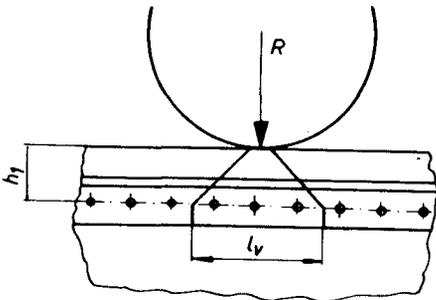


Bild 26

$$l_v = 2 \cdot h_1 + 5 \text{ cm}$$

in cm

(24)

Bei bearbeitetem, am Gurt anliegendem Stegblech ist bei der Berechnung der Halsniete die Radlast R nicht zu berücksichtigen, Bild 27. -

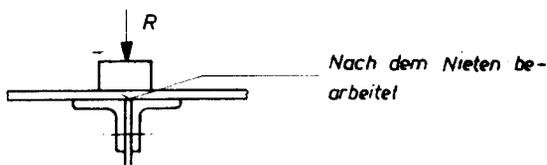


Bild 27

Für geschweißte Träger ist die Verteilungslänge l_v der Radlast längs der Stegblechkante (Bild 28) in Abhängigkeit vom Abstand h_1 , dem Trägheitsmoment J_g und der Dicke s_1 des Stegbleches (Bild 29) nach Bild 30 anzunehmen. Im allgemeinen kann bei Kehlnähten kein Kontakt zwischen Gurt- und Stegblech angenommen werden.

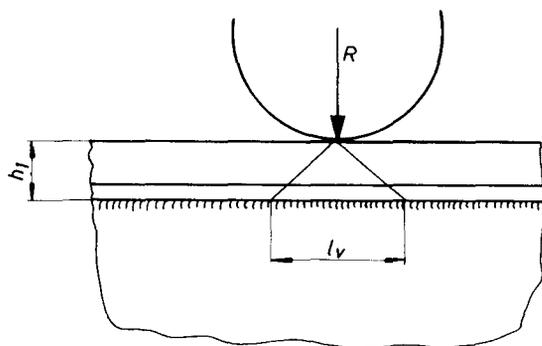


Bild 28

Bei Verwendung einer elastischen Zwischenlage zwischen Schiene und Gurt kann die Höhe h_1 um h'_1 vergrößert werden.

$$h'_1 = 34,2 \cdot \sqrt[4]{\frac{J_s}{b \cdot k}} \quad \text{in cm} \quad (25)$$

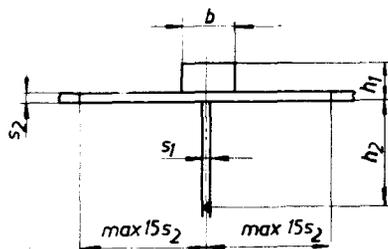


Bild 29

Es bedeutet:

- h_1 Abstand zwischen Schienenoberkante und Nachweisebene (unter Beachtung des Verschleißes der Schiene) in cm.
- s_1 Stegblechdicke in cm
- s_2 Gurtdicke in cm
- b Schienenfußbreite in cm
- J_g Trägheitsmoment von Schiene und Gurt in cm^4 . Bei schubfester Verbindung zwischen Schiene und Gurt ist J_g das Gesamtträgheitsmoment von Schiene und Gurt, unter Berücksichtigung einer mittragenden Breite von maximal $15s_2$ nach jeder Seite, bezogen auf die gemeinsame Schwerachse. Bei nicht schubfester (längsverschieblicher) Verbindung sind die Einzelträgheitsmomente, bezogen auf die jeweilige Schwerachse, zu addieren.
- J_s Trägheitsmoment der Schiene in cm^4
- k Bettungsziffer der elastischen Zwischenlage in $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2 \cdot \text{cm}}$

Ist im Schienenstoß nicht das volle Trägheitsmoment der Schiene vorhanden, dann darf nur $\frac{J_S}{4}$ in Rechnung gesetzt werden.

Für Stegblechstöße im Abstand h_2 von der Stegblechkante (Bild 29) ist die Verteilungslänge

$$l'_V = l_V + 1,57 \cdot h_2 \quad \text{in cm} \quad (26)$$

Die Spannung im Stegblech und in der Halsnaht als K-, HV- oder Doppelkehlnaht beträgt

$$\sigma_y = \frac{R}{l_V \cdot s} \quad (27)$$

Die Spannung im Stegblechstoß beträgt analog

$$\sigma_y = \frac{R}{l'_V \cdot s} \quad (28)$$

In Gleichung (26) bis (28) bedeutet:

- R Radlast des entsprechenden Lastfalles in Mp
 h_2 Abstand zwischen Halsnaht und Stegblechnaht in cm
s Stegblechdicke oder entsprechende Schweißnahtabmessung in cm
 l_V Verteilungslänge nach Bild 30
 l'_V Verteilungslänge nach Gleichung (26) in cm

Nachweise

Der statische Spannungsnachweis ist nach TGL 13500 zu führen.

Für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis gelten abweichend von der TGL 13500 die zulässigen Spannungen nach Tabelle 12

zul σ_{Dy} in $\frac{Mp}{cm^2}$
Tabelle 12

Werkstoff	Lastspielgruppe A	Lastspielgruppe B
St 38	1,50	1,60
St 52	1,60	1,70
St 45/60	1,60	2,10

Die Spannungen σ_y sind mit den Spannungen σ_z und τ_{zy} abweichend von der TGL 13500 nicht zu überlagern, wenn σ_z eine Druckspannung ist.

Diese Nachweise gelten für Radlasten ohne wesentliche Axialkräfte wie z. B. bei Laufrädern für Laufkatzen.

Treten größere Axialkräfte auf, so sind diese in die Festigkeitsberechnung einzubeziehen.

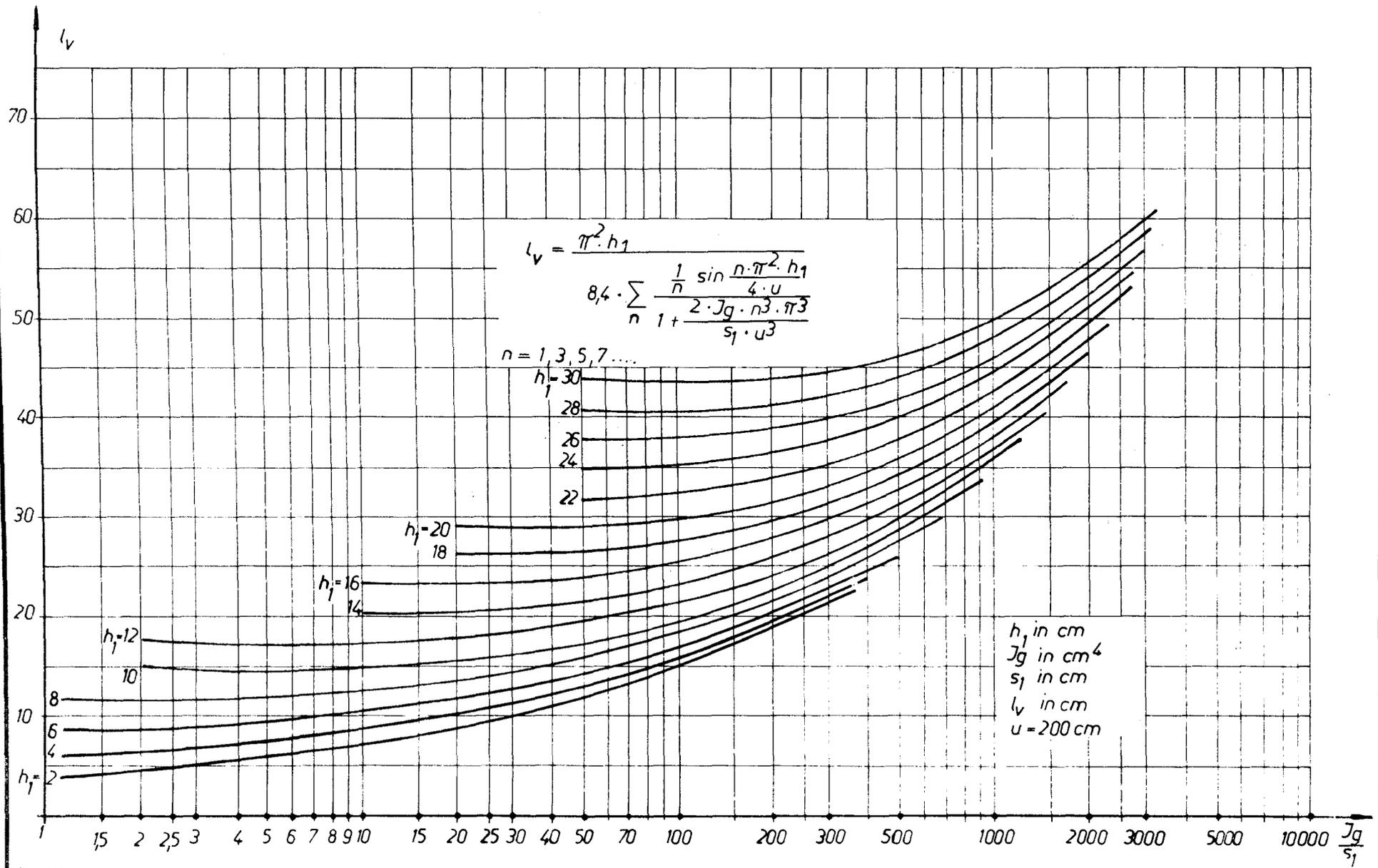


Bild 30

4.3. Radlasteinleitung in Flansche

Diese Festlegungen gelten für Radlasten ohne wesentliche Axialkräfte.

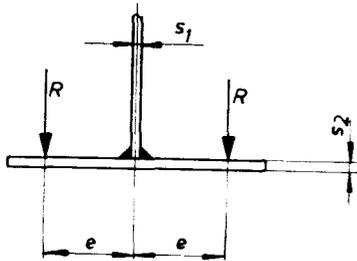


Bild 31

Neben den normalen Spannungsnachweisen müssen die örtlichen Spannungen bei Walzprofilen und geschweißten Profilen gesondert untersucht werden.

$$\sigma_z = \left(\sigma_{z0} + 1,6 \cdot \frac{R}{s_2} \right) 0,89 \leq \text{zul } \sigma_z \quad (29)$$

wobei $1,6 \cdot \frac{R}{s_2} \leq \text{zul } \sigma_z$ (30)

sein muß. Der Nachweis nach Gleichung (29) ist nur beim statischen Spannungsnachweis zu führen und entfällt, wenn σ_{z0} eine Druckspannung ist.

Im Bereich der Halsnähte gilt

$$\sigma_x = 2,1 \cdot \frac{R}{s_2} \leq \text{zul } \sigma_x \quad (31)$$

Beim Ermüdungsfestigkeitsnachweis gelten abweichend von TGL 13500 für $\text{zul } \sigma_{Dx}$ die zulässigen Zugspannungen der Linie III für die Lastspielgruppe B und der Linie IV für die Lastspielgruppe A.

Die Spannungen im Steg und in den Halsnähten betragen

$$\sigma_y = 1,6 \cdot \frac{R}{e \cdot s} \quad (32)$$

Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis ist abweichend von der TGL 13500 wie folgt zu führen

$$\left(\frac{\sigma_y}{\text{zul } \sigma_{Dy}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\text{zul } \tau_D} \right)^2 \leq 1,00 \quad (33)$$

Für das Stegblech gelten die zulässigen Spannungen der Linie III für die Lastspielgruppe B und der Linie IV für die Lastspielgruppe A. Für die Schweißnähte gelten die zulässigen Spannungen der Linie VI für die Lastspielgruppe B und der Linie VII für die Lastspielgruppe A.

Die Spannungen σ_x und σ_y sind auf den 1,9fachen Betrag zu erhöhen, wenn nicht geschweißte Flanschstöße vorliegen oder das befahrene Fahrband keine Stirnplatte besitzt. Die Flanschstöße sind mindestens in Ausführungsklasse I B zu fertigen.

Es bedeutet:

R	Radlast des entsprechenden Lastfalles in Mp
s ₁	Stegblechdicke in cm
s ₂	Flanschblechdicke in cm
s	Stegblechdicke oder entsprechende Schweißnahtabmessung in cm
e	Abstand der Radlasten zur Stegblechmitte in cm
σ_{z0}	Längsnormalspannung des Flansches
τ	Schubspannung aus der Querkraft des Profiles

4.4. Doppelwandige Querschnitte

Beim doppelwandigen Querschnitt mit Fahrschiene ist die Plattenbiegung zu berücksichtigen, wenn nicht die Obergurtplatte durch Längsträger und Querschotte in entsprechenden Abständen ausgesteift ist.

4.5. Direkt befahrene Fachwerkträger

Beim direkt befahrenen Fachwerkträger mit geschweißten Stabanschlüssen treten Zwangsspannungen auf.

Die Spannungen aus den Normalkräften der befahrenen Gurte müssen mit dem Erhöhungsfaktor 1,2 multipliziert werden. Die Biegemomente sind zu berücksichtigen. Dabei können die sich durch das Befahren ergebenden Knotenmomente entsprechend den Steifigkeiten auf die vom Knoten abgehenden Stäbe verteilt werden.

4.6. Schweißen an kaltverformten Blechen

Schweißnähte an kaltverformten Blechen entsprechend Bild 32 sind als Nähte der Ausführungsklasse II B auszuführen und einzustufen (Beanspruchung rechtwinklig zur Schweißnaht).

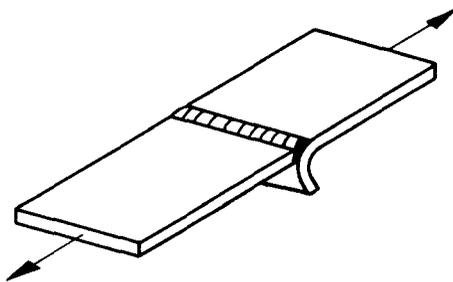


Bild 32

Die Festlegungen gelten für St 38 der Gütegruppen 2 u. 3 nach TGL 7960 und sind unabhängig von der Abkant- und Walzrichtung. Bei der Auswahl des Werkstoffes ist auch die Kaltverformung zu berücksichtigen.

Hinweise

1. Ersatz für TGL 13470 Ausgabe 4. 67

Änderungen gegenüber Ausgabe 4. 67:

Veränderungen der Lastannahmen

Aufnahme neuer Nachweise

Einführung des Betriebsfestigkeitsnachweises

2. Prüfstellen - Aufsichts- und Überwachungsorgane der DDR - für den Geltungsbereich dieses Standards sind Technische Überwachung und die von ihr anerkannten Prüfstellen; Deutsche Schiffsrevision und -klassifikation, Abnahmeamt der Deutschen Reichsbahn sowie Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung.

3. Im vorliegenden Standard ist auf folgende Standards Bezug genommen:

TGL 7960 Allgemeine Baustähle; Stahlmarken

TGL 13500 Stahlbau; Stahltragwerke; Berechnung und Bauliche Durchbildung

4. Stahlbau; Stabilitätsfälle; Berechnung nach zulässigen Spannungen

siehe TGL 13503/01 u. /02

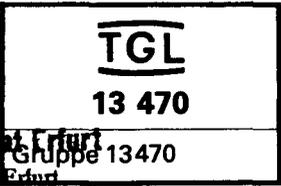
5. Stahlbau; Stahltragwerke; Herstellung und Abnahme

siehe TGL 13510

6. Prüfbescheinigungen für metallurgische Erzeugnisse siehe TGL 16988
7. Dauerschwingfestigkeit für stabförmige Bauteile aus Stahl.
Ermittlung, Werte, Berechnung siehe TGL 19340
8. Formelzeichen für allgemein angewandte physikalische Größen siehe TGL 0-1304
9. Berechnungsrichtlinien für Krantriebwerke des Institutes für Fördertechnik Leipzig.
10. Richtlinie zur schweißtechnischen Verarbeitung des höherfesten Baustahles St 45/60 des
Institutes für Fördertechnik Leipzig.
11. Richtlinie zur Prüfung von Importstählen der Stahltragwerke des Institutes für Fördertechnik Leipzig.



Stahlbau
Stahltragwerke der Hebezeuge
 Berechnung



VEB Technische Durchlichtkombinat Erfurt
 KB Industrieprojektierung Erfurt
 Betriebsteil Erfurt / Außenstelle Weimar
5930 WEIMAR

Umfang 16 Seiten

Verantwortlich/bestätigt: 31.7.1984, VEB Schwermaschinenbaukombinat TAKRAF, Leipzig

Verbindlich ab 1.11.1985

Informationstelle

In TGL 13 470 Ausg. 10.74 wurden die Seiten 11 bis 13, 18 bis 22 und 30 bis 36 geändert. Seite 11 bis 13, Abschnitt 2.2.6.; Seite 18, Abschnitt 2.4.1.; Seite 19 bis 22, Abschnitt 3.2.; Seite 32 bis 35, Abschnitt 4.2. und Seite 36, Abschnitt 4.3. erhielten vollständig neue Fassung (Bilder, Tabellen und Gleichungen in diesen geänderten Abschnitten erhielten neue Zählnummern). Seite 30 und 31, Abschnitt 3.5. wurde gestrichen (ersetzt durch TGL 30 350/16).

2.2.6. Horizontalkräfte an Laufrädern beim Fahren

Beim Fahren treten in Verbindung mit den nach Abschnitt 2.2.2. zu berechnenden Anfahr- und Bremskräften sowie infolge Schräglauf Horizontalkräfte in den Berührungspunkten zwischen den Laufrädern und den Schienen auf. Die Größe dieser Horizontalkräfte hängt von der Art der Stützung, von der Verteilung der vertikalen Raddruckkräfte und von der Ausbildung der Fahrwerke ab.

Im Normalfall (Vierpunktstützung mit $m = 1$ oder 2 Laufrädern je Eckpunkt, Spurkranzführung, gleiche Fahrwerke auf beiden Stützseiten) bilden sie, zu resultierenden Eckkräften zusammengefaßt, die im Bild 33 dargestellte Gleichgewichtsgruppe; die Seitenkräfte H_1, H_2, H_3 und H_4 sind auf die im betreffenden Eckpunkt vorhandenen Laufräder zu verteilen.

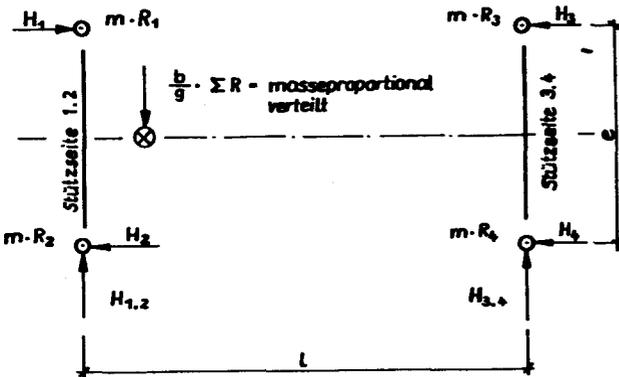


Bild 33

Das im Bild 33 dargestellte Kräftebild gilt für $R_1 = \max R$. Die Horizontalkräfte können auch in umgekehrter Richtung wirken. Bei der Berechnung der im Bild 33 enthaltenen Eckkräfte sind folgende Stützsysteme zu unterscheiden:
 System FF: Stützseite 1.2. und Stützseite 3.4. sind fest, alle Laufräder rechtwinklig zur Fahrtrichtung axial unverschieblich.

Mit $R_1 = \max R$

$$H_1 = H' + (0,5 - m \frac{\max R}{\Sigma R} + \frac{\chi_{FF}}{2}) \cdot \frac{\Sigma R}{26} \quad (34)$$

$$H_2 = H' + \frac{\chi_{FF}}{26} \cdot m \cdot \max R \quad (35)$$

$$H_3 = -H' + (0,5 - m \frac{\max R}{\Sigma R}) \cdot \frac{\Sigma R}{26} \quad (36)$$

$$H_4 = H' + (0,5 - m \frac{\max R}{\Sigma R}) \cdot \frac{\Sigma R}{26} \cdot \chi_{FF} \quad (37)$$

$$H_{1,2} = 0,5 \left(\frac{b}{g} - \frac{\chi_{FF}}{26} \cdot \frac{e}{l} \right) \cdot \Sigma R \quad (38)$$

$$H_{3,4} = 0,5 \left(\frac{b}{g} + \frac{\chi_{FF}}{26} \cdot \frac{e}{l} \right) \cdot \Sigma R \quad (39)$$

System FL: Stützseite 1.2. fest, Stützseite 3.4. lose (z. B. als Pendelstütze ausgebildet)

Mit $R_1 = R_F$

$$H_1 = H_2 = 2 \left(m \frac{R_F}{\Sigma R} - \frac{1}{4} \right) \cdot \frac{1}{e} \cdot \frac{b}{g} \cdot \Sigma R + \frac{\chi_{FL}}{26} \cdot m \cdot R_F \quad (40)$$

$$H_3 = H_4 = 0 \quad (41)$$

$$H_{1,2} = 0,5 \cdot \frac{b}{g} \cdot \Sigma R - \frac{\chi_{FL}}{26} \cdot \frac{e}{l} \cdot m \cdot R_F \quad (42)$$

$$H_{3,4} = 0,5 \cdot \frac{b}{g} \cdot \Sigma R + \frac{\chi_{FL}}{26} \cdot \frac{e}{l} \cdot m \cdot R_F \quad (43)$$

Im Bild 33 und in den Gleichungen (34) bis (43) bedeutet:

- m Zahl der Laufräder je Eckpunkt ($m = 1$ oder 2)
- R_1, R_2 vertikale Raddruckkräfte aus Totlasten nach Abschnitt 2.1.1. und Hublasten
- R_3, R_4 nach Abschnitt 2.1.2.

$$\Sigma R = m (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \quad (44)$$

Verlag: Verlag für Standardisierung - Bezug: Standardversand, 7010 Leipzig, Postfach 1068

(III-11-4) Lizenz-Nr. 785

$\frac{b}{g}$ relative Beschleunigung nach Abschnitt 2.2.2.

Vereinfacht gilt mit $\mu = 0,12$

$$\frac{b}{g} = 0,12 \cdot n \cdot \frac{\min R}{\Sigma R} \quad (45)$$

n Zahl aller angetriebenen und gebremsten Laufräder

$\min R$ kleinste im Betriebszustand mögliche Raddruckkraft der angetriebenen bzw. gebremsten Räder; in der Regel nur aus Totlasten nach Abschnitt 2.1.1., bei Hebezeugen mit Kragarm oder Ausleger aus Totlasten nach Abschnitt 2.1.1. und Hublasten nach Abschnitt 2.1.2.

$\max R$ größte im Betriebszustand mögliche Raddruckkraft aus Totlasten nach Abschnitt 2.1.1. und Hublasten nach Abschnitt 2.1.2.

R_F Raddruckkraft eines Rades auf der Feststützseite aus Totlasten nach Abschnitt 2.1.1. und Hublasten nach Abschnitt 2.1.2.

e Abstand der Eckpunkte (Abstand der Mittelpunkte der Lauftradgruppen)

l Spannweite

$$H' = \left(m \cdot \frac{\max R}{\Sigma R} - \frac{1}{4} \right) \cdot \frac{1}{e} \cdot \frac{b}{g} \cdot \Sigma R \quad (46)$$

χ_{FF}, χ_{FL} Schräglauffaktoren nach Bild 34 und 35

k Anzahl der mittels mechanischer oder elektrischer Welle gekoppelten Lauftradpaare dividiert durch die Gesamtanzahl aller Lauftradpaare, wobei 2 Laufräder, die auf verschiedenen Stützseiten laufen, aber in gleicher Achslinie liegen, als ein Lauftradpaar gelten ($0 < k < 1$; bei Einzelradantrieb ohne Drehzahlkopplung mit anderen Fahrtrieben $k = 0$).

Die Berechnung der beim Fahren auftretenden Horizontalkräfte an Laufrädern in allen vom Normalfall abweichenden Fällen, z. B. bei Spurrollenführung, bei Dreipunktstützung oder bei mehr als 2 Laufrädern je Eckpunkt, hat in Abstimmung mit der zuständigen Prüfstelle zu erfolgen (siehe Hinweise).

Die beim Fahren auftretenden Horizontalkräfte an Laufrädern brauchen in der Regel nur bei den Bauteilen berücksichtigt zu werden, die maßgeblich durch diese Kräfte beansprucht werden, z. B. bei Kopfträgern, Fahrwerksschwingen, Feststützen und bei deren Anschlüssen.

Seitenkräfte an Laufrädern beim Fahren sind nur gemeinsam mit Anfahr- und Bremskräften nach Abschnitt 2.2.2. anzunehmen.

Der Mindestwert der anzusetzenden Seitenkraft eines Laufrades beträgt $\frac{1}{20}$ der größten Raddruckkraft aus Totlasten nach Abschnitt 2.1.1. und Hublasten nach Abschnitt 2.1.2.

Diese Mindestwerte sind so anzusetzen, daß sie am Fahrwerk insgesamt eine Gleichgewichtsgruppe bilden.

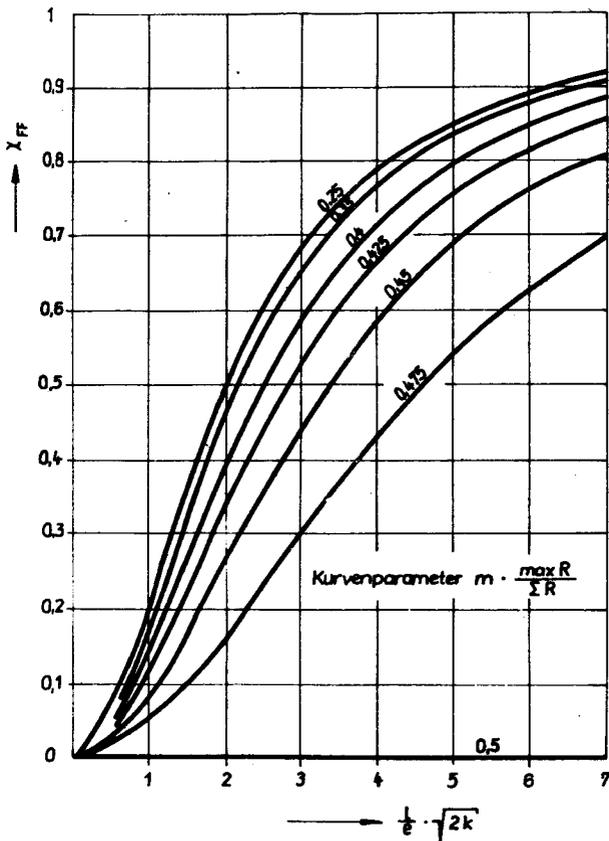


Bild 34

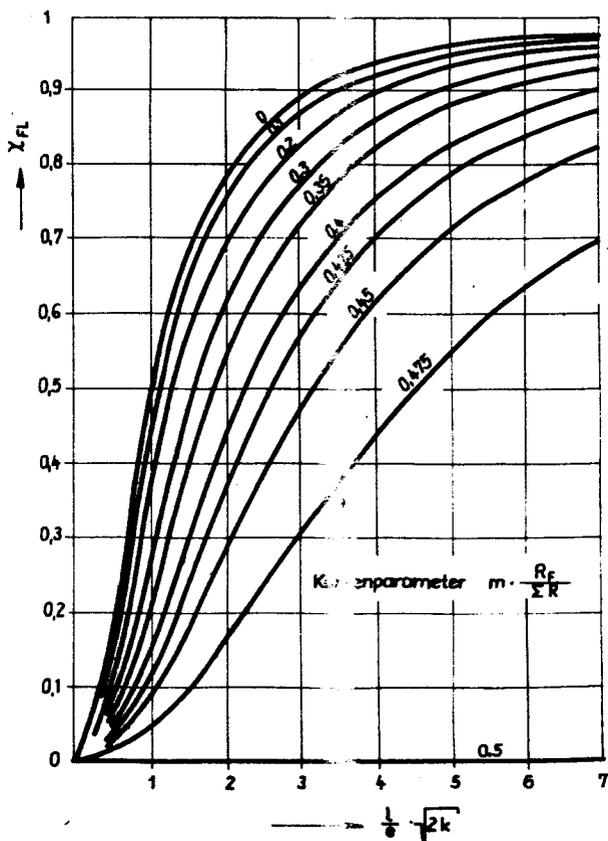


Bild 35

2.4.1. Grenzlastfall H

Der Grenzlastfall H ist aus Hauptlasten und ausgewählten Zusatzlasten wie folgt zu bilden:

- bei normal arbeitenden Hebezeugen mit einer durchschnittlichen Arbeitsspieldauer von etwa 2 min oder mehr allein aus Hauptlasten nach Abschnitt 2.1., wobei, wenn die Massenkraft aus Heben oder Senken der Hublast gemäß Abschnitt 2.1.3. geringere Tragwerksreaktionen hervorrufen als Zusatzlasten nach Abschnitt 2.2., die bei einer anderen Arbeitsbewegung auftreten, diese Zusatzlasten anstelle der Massenkraft aus Heben oder Senken der Hublast in die Grenzwertbildung einzubeziehen sind.
- bei schnell arbeitenden Hebezeugen mit einer durchschnittlichen Arbeitsspieldauer zwischen etwa 1 und 2 min aus Hauptlasten nach Abschnitt 2.1. und den Zusatzlasten aus der ungünstigsten Arbeitsbewegung nach Abschnitt 2.2.
- bei extrem schnell arbeitenden Hebezeugen mit einer durchschnittlichen Arbeitsspieldauer von etwa 1 min oder weniger aus Hauptlasten nach Abschnitt 2.1. und den Zusatzlasten aus den beiden ungünstigsten Arbeitsbewegungen nach Abschnitt 2.2.

Bei Hebezeugen mit langen Fahrwegen sind die speziellen Festlegungen des Abschnittes 3.2.6. zu beachten.

Die durchschnittliche Arbeitsspieldauer ist in Zweifelsfällen an Hand eines Arbeitsspieldiagrammes oder mit anderen geeigneten Mitteln nachzuweisen.

Wird bei normal arbeitenden Hebezeugen ein Bauteil außer durch seine Eigenlast nur durch Zusatzlasten beansprucht, so gilt für dieses Bauteil diejenige Zusatzlast mit als Hauptlast, die die ungünstigste Beanspruchung hervorruft.

3.2. Ermüdungsfestigkeitsnachweis

3.2.1. Grundsätzliches

Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis ist als Betriebsfestigkeitsnachweis nach TGL 13 500/01

und 02 für definierte Einsatzbedingungen mit den für den Grenzlastfall H berechneten Spannungen zu führen.

Grundlage des Betriebsfestigkeitsnachweises ist die Einordnung des Hebezeugs in eine Arbeitsspielzahlklasse (AZK) nach Abschnitt 3.2.2. und in eine Klasse des Hubmassekollektivs (HMK) nach Abschnitt 3.2.3. entsprechend dem vorgesehenen Verwendungszweck des Hebezeugs und den für seine Nutzung geltenden ökonomischen Forderungen.

Soll das Hebezeug in mehreren Betriebsarten genutzt werden, z. B. im Haken- und im Greiferbetrieb, ist diese Einordnung für jede Betriebsart vorzunehmen.

Die dem Betriebsfestigkeitsnachweis zugrunde gelegte Arbeitsspielzahlklasse (AZK) und die Klasse des Hubmassekollektivs (HMK) sind im Betriebsdokument des Hebezeugs zusammen mit dessen Tragfähigkeit (m_T) anzugeben. Die Tragfähigkeit des Hebezeugs ist die größte im betreffenden Betriebszustand zulässige Hubmasse. Sämtliche Veränderungen, die Einsatzbedingungen betreffend, insbesondere Verschärfungen der Nutzungsintensität, die durch die im Betriebsdokument enthaltenen Angaben nicht abgedeckt sind, erfordern eine Neuberechnung des Hebezeugs.

Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis erübrigt sich, wenn das Hebezeug in die in TGL 13 500/01 definierte Berechnungs- und Ausführungsgruppe C eingestuft werden kann. Das ist der Fall, wenn bei üblicher Nutzung die in Tabelle 13 angegebenen Grenzarbeitsspielzahlen in der Lebensdauer des Hebezeugs nicht überschritten werden und wenn die tragenden Stahlbauteile keine Kerben schlechter als der in TGL 13 500/01 angegebene Kerbfall 5 enthalten. In allen übrigen Fällen ist das Hebezeug in die in TGL 13 500/01 definierte Berechnungs- und Ausführungsgruppe A einzustufen. Sinngemäß ist bei Bauteilen zu verfahren.

Tabelle 13: Grenzarbeitsspielzahlen für Berechnungs- und Ausführungsgruppe C

Festigkeitsklasse nach TGL 13 500/01	Klasse des Hubmassekollektivs nach Abschnitt 3.2.3.					
	HMK0	HMK1	HMK2	HMK3	HMK4	HMK5
S 38/24	$280 \cdot 10^3$ [$500 \cdot 10^3$]	$160 \cdot 10^3$ [$280 \cdot 10^3$]	$90 \cdot 10^3$ [$160 \cdot 10^3$]	$50 \cdot 10^3$ [$90 \cdot 10^3$]	$28 \cdot 10^3$ [$50 \cdot 10^3$]	$16 \cdot 10^3$
S 45/30	$100 \cdot 10^3$ [$180 \cdot 10^3$]	$56 \cdot 10^3$ [$100 \cdot 10^3$]	$32 \cdot 10^3$ [$56 \cdot 10^3$]	$18 \cdot 10^3$ [$32 \cdot 10^3$]	$10 \cdot 10^3$ [$18 \cdot 10^3$]	$6 \cdot 10^3$
S 52/36	$50 \cdot 10^3$ [$90 \cdot 10^3$]	$28 \cdot 10^3$ [$50 \cdot 10^3$]	$16 \cdot 10^3$ [$28 \cdot 10^3$]	$9 \cdot 10^3$ [$16 \cdot 10^3$]	$5 \cdot 10^3$ [$9 \cdot 10^3$]	$3 \cdot 10^3$
S 60/45	$18 \cdot 10^3$ [$32 \cdot 10^3$]	$10 \cdot 10^3$ [$18 \cdot 10^3$]	$6 \cdot 10^3$ [$10 \cdot 10^3$]	$3 \cdot 10^3$ [$6 \cdot 10^3$]	$2 \cdot 10^3$ [$3 \cdot 10^3$]	$1 \cdot 10^3$

Die fettgedruckten Werte gelten im Regelfall, insbesondere für Brücken- und Portalkrane mit Katzen, deren Eigenmasse $> 1/5$ der Tragfähigkeit ist, aber nicht mehr beträgt als das Doppelte der Tragfähigkeit.

Die in Klammern gesetzten Werte gelten, regelmäßiger Tippbetrieb¹⁵ ausgeschlossen,
- für Brücken- und Portalkrane mit Katzen, deren Eigenmasse $< 1/5$ der Tragfähigkeit ist
- für Auslegerkrane.

Bei Handbetrieb und bei Hub- bzw. Senkgeschwindigkeiten $v_H < 0,1$ m/s darf die Grenzarbeitsspielzahl der nächstgünstigeren Klasse des Hubmassekollektivs verwendet werden. Bei fester Hubmasseführung sind die Grenzarbeitsspielzahlen auf 60 % abzumindern.

3.2.2. Arbeitsspielzahlklasse (AZK)

Ein Arbeitsspiel umfaßt den gesamten Bewegungsablauf des Hebezeugs zwischen zwei Gutaufnahmen. Die Zahl der während der gesamten Nutzungsdauer des Hebezeugs auszuführenden Arbeitsspiele bestimmt die Einordnung in eine der in Tabelle 14 definierten Arbeitsspielzahlklassen.

Tabelle 14: Arbeitsspielzahlklassen

Arbeitsspielzahlklasse	Zahl der auszuführenden Arbeitsspiele insgesamt maximal	
		täglich etwa
AZK 0	$Z = 2 \cdot 10^4$	3
AZK 1	$Z = 6,3 \cdot 10^4$	10
AZK 2	$Z = 2 \cdot 10^5$	32
AZK 3	$Z = 6,3 \cdot 10^5$	100
AZK 4	$Z = 2 \cdot 10^6$	320
AZK 5	$Z = 6,3 \cdot 10^6$	1000

Orientierungswerte für erfahrungsgemäß übliche Arbeitsspielzahlen/Jahr sind in Tabelle 19 angegeben.

3.2.3. Klasse des Hubmassekollektivs (HMK)

Alle während der Nutzungsdauer des Hebezeugs zu hebenden Hubmassen ergeben als Gesamtheit das Hubmassekollektiv.

Der Umfang des Hubmassekollektivs ist gleich der Zahl der während der Nutzungsdauer des Hebezeugs auszuführenden Arbeitsspiele. Maßgebend ist der nach Tabelle 14 für die betreffende Arbeitsspielzahlklasse geltende Maximalwert Z . Die statistische Verteilung des Hubmassekollektivs wird durch den Äquivalentfaktor η ¹⁶ erfaßt.

Die Größe des Äquivalentfaktors η des entsprechend dem vorgesehenen Verwendungszweck des Hebezeugs prognostisch zu erwartenden Hubmassekollektivs bestimmt die Einordnung in eine der in Tabelle 15 definierten Klassen des Hubmassekollektivs.

Tabelle 15: Klassen des Hubmassekollektivs¹⁷

Klasse des Hubmassekollektivs	Benennung des Hubmassekollektivs	Zusammensetzung des Hubmassekollektivs ¹⁸	Äquivalentfaktor η
HMK 0	extrem leicht	überwiegend Hubmassen kleiner als 10 % der Tragfähigkeit	0,16
HMK 1	sehr leicht	überwiegend Hubmassen kleiner als 20 % der Tragfähigkeit	0,32
HMK 2	leicht	überwiegend Hubmassen kleiner als 30 % der Tragfähigkeit	0,5
HMK 3	mittel	Hubmassen zwischen Null und der Tragfähigkeit treten mit etwa gleicher Häufigkeit auf	0,63
HMK 4	schwer	überwiegend Hubmassen größer als 50 % der Tragfähigkeit	0,8
HMK 5	sehr schwer	überwiegend Hubmassen größer als 80 % der Tragfähigkeit	1

¹⁵ Tippbetrieb ist häufige fortlaufende Unterbrechung des Hub- bzw. Senkvorganges beim Aufnehmen und feinfühliges Absetzen des Gutes.

¹⁶ η ist das Verhältnis derjenigen Hubmasse zur Tragfähigkeit m_T , die nach der Theorie von Corten-Dolan als Einstufenkollektiv mit dem Umfang Z die gleiche Werkstoffschädigung in den tragenden Stahlbauteilen hervorruft wie das vorhandene Hubmassekollektiv. Dabei darf vereinfacht mit dem Wöhlerlinienexponenten $m = 4$ gerechnet werden.

¹⁷ Bei Kranen mit wipp- und/oder teleskopierbarem Ausleger ist anstelle der Hubmasse das Produkt aus Hubmasse und Ausladung und anstelle der Tragfähigkeit das Tragmoment (Produkt aus Tragfähigkeit und größter zugeordneter zulässiger Ausladung) zu verwenden.

¹⁸ Weitere Angaben siehe Hinweis 2.

Liegen durch Betriebsbeobachtungen, Messungen oder andere spezielle Berechnungsunterlagen (siehe Hinweis 2) keine genauen Angaben über das Hubmassekollektiv und dessen Äquivalentfaktor η vor, darf wie folgt verfahren werden:

a) Schätzung der relativen Häufigkeit von Hubmassen $m_H < m_T$ ¹⁶ nach Analyse des vorgesehenen technologischen Einsatzes des Hebezeuges

Tabelle 16:¹⁷

Hubmassebereich	Anteil der Arbeitsspiele im betreffenden Hubmassebereich an der Arbeitsspielzahl Z
$0 < m_H/m_T \leq 0,2$	$\alpha_1 = \%$
$0,2 < m_H/m_T \leq 0,4$	$\alpha_2 = \%$
$0,4 < m_H/m_T \leq 0,6$	$\alpha_3 = \%$
$0,6 < m_H/m_T \leq 0,8$	$\alpha_4 = \%$
$0,8 < m_H/m_T \leq 1$	$\alpha_5 = \%$
Kontrolle	$\Sigma \alpha_i = 100 \%$

} nach technologischer Analyse zu schätzende Werte

b) Äquivalentfaktor

$$\eta \approx \sqrt[4]{\frac{\alpha_1}{100} \% \cdot 0,1^4 + \frac{\alpha_2}{100} \% \cdot 0,3^4 + \frac{\alpha_3}{100} \% \cdot 0,5^4 + \frac{\alpha_4}{100} \% \cdot 0,7^4 + \frac{\alpha_5}{100} \% \cdot 0,9^4} \quad (47)$$

Können die Anteile α_1 bis α_5 nicht oder nur sehr unsicher geschätzt werden, darf diejenige in Tabelle 19 angegebene Klasse des Hubmassekollektivs als Berechnungsgrundlage verwendet werden, die bei Nutzung des Hebezeuges in der betreffenden Betriebsart als erfahrungsgemäß ungünstigste Klasse gilt.

Vereinfacht darf bei angenähert gauß-normalverteilten Hubmassen der Äquivalentfaktor η aber auch wie folgt berechnet werden:

$$\eta \approx 0,3 + 0,7 \frac{\min m_H}{m_T}, \quad (48)$$

wobei $\min m_H$ die kleinste Hubmasse¹⁷ ist, die im betreffenden Betriebszustand zu heben ist.

3.2.4. Betriebsfestigkeitsfaktor

Ist für die jeweiligen Einsatzbedingungen, festgelegt durch die Einordnung in AZK und HMK, das Spannungskollektiv des betreffenden Bauteils bekannt, so ist für dieses Spannungskollektiv der zum Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach TGL 13 500/01 erforderliche Betriebsfestigkeitsfaktor γ nach TGL 13 500/01 bzw. TGL 13 500/02 zu bestimmen.

Ist das Spannungskollektiv nicht bekannt, so darf, wenn keine genaueren Untersuchungsergebnisse oder Erfahrungswerte vorliegen, der Betriebsfestigkeitsfaktor γ an Hand von Tabelle 17 über die Beanspruchungsgruppe bestimmt werden, in die das Bauteil nach Abschnitt 3.2.5. oder 3.2.6. einzuordnen ist. Die dort in Erweiterung von TGL 13 500/01 eingeführten Zwischenstufen mitteln den γ -Wert zwischen zwei aufeinanderfolgenden Beanspruchungsgruppen von TGL 13 500/01. Günstigere Betriebsfestigkeitsfaktoren γ , als sie sich nach Tabelle 17 für die in den Abschnitten 3.2.5. und 3.2.6. festgelegten Beanspruchungsgruppen ergeben, dürfen für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis nur dann verwendet werden, wenn sie durch Meßergebnisse oder genauere Berechnung begründet werden können und mit der zuständigen Prüfstelle abgestimmt sind.

¹⁶ siehe Seite 4

¹⁷ siehe Seite 4

Tabelle 17: Betriebsfestigkeitsfaktoren γ

Beanspruchungsgruppe	γ									Hilfswert ζ	
	0 und 1	2	3	Kerbfall			7	8	9		
B 0	2,84	4,83									0,207
B 0/1	2,61	4,23									0,236
B 1	2,39	3,71									0,270
B 1/2	2,19	3,26									0,307
B 2	2,01	2,86									0,350
B 2/3	1,84	2,51									0,400
B 3	1,69	2,20									0,454
B 3/4	1,55	1,93									0,518
B 4	1,42	1,69									0,592
B 4/5	1,30	1,48									0,676
B 5	1,19	1,30									0,769
B 5/6	1,09	1,14									0,877
B 6	1,00	1,00									1,000
B 6/7	1,00	1,00	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,85	0,83	1,075	
B 7	1,00	1,00	0,96	0,92	0,86	0,82	0,77	0,73	0,69	1,163	

3.2.5. Beanspruchungsgruppen von Bauteilen, die maßgeblich durch die Hublast und die beim Heben und Senken auftretenden Massenkraft beansprucht werden.

Diese sind, wenn das Hebezeug nur in einer Betriebsart genutzt wird, nach Tabelle 18 folgendermaßen zu bestimmen:

- Die fett gedruckten Beanspruchungsgruppen gelten im Regelfall, insbesondere für Brücken- und Portalkrane mit Katzen, deren Eigenmasse $> 1/5$ der Tragfähigkeit ist, aber nicht mehr beträgt als das Doppelte der Tragfähigkeit.
- Die in runde Klammern gesetzten Beanspruchungsgruppen gelten, regelmäßiger Tippbetrieb ausgeschlossen,
 - a) für Brückenkrane, deren Katzeigenmasse nicht mehr beträgt als etwa $1/5$ der Tragfähigkeit
 - b) für Auslegerkrane mit Hakenflasche, Magnet oder Greifer; auch für Auslegerkrane mit Spreader für Containerumschlag, wenn in der Berechnung die Spreadermasse mit zur Hubmasse gezählt und dementsprechend in der Tragfähigkeitsangabe berücksichtigt wird.

- Die in eckige Klammern gesetzten Beanspruchungsgruppen gelten für Brücken- und Portalkrane, deren Katzeigenmasse mehr beträgt als das Doppelte der Tragfähigkeit.

Bei Handbetrieb und bei Hebezeugen mit Hub- bzw. Senkgeschwindigkeiten $v_H \leq 0,1$ m/s darf die Beanspruchungsgruppe um eine halbe Stufe günstiger angenommen werden als nach Tabelle 18, z. B. B4 anstelle von B4/5 bzw. B1/2 anstelle von B2.

Bei fester Hubmasseführung ist dagegen die Beanspruchungsgruppe um eine halbe Stufe ungünstiger als nach Tabelle 18 anzunehmen, da sich durch die festen Führungselemente die Zahl der Spannungsspiele aus der Horizontalbewegung der Hubmasse wesentlich erhöht. In gleicher Weise ist bei pendelnder Hubmasseführung zu verfahren, wenn Fahr-, Dreh- und/oder Wippbewegungen mit am kurzen Hubseil, in Nähe der obersten Endstellung hängender Hubmasse ständig zum regelmäßigen Arbeitsspiel gehören.

Tabelle 18: Beanspruchungsgruppen¹⁹

Klasse des Hubmasse- kollektivs	Arbeitsspielzahlklasse					
	AZK 0	AZK 1	AZK 2	AZK 3	AZK 4	AZK 5
HMK 0	B0/1 (B0) [B1]	B1/2 (B1) [B2]	B2/3 (B2) [B3]	B3/4 (B3) [B4]	B4/5 (B4) [B5]	B5/6 (B5) [B6]
HMK 1	B1 (B0/1) [B1/2]	B2 (B1/2) [B2/3]	B3 (B2/3) [B3/4]	B4 (B3/4) [B4/5]	B5 (B4/5) [B5/6]	B6 (B5/6) [B6/7]
HMK 2	B1/2 (B1) [B2]	B2/3 (B2) [B3]	B3/4 (B3) [B4]	B4/5 (B4) [B5]	B5/6 (B5) [B6]	B6/7 (B6) [B7]
HMK 3	B2 (B1/2) [B2/3]	B3 (B2/3) [B3/4]	B4 (B3/4) [B4/5]	B5 (B4/5) [B5/6]	B6 (B5/6) [B6/7]	B7 (B6/7) [B7]
HMK 4	B2/3 (B2) [B3]	B3/4 (B3) [B4]	B4/5 (B4) [B5]	B5/6 (B5) [B6]	B6/7 (B6) [B7]	B7 (B7) [B7]
HMK 5	B3 (B3) [B3/4]	B4 (B4) [B4/5]	B5 (B5) [B5/6]	B6 (B6) [B6/7]	B7 (B7) [B7]	B7 (B7) [B7]

Durch Tabelle 18 und die obigen Regeln zu deren Anwendung wird der Einfluß, den die bei üblicher Nutzung auftretenden dynamischen Wirkungen auf das Spannungskollektiv haben, mit erfaßt.

Ist der Spannungsanteil aus der Gewichtskraft der Hubmasse und den beim Heben und Senken auftretenden Massenkraften kleiner als die Summe der aus den übrigen Kraftwirkungen entstehenden Spannungsanteile, ist die maßgebende Beanspruchungsgruppe nach Abschnitt 3.2.6. zu bestimmen.

Als Orientierungshilfe enthält Tabelle 19 die nach allgemeiner Erfahrung des Hebezeugbaus sich ergebenden Arbeitsspiele/Jahr und die Einstufungen in die Klasse des Hubmassekollektivs und in die Beanspruchungsgruppe, wenn das Hebezeug nur in der der betreffenden Tabellenzeile entsprechenden Betriebsart genutzt wird. Die Mitten der in Tabelle 19 (s. Seite 8) angegebenen Bereiche entsprechen dem Niveau der Inanspruchnahme des Hebezeuges bei durchschnittlicher Nutzungsintensität, die obere Bereichsgrenze entspricht der Inanspruchnahme bei intensiver Nutzung, die untere Bereichsgrenze der Inanspruchnahme bei wenig intensiver Nutzung.

Soll das Hebezeug in mehreren Betriebsarten genutzt werden, z. B. im Haken- und im Greiferbetrieb, und wird der Betriebsfestigkeitsnachweis mit der größten Spannung geführt, die bei Hebezeugbetrieb im betreffenden Bauteil nach Berechnung auftritt, kann man die maßgebende Beanspruchungsgruppe über die Hilfsgröße ζ bestimmen. Diese ist wie folgt zu berechnen:

- bei Bauteilen, deren Bemessung im wesentlichen von der Tragfähigkeit des Hebezeuges abhängt (z. B. bei Brücken- und Portalkranen)

$$\zeta = 4 \sqrt[4]{\sum_j \left(\zeta_j \frac{m_{T,j}}{\max m_T} \right)^4} \quad (49)$$

- bei Bauteilen, deren Bemessung im wesentlichen vom Tragmoment (Produkt aus Tragfähigkeit und der ihr zugeordneten größten zulässigen Ausladung) des Hebezeuges abhängt (z. B. bei Drehkränen)

$$\zeta = 4 \sqrt[4]{\sum_j \left(\zeta_j \frac{M_{T,j}}{\max M_T} \right)^4} \quad (50)$$

In den Gleichungen (49) und (50) bedeutet:

- ζ_j Hilfwert, der für die der jeweiligen Betriebsart $j = 1, 2, 3 \dots$ entsprechenden Beanspruchungsgruppe aus Tabelle 16 zu entnehmen ist
- $m_{T,j}$ Tragfähigkeit des Hebezeuges in der Betriebsart $j = 1, 2, 3 \dots$
- $\max m_T$ größte Tragfähigkeit der Betriebsarten $j = 1, 2, 3 \dots$
- $M_{T,j}$ Tragmoment des Hebezeuges in der Betriebsart $j = 1, 2, 3 \dots$
- $\max M_T$ größtes Tragmoment der Betriebsarten $j = 1, 2, 3 \dots$

Maßgebend ist für den Betriebsfestigkeitsnachweis bei gemischtem Betrieb mehrerer Betriebsarten diejenige Beanspruchungsgruppe, die auf der sicheren Seite nächstliegend dem berechneten ζ -Wert zugeordnet ist. Überschreitung des ζ -wertes um maximal 3 % ist statthaft. Berechnungsbeispiele siehe Abschnitt Hinweise.

¹⁹ Tabelle 18 entspricht der in TGL 13 500/01 enthaltenen Tabelle der Beanspruchungsgruppen in Abhängigkeit von der schädigungsrelevanten Spannungsspielzahl N und dem Kollektivbeiwert k . Dabei steht die Arbeitsspielzahlklasse anstelle der Spannungsspielzahl $N > Z$ und die Klasse des Hubmassekollektivs anstelle des nur für Normkollektive geltenden Kollektivbeiwertes $k < \eta$.

Tabelle 19: Erfahrungswerte der Einordnung in die Arbeitsspielzahlklasse, Klasse des Hubmassekollektivs und Beanspruchungsgruppe

Nr.	Nutzung des Hebezeugs als	Arbeitsspiele/ Jahr	Klasse des Hubmasse- kollektivs	Beanspruchungsgruppe nach TGL 13 500/01				
				Nutzungsdauer in Jahren				
				etwa 6	etwa 12	etwa 20	etwa 36	etwa 63
1	Handkran	$3,2 \cdot 10^3$ bis 10^4	HMK 1 oder HMK 2	B0/1 bis B2	B1 bis B2/3	B1/2 bis B3	B2 bis B3/4	B2/3 bis B4
2	Maschinen- hauskran	$V_H \leq 0,1$ m/s 10^3	HMK 1 bis HMK 3	-	B0/1 bis B1/2	B1 bis B2	B1/2 bis B2/3	B2 bis B3
		$V_H > 0,1$ m/s $3,2 \cdot 10^3$	HMK 1 bis HMK 3	-	B1/2 bis B2/3	B2 bis B3	B2/3 bis B3/4	B3 bis B4
3	a) Werkstattkran für Fertigung mit vie- len verschiedenartigen Hebe- und Umsetzarbei- ten	10^4 bis 10^5	HMK 0 bis HMK 3	-	-	B3 bis B4/5	B3/4 bis B5	B4 bis B5/6
	b) in technologischer Reihe mit im wesentli- chen gleichartigen, sich periodisch wieder- holenden Hebe- und Umsetzarbeiten	$3,2 \cdot 10^4$ bis $3,2 \cdot 10^5$	HMK 2 bis HMK 5	-	-	B5/6 bis B7	B6 bis B7	B6/7 oder B7
4	a) Verlade- und Transportkran für gemischtes Stückgut (Haken- betrieb)	$m_T \leq 32t$ 10^4 bis $3,2 \cdot 10^4$	HMK 2 oder HMK 3	B2/3 bis B4	B3 bis B4/5	B3/4 bis B5	B4 bis B5/6	B4/5 bis B6
		$m_T > 32t$ $3,2 \cdot 10^3$ bis 10^4	HMK 1 oder HMK 2	B1 bis B2/3	B1/2 bis B3	B2 bis B3/4	B2/3 bis B4	B3 bis B4/5
	b) für im wesent- lichen gleiches Gut							
	- Stückgut (Hakenbetrieb)	10^5 bis $3,2 \cdot 10^5$	HMK 2 bis HMK 5	B4/5 bis B6/7	B5 bis B7	B5/6 bis B7	B6 bis B7	B6/7 oder B7
	- Stückgut-Container . volle und leere Container zu gleichen Teilen	10^5	HMK 1 oder HMK 2	B4 oder B4/5	B4/5 oder B5	B5 oder B5/6	B5/6 oder B6	B6 oder B6/7
	. vorwiegend nur volle Container	10^5	HMK 3	B5	B5/6	B6	B6/7	B7
	- Massengut (Greifer- oder Magnetbetrieb)	$3,2 \cdot 10^4$ bis $3,2 \cdot 10^5$	HMK 4 oder HMK 5	B4/5 bis B6/7	B5 bis B7	B5/6 bis B7	B6 bis B7	B6/7 oder B7
- Massengut-Container . volle und leere Container zu etwa gleichen Teilen	$3,2 \cdot 10^4$ bis $3,2 \cdot 10^5$	HMK 4	-	-	B5/6 bis B7	B6 bis B7	B6/7 oder B7	
. vorwiegend nur volle Container	$3,2 \cdot 10^4$ bis $3,2 \cdot 10^5$	HMK 5	-	-	B6 bis B7	B6/7 oder B7	B7	

Fortsetzung der Tabelle Seite 9

Fortsetzung der Tabelle

Nr.	Nutzung des Hebezeugs als	Arbeitsspiele/ Jahr	Klasse des Hubmasse- kollektivs	Beanspruchungsgruppe nach TGL 13 500/01 Nutzungsdauer in Jahren				
				etwa 6	etwa 12	etwa 20	etwa 36	etwa 63
5	Montagekran $m_T \leq 32t$	$3,2 \cdot 10^3$ bis $3,2 \cdot 10^4$	HMK 2 bis HMK 4	B1/2 bis B3/4	B2 bis B4	B2/3 bis B4/5	B3 bis B5	B3/4 bis B5/6
	$m_T > 32t$	10^3 bis $3,2 \cdot 10^3$	HMK 1 bis HMK 3	B0 bis B2	B0/1 bis B2/3	B1 bis B3	B1/2 bis B3/4	B2 bis B4
6	Dockkran, Hellinkkran, Ausrüstungskran	10^4	HMK 3 bis HMK 5	-	-	B3/4 bis B5	B4 bis B5/6	B4/5 bis B6
7	Gießkran	10^4 bis $3,2 \cdot 10^4$	HMK 4 oder HMK 5	-	B4 bis B5/6	B4/5 bis B6	B5 bis B6/7	B5/6 bis B7
8	Schmiedekran	$3,2 \cdot 10^4$ bis $3,2 \cdot 10^5$	HMK 4 oder HMK 5	-	B5 bis B7	B5/6 bis B7	B6 bis B7	-
9	Muldenehrgabelkran	$3,2 \cdot 10^5$	HMK 5	-	B7	B7	B7	-
10	Stripperkran, Tiefofenkran Beschickungskran, Pratzenkran	$3,2 \cdot 10^4$ bis $3,2 \cdot 10^5$	HMK 5	-	B5/6 bis B7	B6 bis B7	B6/7 oder B7	-

3.2.6. Beanspruchungsgruppen von Bauteilen, die nicht maßgeblich durch die Hublast und die beim Heben und Senken auftretenden Massenkkräfte beansprucht werden

Bauteile, die maßgeblich durch Belastungsänderungen aus Fahr-, Dreh-, Wipp- oder Teleskopierbewegungen beansprucht werden, sind ohne genaueren Nachweis mindestens mit derjenigen Beanspruchungsgruppe auf Ermüdungsfestigkeit zu berechnen, die sich als Fettdruck nach Tabelle 18 für die Klasse des Hubmassekollektivs HMK 3 ergibt, jedoch mit keiner geringeren als nach Abschnitt 3.2.5.

Sind regelmäßig lange Fahrwege zurückzulegen, sind für alle maßgeblich durch Fahrstöße nach Abschnitt 2.2.1. und Horizontalkräfte nach Abschnitt 2.2.6. beanspruchten Bauteile die so ermittelten Beanspruchungsgruppen zu erhöhen, und zwar für durchschnittliche Fahrwege (Hin- und Rückfahrt)

- von 80 m bis 250 m um eine halbe Beanspruchungsgruppenstufe (z. B. von B4 auf B4/5)
- über 250 m um eine ganze Beanspruchungsgruppenstufe (z. B. von B4 auf B5).

Die Fahrstöße nach Abschnitt 2.2.1. und die Horizontalkräfte nach Abschnitt 2.2.6. sind dann unbedingt mit in den Grenzlastfall H einzubeziehen. Bauteile, die durch Fremderregung zu für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis maßgebenden Dauerschwingungen angeregt werden, sind, wenn kein genauere Nachweis erfolgt, mit der Beanspruchungsgruppe B7 auf Ermüdungsfestigkeit zu berechnen. In gleicher Weise ist bei Reparaturkranen auf Baggern mit den Reaktionen aus Baggerschwingwirkung, bei Fahrzeugkranen mit den Reaktionen aus Straßenfahrt und bei Eisenbahndrehkranen mit den Reaktionen aus Fahrt im Zugverband für das im Ruhe- bzw. Transportzustand sich befindende Hebezeug der Ermüdungsfestigkeitsnachweis zu führen.

4.2. Einleitung von Raddruckkräften in Vollwandträger

Die auf dem Gurt in Längsrichtung schubfest befestigte Schiene bildet mit diesem einen zusammengesetzten Querschnitt und ist entsprechend anzuschließen.

Wird die Schiene auf dem Gurt längsverschieblich gelagert, dann wirkt sie nicht als Teil des Vollwandträgers. Die Längsverschiebung (Wandern der Schiene) ist durch geeignete Maßnahmen zu begrenzen.

Die Verteilung der Raddruckkraft R in der Gurt-Steg-Verbindung (Nietung oder Schweißnaht) und in parallel dazu liegenden Stegblech-Längsstößen darf über die Verteillänge l_{v0} bzw. l_v vereinfacht rechteckig oder allgemein über dem Doppelten der Verteillänge l_{v0} bzw. l_v entsprechend Bild 36 und 37 dreieckförmig angenommen werden.

Die Verteillänge in der Gurt-Steg-Verbindung beträgt angenähert

- bei Schienen ohne gummielastische Schienenunterlage

$$l_{v0} = \left(\frac{\pi}{2} \cdot h_1 + a_T - c_s \cdot h_s \right) \cdot (1 + c_{\sigma} \cdot E / \sigma_F) \quad (51)$$

- bei Schienen mit gummielastischer Schienenunterlage

$$l_{v0} = 2,83 \cdot \sqrt[4]{\frac{E I_s}{b \cdot k_u}} \quad (52)$$

In den Gleichungen (51) und (52) bedeuten:

- h_1 Abstand zwischen Gurt-Steg-Verbindung und Oberkante Schiene, Bilder 36 und 37, unter Beachtung des Schienenverschleißes Δh . Bei mehrreihiger Nietung ist h_1 von der Schwerelinie des Halsnietbildes aus zu messen.
- a_T Abstand zwischen Gurt-Steg-Verbindung und Oberkante Träger

$$a_T = \begin{cases} h_1 & \text{wenn Schiene mit Trägergurt schubfest verbunden} \\ h_G & \text{wenn Schiene mit Trägergurt nicht schubfest verbunden, also längsverschieblich gelagert ist.} \end{cases}$$

h_G siehe Bilder 36 und 37

h_s Schienenhöhe

c_s Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung des Schienenstoßes

Bei fehlendem oder biegesteifem Schienenstoß $c_s = 0$

Bei Schienenstoß mit bearbeiteten Stirnflächen (Kontaktstoß) $c_s = 0,4$

Bei Schienenstoß mit klaffender Stoßfuge $c_s = 0,8$

c_{σ} Faktor zur Abminderung der unter der Raddruckkraft entstehenden Spannungsspitze

Für Ermüdungsfestigkeitsnachweis $c_{\sigma} = 0$

Für statischen Spannungsnachweis und Stabilitätsnachweis $c_{\sigma} = 0,001$

E Elastizitätsmodul ($E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$)

σ_F Fließgrenze des Werkstoffs im Trägersteg

I_s Trägheitsmoment der Schiene über deren x-Achse

b Breite der Druckzone zwischen Schiene und Schienenunterlage

k_u Bettungsziffer der Schienenunterlage in kN/cm^3 . Der Einfluß der Setzung des Schienenunterlagenmaterials ist bei der Annahme von k_u zu beachten.

Bei h_1 , h_s und I_s ist der Schienenverschleiß zu berücksichtigen.

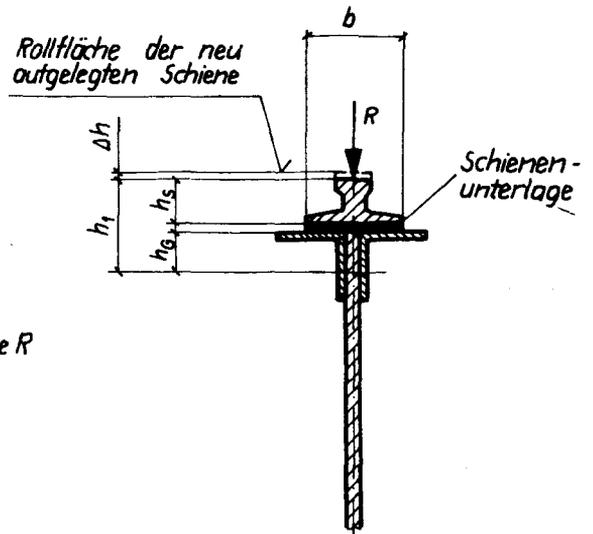
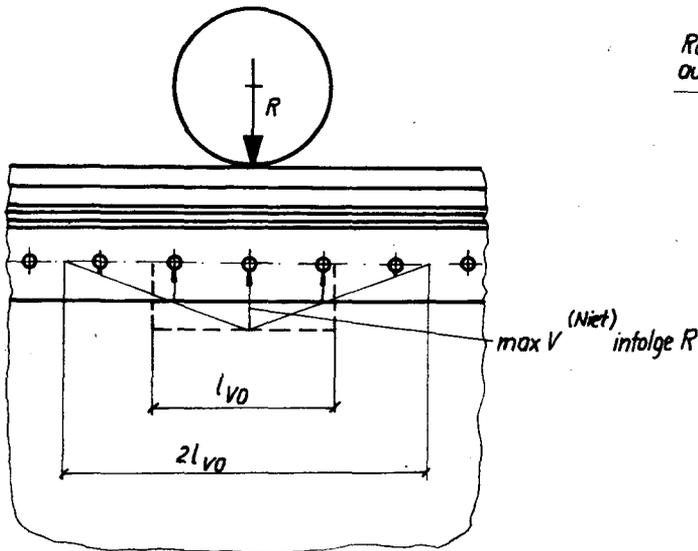


Bild 36

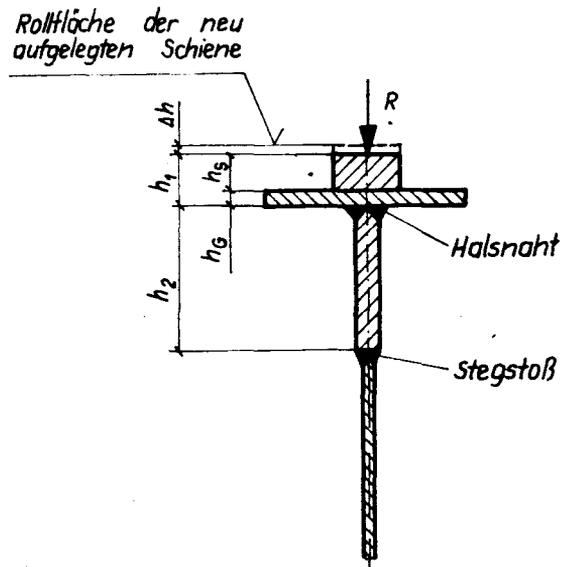
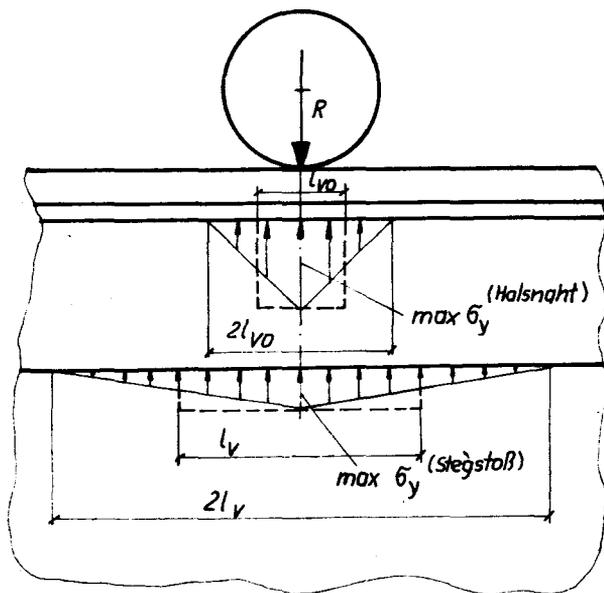


Bild 37

Die Verteillänge in einem Stegblech-Längsstoß beträgt angenähert:

$$l_v = \frac{l_{vo} + \frac{\pi}{2} \cdot h_2}{1 - \frac{h_2}{h}} \quad (53)$$

mit
 h_2 Abstand des Stegblech-Längsstoßes von der Gurt-Steg-Verbindung, Bild 37
 h Steghöhe

Sind bei genieteter Gurt-Steg-Verbindung innerhalb der Verteillänge l_{vo} n_H Halsniete vorhanden, so ergibt sich als größte vertikale Nietkraftkomponente infolge der Raddruckkraft R

$$\max V(\text{Niet}) = \frac{R}{n_H} \quad (54)$$

Diese Nietkraftkomponente darf vernachlässigt werden, wenn das Stegblech nach dem Schlagen

der Halsniete gurteben abgearbeitet wird, so daß an der Stegoberkante zuverlässig Kontaktwirkung mit der aufsitzenden Platte oder Schiene entsteht.

Im Stegblech braucht zusätzlich zu den aus der Trägerbiegung entstehenden Spannungen σ_z und τ_{yz} infolge der Einleitung der Raddruckkraft R nur mit den dreieckförmig verteilten Spannungen σ_y entsprechend Bild 37 gerechnet zu werden.

Deren Maximalwert beträgt:

$$\max \sigma_y (\text{Steg}) = \frac{R}{l_v \cdot t} \quad (55)$$

Dementsprechend ist bei geschweißter Gurt-Steg-Verbindung in der Halsnaht mit

$$\max \sigma_y (\text{Halsnaht}) = \frac{R}{l_{vo} \cdot \Sigma a} \quad (56)$$

zu rechnen. Die Annahme einer Kontaktwirkung zwischen Gurt und Steg ist bei geschweißter Gurt-Steg-Verbindung nicht zulässig.

t Stegdicke

Σa Summe der Dicken der als Gurt-Steg-Verbindung wirkenden Schweißnähte

Ergänzend zu TGL 13 500/01 gelten für die Druckspannung $\max \sigma_y$ (Halsnaht) bei Einstufenbeanspruchung mit $N_D = 2 \cdot 10^6$ Überrollungen die in Tabelle 20 angegebenen zulässigen Spannungen σ_{Dy} , unabhängig von der Güte des Grundwerkstoffs. Die für die Halsnaht zulässige Betriebsfestigkeitsspannung ergibt sich aus

$$\text{zul } \sigma_{y,Be} = \gamma_y \cdot \text{zul } \sigma_{Dy}, \quad (57)$$

wobei der nur für die Halsnaht geltende Betriebsfestigkeitsfaktor γ_y vereinfacht wie folgt zu berechnen ist:

- bei Katzen mit pendelnder Hubmasseaufhängung:

$$\gamma_y = \frac{m_K + m_T}{m_K + \eta \cdot m_T} \cdot \sqrt[4]{\frac{c_R \cdot 10^6}{Z \cdot n_K} \cdot \frac{h_1 + \Delta h}{h_1 + 0,6 \Delta h}} \quad (58)$$

- bei Katzen mit fester Hubmasseführung:

$$\gamma_y = \frac{1}{0,3 + 0,7 \frac{\min R}{\max R}} \cdot \sqrt[4]{\frac{c_R \cdot 10^6}{Z \cdot n_K} \cdot \frac{h_1 + \Delta h}{h_1 + 0,6 \Delta h}}, \quad (59)$$

jedoch nicht kleiner als $\gamma_y = 0,86$.

Ergänzend zu den bereits genannten Größen bedeutet in den Gleichungen (58) und (59):

m_K Katzeigenmasse

m_T Tragfähigkeit des Hebezeugs in der betreffenden Betriebsart

η Äquivalentfaktor für das Hubmassekollektiv. Für gemischten Betrieb mehrerer Betriebsarten j

$$\eta = \sqrt[4]{\frac{Z_j}{\sum Z_j} \left(\eta_j \cdot \frac{\tilde{m}_T \cdot j}{\max m_T} \right)^4} \quad (60)$$

$\max R$,

$\min R$

größte bzw. kleinste Katzraddruckkraft auf der betreffenden Katzschiene infolge aller im Grenzlastfall H auf die Katze wirkenden Kräfte

Z_j, η_j ,

$m_{T,j}$ Arbeitsspielzahl, Äquivalentfaktor und Tragfähigkeit der betreffenden Betriebsart j; $\max m_T$ siehe Gleichung (49)

$$Z = \sum_j Z_j \quad (61)$$

c_R

Faktor zur Berücksichtigung des Katzfahrgewegkollektivs

$c_R = 3$, wenn der betreffende Punkt der Gurt-Steg-Verbindung nicht bei jedem Arbeitsspiel von den Katzrädern überrollt wird (Normalfall)

$c_R = 2$, wenn der betreffende Punkt der Gurt-Steg-Verbindung bei jedem Arbeitsspiel von den Katzrädern überrollt wird (Sonderfall)

$c_R = 1$, bei Überrollung durch verfahrenbare Gegen- oder Ausgleichsmasse

n_K

Zahl der Katzräder, die auf der über der Gurt-Steg-Verbindung befindlichen Schiene rollen. Räder, deren größte Raddruckkraft kleiner ist als die Hälfte der maximalen Katzraddruckkraft, brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Δh

Endwert des Höhenverlustes der Schiene infolge Verschleiß, Bilder 36 und 37.

Sind die Trägerlängsspannung σ_Z und die Halsnahtquerspannung σ_y beide Druckspannungen, kann der mehrachsige Spannungsnachweis nach TGL 13 500/01, Gleichung (3) bzw. (7) entfallen.

Tabelle 20: Zulässige Spannung σ_{Dy} in N/mm^2 für Schweißnähte zum Gurt-Steg- und Schienenanschuß und den durch die Schweißnähte des Gurt-Steg-Anschlusses beeinflussten Steg-Grundwerkstoff²⁰ bei Querbeanspruchung durch Raddruckkräfte (Dicke t in mm)

Naht- ober- fläche und Naht- rand- zonen	K-Nähte oder HV-Nähte mit gegengeschweißter Wurzel zum Gurt-Steg-Anschluß bei Trägern beliebiger Bauform			einseitige Kehlnähte mit Tiefbrand oder HV-Nähte ohne gegengeschweißte Wurzel zum Gurt-Steg-Anschluß bei Kastenträgern			Doppelkehlnähte zum Gurt-Steg-Anschluß bei Trägern beliebiger Bauform			Kehlnähte zum Schienenanschuß
	$t \leq 12$	$12 < t \leq 20$	$t > 20$	$t \leq 8$	$8 < t \leq 12$	$t > 12$	$t \leq 10$	$10 < t \leq 16$	$t > 16$	
kerb- frei	145	121	97	121	97	83	121	97	83	83
normal	121	97	83	121	97	83	97	83	72	72

4.3. Einleitung von Raddruckkräften in Flansche

Bei den Festigkeitsnachweisen nach TGL 13 500/01 ist neben den Trägerspannungen aus Querkraftbiegung und Wölbkrafttorsion das 0,75fache der aus der Einleitung der Raddruckkräfte in den belasteten Flanschen und Stegen entstehenden Plattenspannungen (siehe Hinweis 4) zu berücksichtigen. Als Krafteinleitungspunkt gilt der Mittelpunkt der Hertzschen Berührungsfläche zwischen Rad und Flansch. Eine Abminderung der Flanschdicke wegen stärkeren Verschleißes ist gewöhnlich nur bei HMK4 und HMK5 und mehr als $2 \cdot 10^5$ Arbeitsspielen erforderlich, wenn der betreffende Flanschbereich bei jedem Arbeitsspiel überrollt wird.

Die Plattenspannungen aus der Einleitung der Raddruckkräfte sind nur beim Festigkeits- und Beulsicherheitsnachweis, nicht aber beim Kipp- und Knicksicherheitsnachweis des Trägers zu berücksichtigen.

Geschweißte direkt befahrene Flanschstöße sind mindestens in der Ausführungsklasse IIA auszuführen.

²⁰ Beim Nachweis des durch die Schweißnähte des Gurt-Steg-Anschlusses beeinflussten Steg-Grundwerkstoffes darf anstelle von l_{v0} die für den unteren Nahtrand geltende günstigere Verteillänge l_v nach Gleichung (53) zur Berechnung von $\max \sigma_y$ verwendet werden.

²¹ Ebenso auch I-Naht auf verbleibender Schweißbadsicherung.

Hinweise

1. In vorliegender Änderung ist auf folgende Standards Bezug genommen:
TGL 13 500/01 Stahlbau; Stahltragwerke; Berechnung; Bauliche Durchbildung
TGL 13 500/02 Stahlbau; Stahltragwerke; Erläuterungen; Berechnungsmöglichkeiten
TGL 30 350/16 Gesundheits- und Arbeitsschutz; Hebezeuge; Kontrollen und Prüfungen
2. VEK 0035: Arbeitsspielzahlklassen, Nutzmassekollektive und Hubmassekollektive für Hebezeuge. Vorschrift für Berechnung und Konstruktion des VEB Schwermaschinenbaukombinat TAKRAF.
3. VEK 4-502-020: Gestaltung und Fertigung von Schweißkonstruktionen aus Grobblechen höherfester schweißbarer Baustähle nach TGL 22 426. Vorschrift für Berechnung und Konstruktion des VEB Schwermaschinenbaukombinat TAKRAF.
4. VEK 0036: Einleitung von Raddruckkräften in Flansche. Vorschrift für Berechnung und Konstruktion des VEB Schwermaschinenbaukombinat TAKRAF.
5. Beispiele zur Bestimmung der Klasse des Hubmassekollektivs und der Beanspruchungsgruppe.

Beispiel 1:

Brückenkran mit Katze A 20/5 t (Hakenbetrieb) nach TGL 37 416.

Katzeigenmasse $m_K = 7,72$ t einschließlich Unterflasche.

a) Betriebsart $j = 1$:

Heben mit Haupthub 20 t (nur für Hubmassen $m_H > 5$ t mit maximal $Z_1 = 2 \cdot 10^4$ Arbeitsspielen vorgesehen).

Nach Tabelle 14 Einordnung in AZK 0.

Mit $\min m_{H,1} = 5$ t und $m_{T,1} = 20$ t nach Gl. (48)

$$\eta_1 \approx 0,3 + 0,7 \cdot \frac{5}{20} = 0,475$$

und demzufolge nach Tabelle 15 Einordnung in HMK 2.

Nach Tabelle 18 für AZK 0 und HMK 2 Beanspruchungsgruppe B1/2 maßgebend. Dafür nach Tabelle 17

$$\zeta_1 = 0,307.$$

b) Betriebsart $j = 2$:

Heben mit Hilfshub 5 t für maximal $Z_2 = 6,3 \cdot 10^5$ Arbeitsspielen.

Nach Tabelle 14 Einordnung in AZK 3.

Mit $\min m_{H,2} = 0,1$ t und $m_{T,2} = 5$ t nach Gleichung (48)

$$\eta_2 \approx 0,3 + 0,7 \cdot \frac{0,1}{5} = 0,314$$

und demzufolge nach Tabelle 15 Einordnung in HMK 1.

Nach Tabelle 18 ist bei einem Brückenkran mit der relativen Katzeigenmasse

$m_K/m_{T,2} = 7,72 \text{ t}/5 \text{ t} = 1,545$ für AZK 3 und und HMK 1 gemäß Fettdruck mit der Beanspruchungsgruppe B 4 zu rechnen. Dafür nach

Tabelle 17

$$\zeta_2 = 0,592$$

- c) Beide Betriebsarten als Mischkollektiv zusammen:
 $\max m_T = 20$ t für Betriebsart $j = 1$. Deshalb nach Gleichung (49)

$$\zeta = \sqrt[4]{(0,307 \cdot \frac{20}{20})^4 + (0,592 \cdot \frac{5}{20})^4} = 0,311$$

Dieser Wert ist nicht größer als

$1,03 \cdot 0,307 = 0,316$. Folglich ist gemäß Tabelle 17 für den Betriebsfestigkeitsnachweis noch die Beanspruchungsgruppe B1/2 maßgebend. Dieser ist mit den für den Grenzlastfall H berechneten Spannungen der Betriebsart $j = 1$ zu führen.

Beispiel 2:

Hafen-Wippdrehkran 32/64 t x 32 - 10/18 - 10 m für gemischten Umschlagbetrieb.

a) Betriebsart $j = 1$:

Herkömmlicher Stückgutumschlag mit maximal $Z_1 = 2 \cdot 10^5$ Arbeitsspielen.

$$m_{T,1} = 32 \text{ t}; \quad M_{T,1} = 32 \text{ t} \cdot 32 \text{ m} = 1024 \text{ tm}$$

$$\min m_{H,1} \approx 0; \quad \min M_{H,1} \approx 0; \quad \eta_1 \approx 0,3.$$

Folglich Einordnung in HMK 1.

Für AZK 2 und HMK 1 nach Tabelle 18 Beanspruchungsgruppe B2/3 (runde Klammer maßgebend). Dafür nach Tabelle 17

$$\zeta_1 = 0,400.$$

b) Betriebsart $j = 2$:

Massengutumschlag im Greifer- oder Magnetbetrieb mit maximal $Z_2 = 6,3 \cdot 10^5$ Arbeitsspielen. Folglich Einordnung in AZK 3.

$$m_{T,2} = 32 \text{ t}; \quad M_{T,2} = 32 \text{ t} \cdot 32 \text{ m} = 1024 \text{ tm}$$

$$\min m_{H,2} \approx 0,75 \cdot 32 \text{ t} = 24 \text{ t};$$

$$\min M_{H,2} \approx 24 \text{ t} \cdot 32 \text{ m} = 768 \text{ tm}$$

$$\eta_2 \approx 0,3 + 0,7 \cdot \frac{768}{1024} = 0,825.$$

Folglich Einordnung in HMK 5.

Für AZK 3 und HMK 5 nach Tabelle 18 Beanspruchungsgruppe B6 (runde Klammer maßgebend). Dafür nach Tabelle 17

$$\zeta_2 = 1,000.$$

c) Betriebsart $j = 3$:

Umschlag von Stückgut-Containern mit maximal $Z_3 = 6,3 \cdot 10^4$ Arbeitsspielen. Folglich Einordnung in AZK 1.

$$m_{T,3} = 32 \text{ t einschließlich Spreader};$$

$$M_{T,3} = 32 \text{ t} \cdot 32 \text{ m} = 1024 \text{ tm}.$$

Nach Tabelle 19 Einordnung in HMK 2.

Für AZK 1 und HMK 2 nach Tabelle 18 Beanspruchungsgruppe B 2 (runde Klammer maßgebend, da Spreader in $m_{T,3}$ mit erfaßt). Dafür nach Tabelle 17

$$\zeta_3 = 0,350.$$

d) Betriebsart $j = 4$:

Umschlag von Schwergut > 32 t mit maximal $Z_4 = 2 \cdot 10^4$ Arbeitsspielen. Folglich Einordnung in AZK 0.

$$m_{T,4} = 64 \text{ t}; \quad M_{T,4} = 64 \text{ t} \cdot 18 \text{ m} = 1152 \text{ tm}$$

$$\text{min } m_{H,4} = 32 \text{ t}; \quad \text{min } M_{T,4} = 32 \text{ t} \cdot 18 \text{ m} = 576 \text{ tm}$$

Für AZK 0 und HMK 3 nach Tabelle 18 Beanspruchungsgruppe B1/2 (runde Klammer maßgebend).
Dafür nach Tabelle 17

$$\zeta_4 = 0,307.$$

e) Alle 4 Betriebsarten als Mischkollektiv zusammen:

max $M_T = 1152$ tm für Betriebsart $j = 4$. Deshalb nach Gleichung (50)

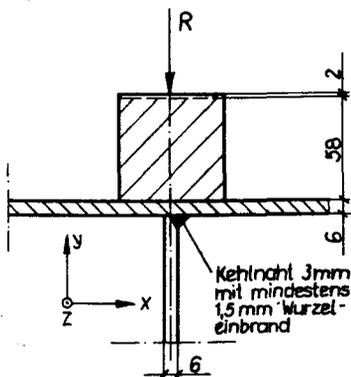
$$\zeta = \sqrt[4]{(0,400 \cdot \frac{1024}{1152})^4 + (1,000 \cdot \frac{1024}{1152})^4 + (0,350 \cdot \frac{1024}{1152})^4 + (0,307 \cdot \frac{1152}{1152})^4}$$

$$= 0,901$$

Dieser Wert ist kleiner als $1,03 \cdot 0,877 = 0,903$. Folglich nach Tabelle 17 Beanspruchungsgruppe B5/6 maßgebend für Betriebsfestigkeitsnachweis, der hier mit den für den Grenzlastfall H berechneten Spannungen der Betriebsart $j = 4$ zu führen ist.

6. Beispiel zur Raddruckkrafteinleitung in Vollwandträger

Hauptträger des unter Hinweis 5. Beispiel 1 genannten Brückenkrans 20/5 t; Werkstoff St 38, Katschiene 60 . 60 aus H 52, aufgeklemmt.



$$n_K = 2$$

$$\max R = 106,2 \text{ kN}$$

(einschließlich φ u. ψ)

Grenzlastfall H

$$\Delta h = 0,2 \text{ cm Schienenverschleiß}$$

$$h_1 = 0,6 \text{ cm} + 5,8 \text{ cm} = 6,4 \text{ cm}$$

$$a_T = 0,6 \text{ cm}$$

$$c_S = 0 \text{ (kein Katschiene Stoß)}$$

$$\sigma_Z = \text{Druckspannung}$$

Nachweis für Halsnaht aus Raddruckkrafteinleitung

a) Ermüdungsfestigkeitsnachweis:

Maßgebend ist die in der Halsnaht unter max R entstehende Spannungsspitze. Deshalb nach Gleichung (51) mit $c_\sigma = 0$

$$l_{vo} = \left(\frac{\pi}{2} \cdot 6,4 \text{ cm} + 0,6 \text{ cm}\right) (1 + 0) = 10,65 \text{ cm}$$

$$\Sigma a = 4,5 \text{ mm} = 0,45 \text{ cm} < t = 0,6 \text{ cm}$$

nach Gleichung (56):

$$\max \sigma_y = \frac{106,2 \text{ kN}}{10,65 \text{ cm} \cdot 0,45 \text{ cm}} = 22,16 \text{ kN/cm}^2$$

nach Tabelle 20:

$$\text{zul } \sigma_{Dy} = 121 \text{ N/mm}^2 = 12,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Mit } Z_1 = 2 \cdot 10^4, \quad Z_2 = 6,3 \cdot 10^5, \quad Z = 6,5 \cdot 10^5,$$

$$\eta_1 = 0,475, \quad \eta_2 = 0,314; \quad m_{T,1} = \max m_T = 20 \text{ t}; \quad m_{T,2} = 5 \text{ t}$$

(siehe Hinweis 5, Beispiel 1) nach Gleichung (60)

$$\eta = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 10^4}{6,5 \cdot 10^5} \cdot (0,475 \cdot \frac{20 \text{ t}}{20 \text{ t}})^4 + \frac{6,3 \cdot 10^5}{6,5 \cdot 10^5} \cdot (0,314 \cdot \frac{5 \text{ t}}{20 \text{ t}})^4}$$

$$= 0,2$$

Mit $m_K = 7,72 \text{ t}$ (siehe Hinweis 5, Beispiel 1) und $c_R = 3$ nach Gleichung (58)

$$\gamma_y = \frac{7,72 \text{ t} + 20 \text{ t}}{7,72 \text{ t} + 0,2 \cdot 20 \text{ t}} \cdot \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 10^6}{6,5 \cdot 10^5 \cdot 2}} \cdot \frac{6,4 \text{ cm} + 0,2 \text{ cm}}{6,4 \text{ cm} + 0,6 \cdot 0,2 \text{ cm}}$$

$$= 2,365 \cdot 1,232 \cdot 1,012 = 2,95$$

(Beachte: $\gamma_y < \gamma_{B1/2} = 3,26$)

Nach Gleichung (57):

$$\text{zul } \sigma_{yBe} = 2,95 \cdot 12,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$= 35,7 \text{ kN/cm}^2 > \max \sigma_y = 22,16 \text{ kN/cm}^2$$

b) Statischer Spannungsnachweis

Maßgebend ist die im Sinne von TGL 13 500/01 geltende Nennspannung. Deshalb nach Gleichung (51) mit $c_\sigma = 0,001$:

$$l_{vo} = \left(\frac{\pi}{2} \cdot 6,4 \text{ cm} + 0,6 \text{ cm}\right) \left(1 + 0,001 \frac{21\,000 \text{ kN/cm}^2}{24 \text{ kN/cm}^2}\right)$$

$$= 19,97 \text{ cm}$$

Diese Verteillänge ist auch bei der Berechnung der für den Beulsicherheitsnachweis maßgebenden Stegspannungen zu verwenden. Nach Gleichung (56):

$$\max \sigma_y = \frac{106,2 \text{ kN}}{19,97 \text{ cm} \cdot 0,45 \text{ cm}} = 11,82 \text{ kN/cm}^2$$

Nach TGL 13 500/01, Tabelle 7:

$$\text{zul } \sigma_y = 160 \text{ N/mm}^2 = 16 \text{ kN/cm}^2 > \max \sigma_y$$

$$= 11,82 \text{ kN/cm}^2$$

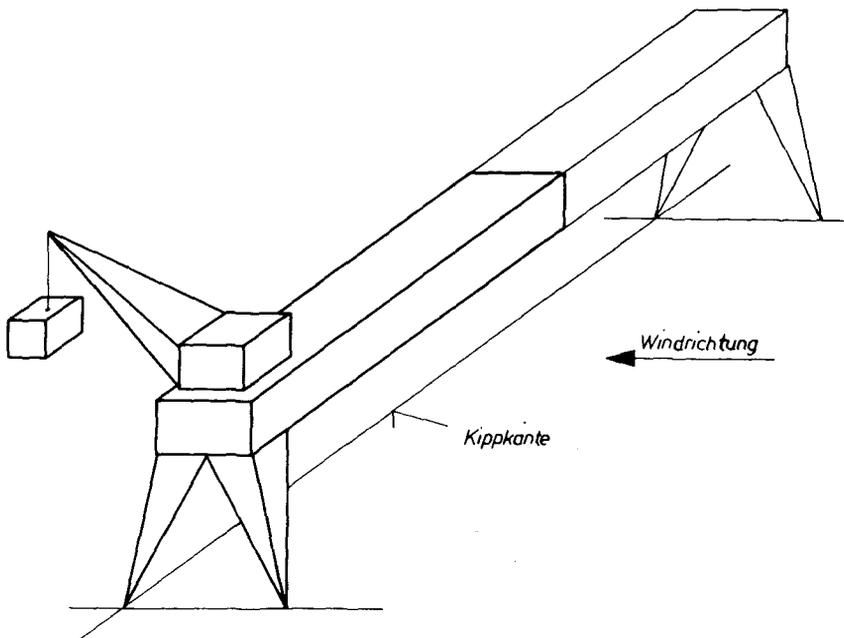


Bild 21

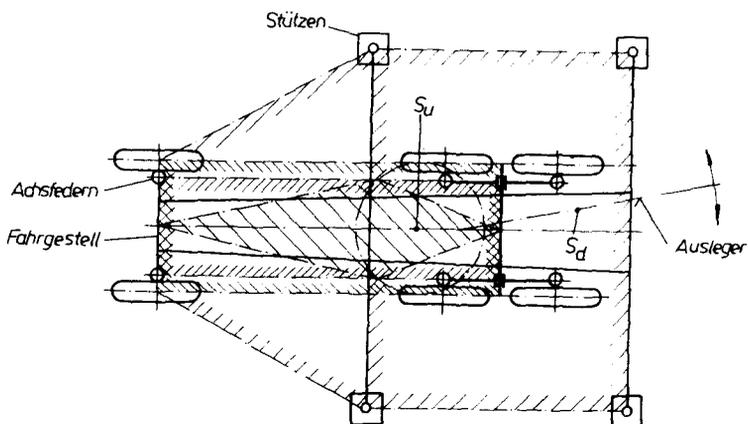


Bild 22

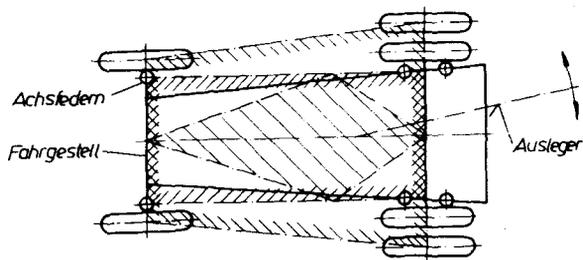


Bild 23