

# Stahlbau III - WS 2015 / 2016

1. Vorlesung / Übung

Daniel Pak

22.10.2015

# Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
22.10.2015	Ermüdung von Kranbahnträgern	Ermüdungsnachweis nach EN 1993-1-9 Einführung Bemessung von Kranbahnträgern
29.10.2015	Ermüdung von Kranbahnträgern	Bemessung von Kranbahnträgern Ermüdungsnachweis für Kranbahnträger
05.11.2015	Fließgelenkverfahren	Einführung
12.11.2015	Fließgelenkverfahren	M-N-V-Interaktion
19.11.2015	Fließgelenkverfahren	Abhängigkeit von Lasten
03.12.2015	Fließgelenkverfahren	Theorie II. Ordnung
07.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen 1
14.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen 2
21.01.2016	Beulen	Stabilitätsfall Beulen 3
28.01.2016	Biegedrillknicken	Vertiefung Drehfederbettung / Kranbahnträger
11.02.2016	Ausweichtermin bzw. Fragen zur Klausur	

xx.xx.2016

schriftliche Prüfung

Änderungen vorbehalten!

## Normen

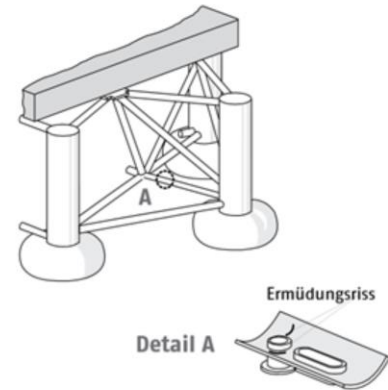
Erhältlich als Download unter [www.perinorm.com](http://www.perinorm.com)

- DIN EN 1991 - Einwirkungen auf Tragwerke
- DIN EN 1991-3 - Einwirkungen auf Tragwerke: Einwirkungen infolge Kranen und Maschinen
- DIN EN 1993-1-1 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- DIN EN 1993-1-5 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Plattenbeulen
- DIN EN 1993-1-8 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Bemessung von Anschlüssen
- DIN EN 1993-1-9 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Ermüdung
- DIN EN 1993-6 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Kranbahnen

### Definition „Ermüdung“:

Prozess der **Rissbildung** und des **Rissfortschritts** in einem Bauteil, hervorgerufen durch wiederholte **Spannungsschwankungen** (Spannungsschwingbreiten), wobei in der Regel die Streckgrenze nicht erreicht wird (Beanspruchungshöhe liegt unter der Bauteilfestigkeit bei statischer Belastung).

⇒ 3. Grenzzustand neben GZT (ULS) und GZG (SLS)



Details der aufgrund von Ermüdung gekenterten Bohrplattform (Nordsee, 1980)  
Quelle: Ruhr-Uni Bochum

Die katastrophalen Folgen zeigten sich zum Beispiel beim Kentern der norwegischen Bohrinsel Alexander Kielland 1980 in der Nordsee, weil eine Strebe des Ständerwerkes aufgrund von Materialermüdung versagte und zum Abriss einer Stütze führte.



### Ursachen der Werkstoffermüdung:

Die Ermüdung metallischer Werkstoffe infolge veränderlicher, schwingender Beanspruchung basiert auf mikro- und makrostrukturellen Änderungen des Werkstoffgefüges ausgelöst durch zyklische plastische Verformungen.

Diese Veränderungen des Gefüges setzen die Beanspruchbarkeit des Materials herab. Deswegen versagen derartig beanspruchte Bauteile häufig weit unterhalb ihrer theoretischen Streckgrenze.



Quelle: Liebherr



Quelle: Hildenbrand Ingenieure



Quelle: Schicks  
Abgastechnik



Quelle: wikipedia

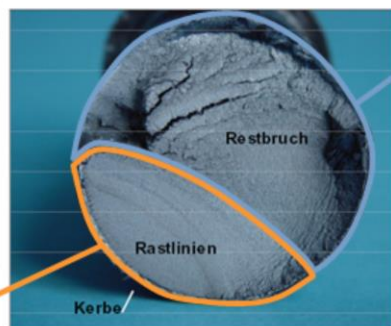
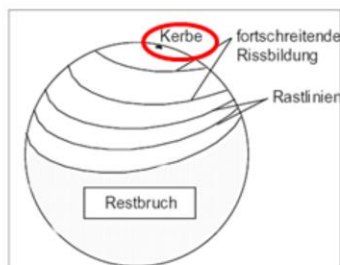


Quelle: VG Linz



Quelle: SSF Ingenieure

## Bruchformen: Ermüdungsbruch + Spröbruch = Mischbruch



### 1. Rissfortschritt bei wechselnder Belastung (Ermüdung)

Schwing- oder Ermüdungsbruch: hervorgerufen durch zyklische Beanspruchung

- Risseinleitung im Mikrobereich durch Spannungsspitzen an der Unstetigkeitsstelle
- Rissausbreitung durch ständig steigende Spannungen an der Rissspitze (duktiler Bereich)

### 2. Bruch bei Überbelastung (Nettoquerschnittsversagen)

Spröbruch oder Duktilbruch:

- Spröbruch:  
Unendlich schnelles Risswachstum, da sich die Querschnittsfläche verringert und sich die Spannungen maximieren (**Metalle bei „tiefen“ Temperaturen, Zähigkeitstieflage**)
- Duktilbruch / Zähbruch:  
Bauteilversagen, einhergehend mit großen plastischen Deformationen (plastisches Fließen) (Metalle bei „normaler“ oder „hoher“ Temperatur, Zähigkeitshochlage)

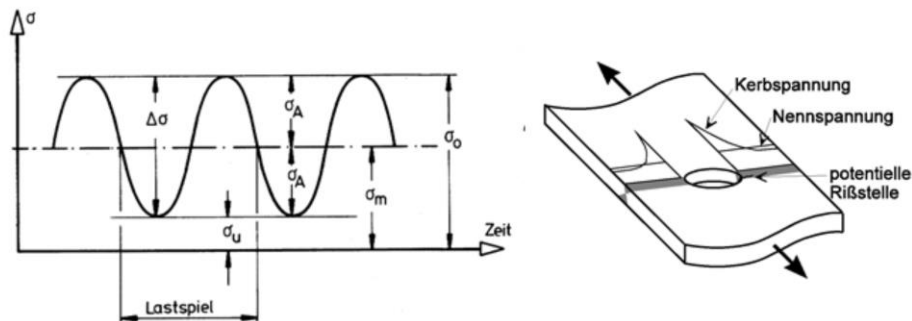
### Ermüdungsfestigkeit

Wenn ein Bauteil einer zyklisch wechselnden Beanspruchung ausgesetzt ist, kann nach einer endlichen Anzahl an Lastzyklen ein plötzlicher Bruch eintreten. Die maximale Belastung, die bei unendlicher Zahl von Belastungszyklen nicht zum Bruch führt, wird als die Ermüdungsfestigkeit des Stahls bezeichnet.

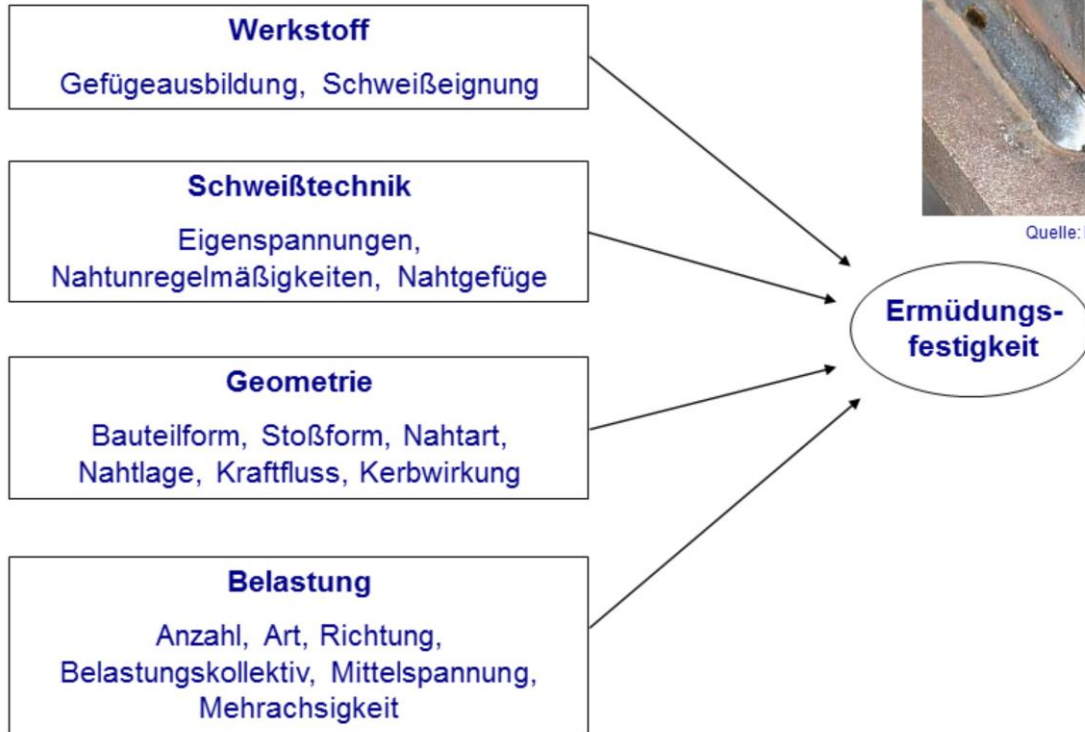


Wie hoch ist die Ermüdungsfestigkeit eines Bauteils?

Welche Parameter haben einen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten?



### Einflüsse auf das Ermüdungsverhalten:



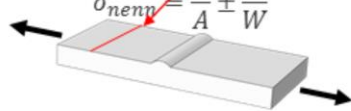
Quelle: DYNATEC GmbH

## Nachweisverfahren nach DIN EN 1993-1-9

### Nennspannungen

#### Methoden (analytisch)

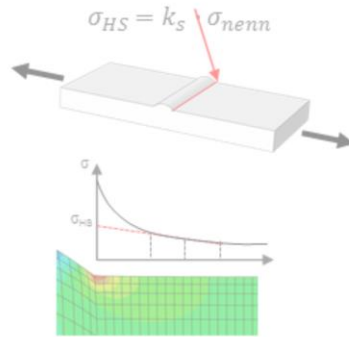
##### Biegetheorie

$$\sigma_{nenn} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$


### Strukturspannungen

#### Methoden (numerisch)

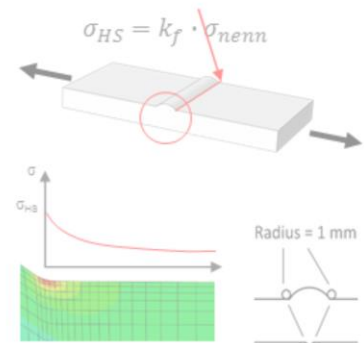
##### FEM



### Kerbspannungen

#### Methoden (numerisch)

##### FEM



Kerbspannungen: nahe an der Materialwöhlerlinie

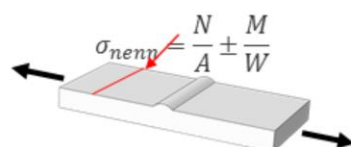


### Nennspannungskonzept nach DIN EN 1993-1-9

#### Nennspannungen

##### Methoden (analytisch)

Biegetheorie


$$\sigma_{nenn} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

#### Schweißtechnik

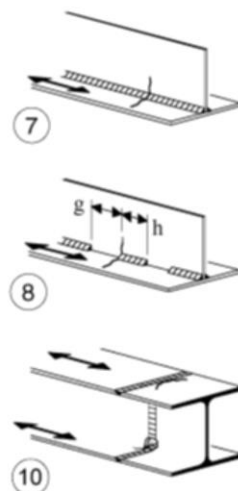
Eigenspannungen,  
Nahtunregelmäßigkeiten, Nahtgefüge

#### Geometrie

Bauteilform, Stoßform, Nahtart,  
Nahtlage, Kraftfluss, Kerbwirkung

#### Belastung

Anzahl, Art, Richtung,  
Belastungskollektiv, Mittelspannung,  
Mehrachsigkeit



Werden die Einflussparameter (z.B. Geometrie) geändert, ändert sich bei gegebener Spannungsschwingbreite die Bruchlastspielzahl  $N$

3. Die Wöhler-Linie entsteht als Kurve aus den an **gleichen Prüfkörpern** ermittelten Bruchlastspielzahlen (d.h. für jeden Prüfkörper gibt es eine eigene Wöhlerlinie)

➡ **Ermüdungsfestigkeitskurven, „Wöhler-Kurven“**

### Wöhler-Linie als Kurve aus den an gleichen Prüfkörpern ermittelten Bruchlastspielzahlen

$\Delta\sigma_c$  für  $N_c = 2 \cdot 10^6$  : Bezugswert

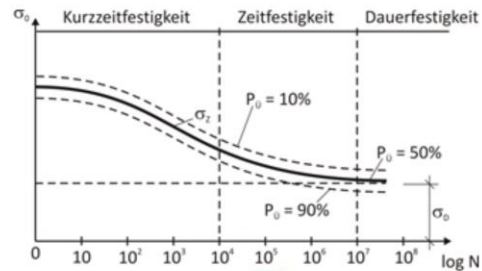
(wird auch zur Kerbfallklassifizierung benutzt)

$\Delta\sigma_D$  für  $N_D = 5 \cdot 10^6$  : Dauerfestigkeit

(Spannungsschwingbreite, oberhalb der ein Ermüdungsnachweis erforderlich wird)

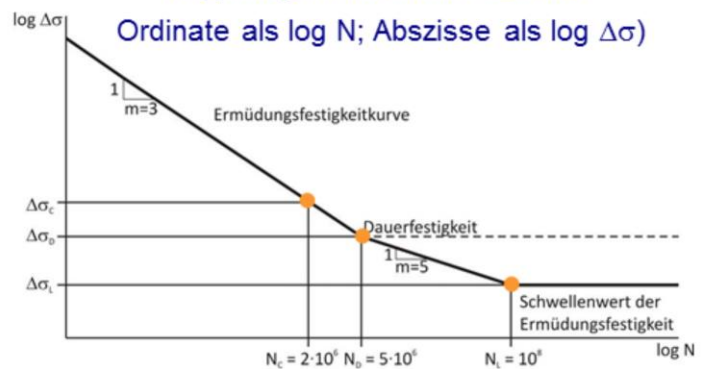
$\Delta\sigma_L$  für  $N_L = 1 \cdot 10^8$ : Schwellenwert  
der Ermüdungsfestigkeit

(Spannungsschwingbreite, unterhalb der die Spannungsschwingbreiten eines Lastkollektivs nicht mehr zum Ermüdungsschaden beitragen)



Darstellung der Wöhler-Linie im doppellogarithmischen Maßstab

Ordinate als  $\log N$ ; Abszisse als  $\log \Delta\sigma$ )



Die Wöhler-Linie für Längsspannungen weist zwei unterschiedliche Neigungen auf. Für Lastspiele größer als  $N_D$  verläuft die Ermüdungsfestigkeitskurve mit einer steileren Neigung ( $m=3$ ) als für Lastspiele kleiner als  $N_D$  ( $m = 5$ ), da auch Spannungsschwingbreiten unterhalb der Dauerfestigkeit noch zur Schädigung beitragen.







Der Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit wird bei  $N_c = 2 \times 10^6$  Lastwechseln festgelegt

⇒ Kerbfälle sind auf  $N_c$  Lastwechsel bezogen

⇒ Kerbfall gibt die Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_c$  eines Konstruktionsdetails an

Bestimmung des Kerbfalls mit Hilfe einer **Kerbfalltabelle** (DIN EN 1993-1-9)

EN 1993-1-9, (Tab. 8.1-8.10)

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
125		Durchgehende Längsnähte: 1) Mit Automaten beidseitig durchgeschweißte Nähte.	Kerbfälle 1) und 2): Es dürfen keine Schweißansatzstellen vorhanden sein, ausgenommen bei Durchführung einer Reparatur mit anschließender Überprüfung der Reparaturschweißung.
		2) Automatengeschweißte Kehlnähte. Die Enden von aufgeschweißten Gurtplatten sind gem. Kerbfall 6) oder 7) in Tabelle 8.5 nachzuweisen.	
112		3) Automatengeschweißte Doppelkehlnähte oder beidseitig durchgeschweißte Nähte, beide mit Ansatzstellen.	4) Weist dieser Kerbfall Ansatzstellen auf, so ist er der Kerbgruppe 100 zuzuordnen.
		4) Mit Automaten einseitig durchgeschweißte Nähte mit nicht unterbrochener Schweißabsicherung, aber ohne Ansatzstellen.	
		5) Handgeschweißte Kehlnähte oder HV-Nähte oder OHV-Nähte.	5) und 6) Zwischen Flansch und Stegblech ist eine sehr gute Passgenauigkeit erforderlich. Dabei bei HV-Nähten das Stegblech anzuschlagen, dass die Wurzeln ausreichend und ohne Herausfließen von Schweißgut erfasst werden kann.
		6) Von Hand oder mit Automaten einseitig durchgeschweißte Nähte, speziell bei Hohlkästen.	

**Anforderungen**

Kerbfälle 1) und 2):  
Es dürfen keine Schweißansatzstellen vorhanden sein, ausgenommen bei Durchführung einer Reparatur mit anschließender Überprüfung der Reparaturschweißung.

**Beschreibung**

Durchgehende Längsnähte:

1) Mit Automaten beidseitig durchgeschweißte Nähte.  
2) Automatengeschweißte Kehlnähte. Die Enden von aufgeschweißten Gurtplatten sind gem. Kerbfall 6) oder 7) in Tabelle 8.5 nachzuweisen.



### Wöhler-Linie als Kurve aus den an gleichen Prüfkörpern ermittelten Bruchlastspielzahlen

### Beispiel:

Wöhlerlinie ermittelt, d.h. bekannt für ein gegebenes Bauteil

→ Anzahl der ertragbaren Lastwechsel kann nun für eine angegebene Spannungsschwingbreite ermittelt werden (log. Dreisatz)

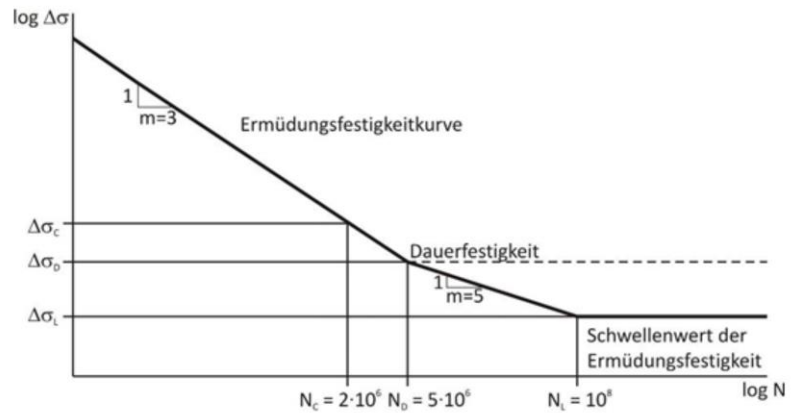
## Wöhler-Linie als Kurve aus den an gleichen Prüfkörpern ermittelten Bruchlastspielzahlen

### Beispiel:

Achtung: linear im doppelt-logarithmischen Maßstab! Dreisatz wie folgt:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\Delta\sigma_2^m}{\Delta\sigma_1^m}$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_1 \cdot \sqrt[m]{\frac{N_1}{N_2}}$$



$$\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_C \cdot \sqrt[3]{\frac{N_C}{N_D}} = \Delta\sigma_C \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^6}}$$

EN 1993-1-9, (Kap. 7.1 (2))

$$\Delta\sigma_L = \Delta\sigma_D \cdot \sqrt[5]{\frac{N_D}{N_L}} = \Delta\sigma_D \cdot \sqrt[5]{\frac{5 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^8}}$$

EN 1993-1-9, (Kap. 7.1 (3))

## Allgemeines:

Auf einen Ermüdungsnachweis (nur Normalspannungen) kann verzichtet werden, falls gilt:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{max} \leq \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}}$$

Lastwechsel unterhalb des Schwellenwertes der Ermüdungsfestigkeit fließen nicht in den Nachweis ein, d.h. sie sind nicht schadensrelevant:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \leq \frac{\Delta\sigma_L}{\gamma_{Mf}} \quad \gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_i \leq \frac{\Delta\tau_L}{\gamma_{Mf}}$$

Allgemeines, Teilsicherheitsbeiwert Einwirkungsseite, z.B.:

$$\gamma_{Ff} = 1,0$$

z.B. EN 1993-6, (Kap. 9.2(1))

z.B. DIN FB 103, (Kap. 9.3(1))



Quelle: Liebherr



Quelle: Hildenbrand Ingenieure



Quelle: SSF Ingenieure

## Allgemeines, Teilsicherheitsbeiwert Widerstandsseite nach EN 1993-1-9:

### Konzept der Schadenstoleranz

- Erkennung und Beseitigung von Schäden durch planmäßige Inspektionen und Wartung während der Nutzungsdauer
- Lastumlagerungen müssen möglich sein
- Inspektionsprogramm gemäß NA

### Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung

- Ausreichende Sicherheit gegen Ermüdung ohne planmäßige Inspektionen
- Vermeidung von unangekündigtem Versagen des Bauteils oder des Gesamttragwerks



### Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{Mf}$ für die Ermüdungsfestigkeit (Widerstandsseite)

	Schadensfolgen	
Bemessungskonzept	niedrig	hoch
Schadenstoleranz	1,00	1,15
Sicherheit gegen Ermüdungsversagen	1,15	1,35

EN 1993-1-9, (Tab.3.1)

Kann in anderen Normen anders geregelt sein (z.B. in DIN FB 103 für Stahlbrücken)

### Allgemeines, Begrenzung der Spannungsschwingbreiten:

Die Spannungsschwingbreiten für Nennspannungen, korrigierte Nennspannungen oder Strukturspannungen (Kerbspannungen) infolge der häufig auftretenden Lasten  $\psi_1 Q_k$ , siehe EN 1990, sind in der Regel zu begrenzen durch:

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y$$

$$\Delta\tau \leq 1,5 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

EN 1993-1-9, (Gl.8.1)

## Nachweis bei variablen Spannungsschwingbreiten:

Bei einem unregelmäßigen nicht periodischen Spannungsspektrum (variable Spannungsschwingbreiten) ist der Nachweis entweder

- mittels einer **Schadensakkumulation**  
(Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner)

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq 1$$

EN 1993-1-9, (Gl. A.1)

EN 1993-1-9, (Gl. A.2)

- oder mittels **schadensäquivalenter Spannungsschwingbreiten** durch Vergleich der einwirkenden schadensäquivalenten konstante Spannungsschwingbreite bezogen auf  $2 \times 10^6$  Schwingspiele

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

EN 1993-1-9, (Gl. 8.2)

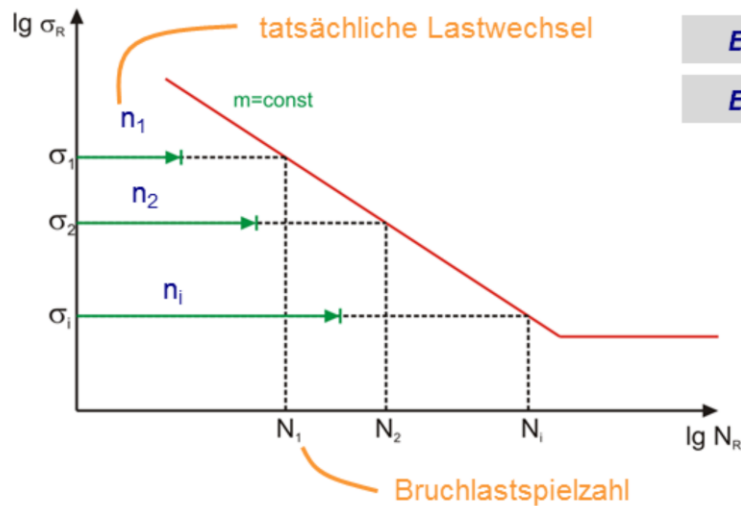
$$\left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0$$

EN 1993-1-9, (Gl. 8.3)

## Nachweis bei variablen Spannungsschwingbreiten, Schadensakkumulation:

Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner:

- jede Spannung  $\Delta\sigma_i$ , die  $n_i$ -mal auftritt, hat einen Schädigungsanteil  $n_i/N_i$  am Bruchversagen ( $N_i$  = Bruchlastspielzahl zu der Spannung  $\Delta\sigma_i$ , d.h.  $N_i$  ist die Anzahl an Lastwechseln, die das Bauteil bei einer Spannungsamplitude  $\Delta\sigma_i$  erträgt)
- die Summe der Teilschädigungsquotienten darf den Wert 1 nicht überschreiten



EN 1993-1-9, (Kap. A.5)

EN 1993-1-9, (Kap. A.6)



## Nachweis bei variablen Spannungsschwingbreiten, Schadensakkumulation:

Ermittlung der Bruchlastspielzahlen:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots \leq 1$$

$$N_2 = N_1 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_2} \right)^m$$

Normalspannungen:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}$$

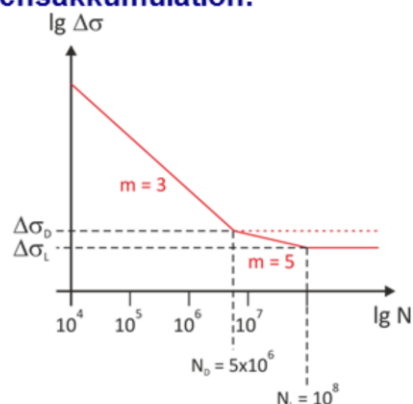
$$\Rightarrow N_i = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i} \right)^3$$

$$\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf} \geq \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L / \gamma_{Mf}$$

$$\Rightarrow N_i = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i} \right)^5$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \leq \Delta\sigma_L / \gamma_{Mf}$$

$$\Rightarrow N_i = \infty$$



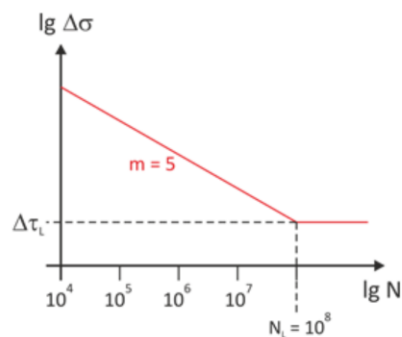


## Nachweis bei variablen Spannungsschwingbreiten, Schadensakkumulation:

Ermittlung der Bruchlastspielzahlen:

$$D_d = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots \leq 1$$

$$N_2 = N_1 \cdot \left( \frac{\Delta\tau_1}{\Delta\tau_2} \right)^m$$



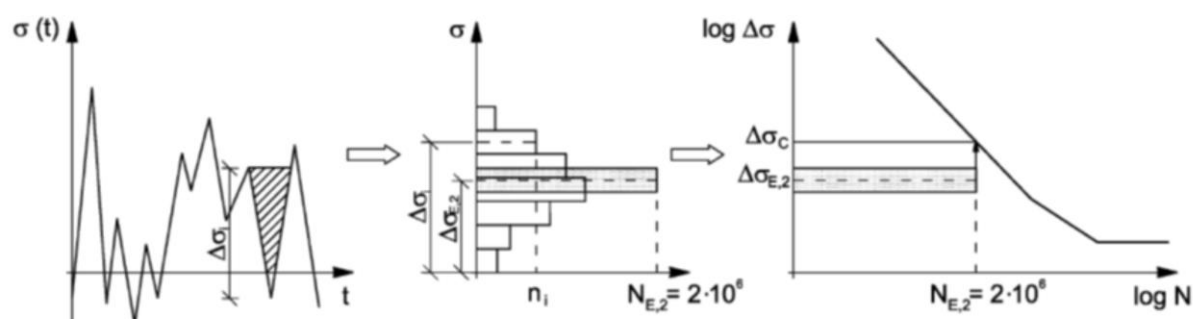
**Schubspannungen:**

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_i \geq \Delta\tau_L / \gamma_{Mf} \quad \Rightarrow \quad N_i = 1 \cdot 10^8 \cdot \left( \frac{\Delta\tau_L / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_i} \right)^5$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_i \leq \Delta\tau_L / \gamma_{Mf} \quad \Rightarrow \quad N_i = \infty$$

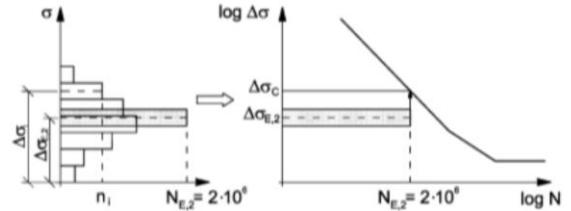
## Nachweis bei variablen Spannungsschwingbreiten, schadensäqu. Spannungsschwingb.:

- Ermittlung des Bezugswerts der Ermüdungsfestigkeit  $\Delta\sigma_C$  (Kerbfall)
- Bestimmung der schadensäquivalenten konstanten Spannungsschwingbreite  $\Delta\sigma_{E,2}$  (= Spannungsschwingbreite, die bei  $2 \times 10^6$  Schwingspielen die gleiche Schädigung bewirkt)
- Vergleich der einwirkenden schadensäquivalenten konstanten Spannungsschwingbreite mit dem Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit



## Nachweis bei variablen Spannungsschwingbreiten, schadensäqu. Spannungsschwingb.:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}}$$



schadensäquivalente Spannungsschwingbreite (konservativ:  $m = \text{konst.} = 3$ ):

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \quad N_i = 2 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_C}{\Delta\sigma_i} \right)^3 \quad D = \sum_i \frac{n_i = N_C}{N_i} \quad N_i = 2 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_C}{\Delta\sigma_{E,2}} \right)^3$$

$$D = \frac{\sum_i (n_i \cdot \Delta\sigma_i^3)}{2 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_C^3}$$

!

$$D = \frac{N_C \cdot \Delta\sigma_{E,2}^3}{2 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_C^3}$$

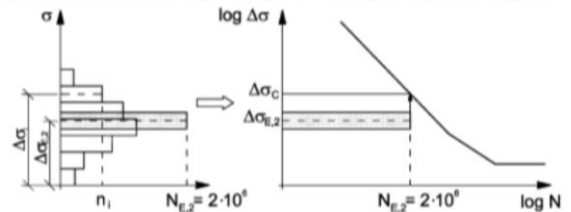
Schaden, hervorgerufen durch variable Schwingspiele

Schaden, hervorgerufen durch konstantes Schwingspiel  $\Delta\sigma_{E,2}$  bei 2.000.000 LW

$$\Rightarrow \Delta\sigma_{E,2} = \left( \frac{\sum_i (n_i \cdot \Delta\sigma_i^3)}{N_C} \right)^{\frac{1}{3}} = \lambda \cdot \Delta\sigma_{max} \quad \text{mit} \quad \lambda = \left[ \frac{1}{N_C} \cdot \sum_i \left( n_i \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\sigma_{max}} \right)^3 \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

## Nachweis bei variablen Spannungsschwingbreiten, schadensäqu. Spannungsschwingb.:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2} \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}}$$



schadensäquivalente Spannungsschwingbreite:

$$D = \sum_j \frac{n_j}{N_j} + \sum_k \frac{n_k}{N_k} \quad N_j = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_j} \right)^3 \quad N_k = 5 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_k} \right)^5$$

$$D = \frac{\sum_j (n_j \cdot \Delta\sigma_j^3)}{5 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_D^3} + \frac{\sum_k (n_k \cdot \Delta\sigma_k^5)}{5 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_D^5}$$

Schaden, hervorgerufen durch variable Schwingspiele

mit:

$$\begin{aligned} \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i &\geq \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf} \rightarrow \Delta\sigma_i = \Delta\sigma_j \\ \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i &< \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf} \rightarrow \Delta\sigma_i = \Delta\sigma_k \\ \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i &< \Delta\sigma_L / \gamma_{Mf} \rightarrow - \end{aligned}$$

$$\stackrel{!}{=} \frac{N_C \cdot \Delta\sigma_{E,2}^3}{5 \cdot 10^6 \cdot \Delta\sigma_D^3} \Rightarrow \Delta\sigma_{E,2} = \left( \frac{\sum_j (n_j \cdot \Delta\sigma_j^3) + \Delta\sigma_D^{-2} \cdot (\sum_k (n_k \cdot \Delta\sigma_k^5))}{N_C} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Schaden, hervorgerufen durch konstantes Schwingspiel  $\Delta\sigma_{E,2}$  bei 2.000.000 LW

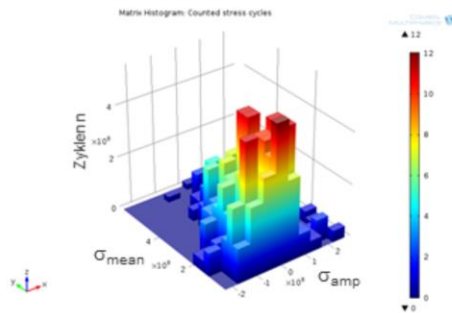
### Ermittlung des Spektrums der Spannungsschwingbreiten

Spannungsverlauf am Konstruktionsdetail:



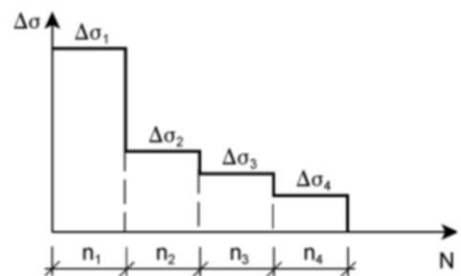
### Zählverfahren:

- Rainflow-Methode  
(mit Erfassung der Mittelspannung)



### Zählverfahren:

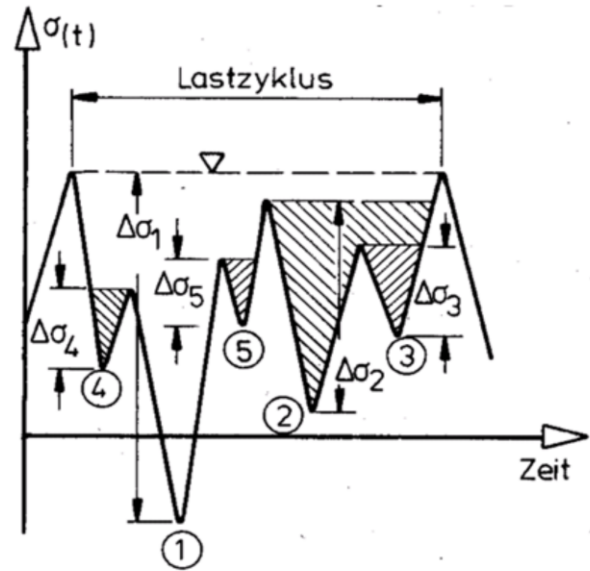
- Reservoir-Methode  
(ohne Erfassung der Mittelspannung)



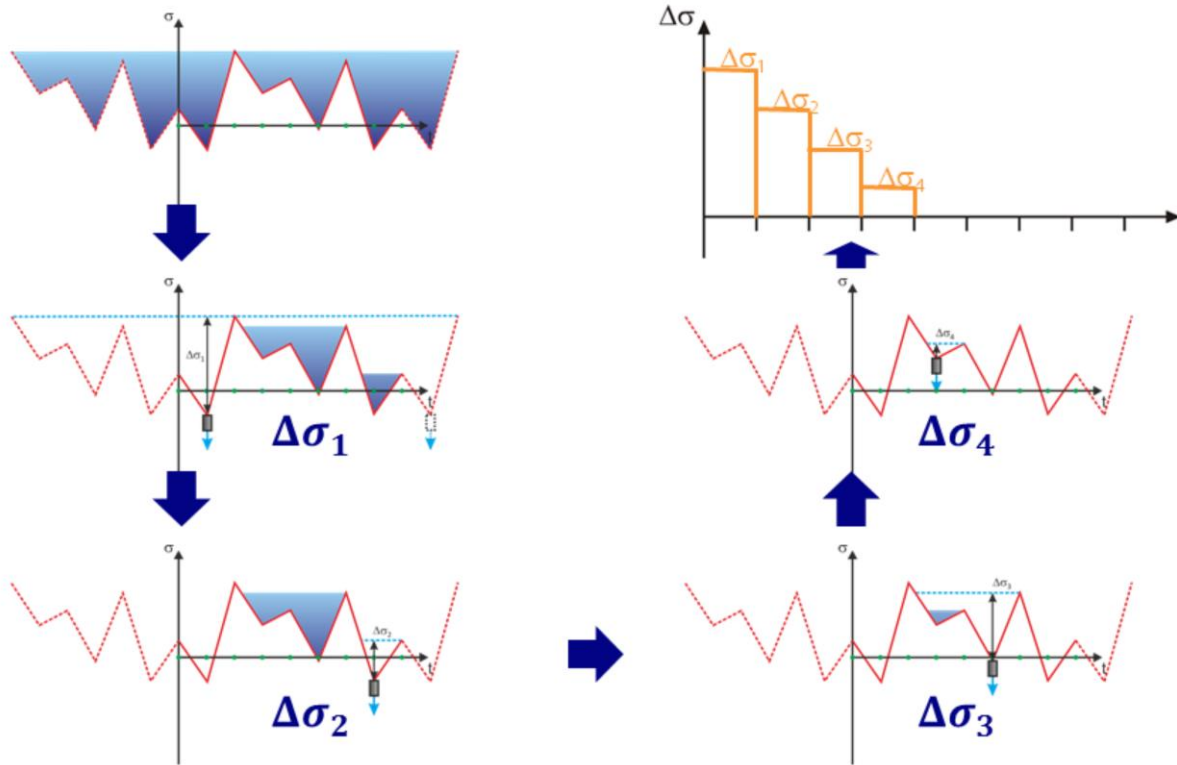
## Ermittlung des Spektrums der Spannungsschwingbreiten

Vorgehen „Reservoir-Methode“:

- Spannungs-Zeit-Verlauf eines Lastzyklus „mit Wasser füllen“
- Ermittlung der Spannungsdifferenzen durch sukzessives Entleeren der gefüllten Bereiche
- $\Delta\sigma_1$  = Differenz zwischen dem Wasserspiegel und dem tiefsten Punkt (am tiefsten Punkt wird das Wasser abgelassen)
- Beanspruchungskollektiv: Ordnung der Spannungsdifferenzen nach Größen und Zusammenfassung in Stufen



## Ermittlung des Spektrums der Spannungsschwingbreiten

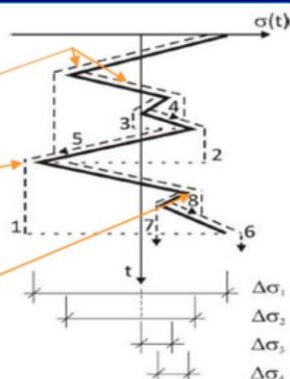




## Ermittlung des Spektrums der Spannungsschwingbreiten

Ermittlung der Spannungswerte:

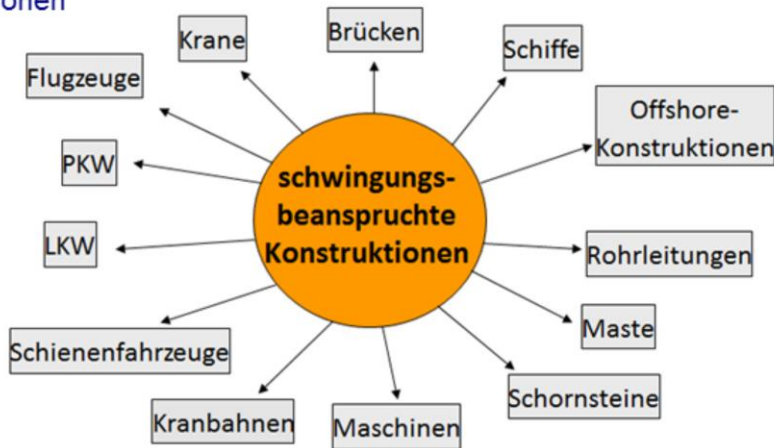
- ein gedachter Wassertropfen gleitet die gedrehten Geraden auf beiden Seiten herunter
- erreicht er eine Spitze, so tropft er ab
- wird er gestoppt, so kann die Spannungsschwingbreite  $\Delta\sigma$  eines Belastungsschrittes abgelesen werden; der nächste Tropfen startet sodann unterhalb dieses Punktes
- ein Wassertropfen stoppt, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:
  - a. Wassertropfen startet von einem Minimum (links) und gelangt an ein mindestens gleichgroßes Minimum.
  - b. Wassertropfen startet von einem Maximum (rechts) und gelangt an ein mindestens gleichgroßes Maximum.
  - c. Wassertropfen erreicht die Gleitbahn eines anderen Tropfens.



1	passiert ein gleichgroßes Maximum
2	passiert ein größeres Maximum
3	passiert ein größeres Maximum
4	erreicht den Lauf des Tropfen 2
5	erreicht den Lauf des Tropfen 1
6	„fällt raus“
7	„fällt raus“
8	erreicht den Lauf des Tropfen 1
Tropfen 1 und 6, 2 und 5, 3 und 4, 7 und 8 durchlaufen jeweils die gleichen Abstände aber in entgegengesetzte Richtungen. Diese Paare formen jeweils ein Spannungsschwingenspiel mit Minimum, Maximum und Mittelspannung.	



Ein Ermüdungsnachweis erforderlich bei schwingungsbeanspruchten Konstruktionen



Quelle: Liebherr



Quelle: Hildenbrand Ingenieure



Quelle: Schicks Abgastechnik



Quelle: wikipedia

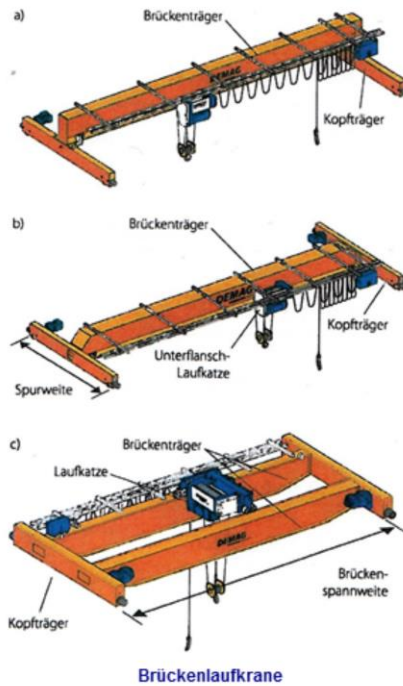


Quelle: VG Linz



Quelle: SSF Ingenieure

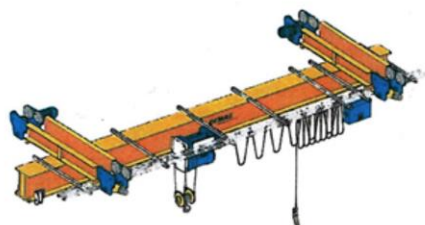
## Bauarten von Krananlagen: Brückenlaufkrane



Kretz, Joachim: „Bemessung von Kranbahnträgern“. In: „mb-news 2|2014“, mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern, 2014)

- Unterscheidung zwischen:
  - Einträger-Brückenlaufkrane  
Brückenspannweite (gemessen zwischen den Achsschwerpunkten der Kopfträger) bis zu 22m  
Tragfähigkeit bis zu 12,5 to
  - Zweiträger-Brückenlaufkrane  
Brückenspannweite bis zu 30m  
Tragfähigkeit bis zu 100 to
- Bewegung:  
in Hallenlängsrichtung (ermöglicht Arbeitsfläche entsprechend des Grundrisses der Halle)
- Belastung des Kranbahnträgers:  
punktuell über das - am Kopfträger befindliche - Laufwerk und die Schiene.
- Brückenspannweite sollte weniger als 7-mal so groß sein wie der Radstand des Laufwerks c, um optimale Laufeigenschaften des Krans zu garantieren.

## Bauarten von Krananlagen: Hängekrane

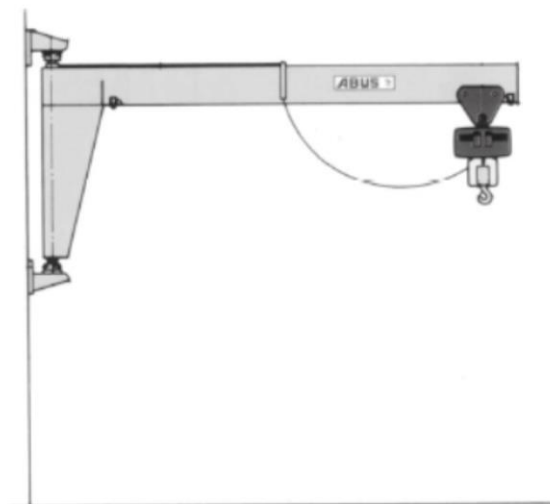


- Unterscheidung zwischen:
  - Einträger-Hängekrane
  - Zweiträger-Hängekrane
- Brückenspannweite bis zu 20m
- Tragfähigkeit bis zu 10 to
- Bewegung:  
werden oftmals an Binderriegeln bzw. Fachwerkträgern der Halle befestigt, was sie auf eine Bewegung in Hallenquerrichtung beschränkt und ihre Reichweite eindämmt
- Unterschied zum Brückenlaufkran in der Bemessung:  
Hängekran befindet am unteren und nicht am oberen Flansch des Kranbahnträgers, was zu einem mehrachsigen Spannungsverlauf im Untergurt des Kranbahnträgers führt

Hängekrane

Kretz, Joachim: „Bemessung von Kranbahnträgern“. In: „mb-news 2|2014“, mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern, 2014)

## Bauarten von Krananlagen: Schwenkkran



Wandschwenkkran

- Feste Installation an einer Hallenstütze
- Brückenspannweite bis zu 20m
- Bewegung:  
Der Ausleger ist zwischen den beiden Lagern angeordnet und horizontal frei verdrehbar, wodurch ein halbkreisförmiger Arbeitsbereich definiert wird
- Tragfähigkeit bis zu 4 to
- Maximales Traglastmoment bis zu 150 kNm
- Aufnahme des Kranmomentes:
  - am Auflager oben und unten gelagert,
  - oberes Lager:  
einwertig, Aufnahme von Horizontallasten
  - unteres Lager:  
zweiwertig, Aufnahme von Horizontal- und Vertikallasten

Seeßelberg, Christoph: „Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung nach Eurocode“, 4., vollständig überarbeitete Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014

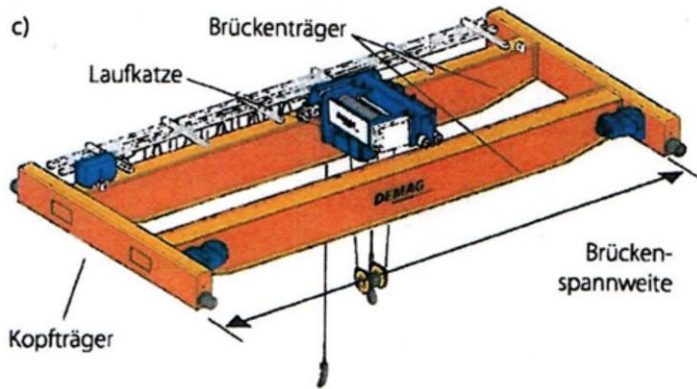
## Bauarten von Krananlagen

Zusammenstellung der Krandidaten

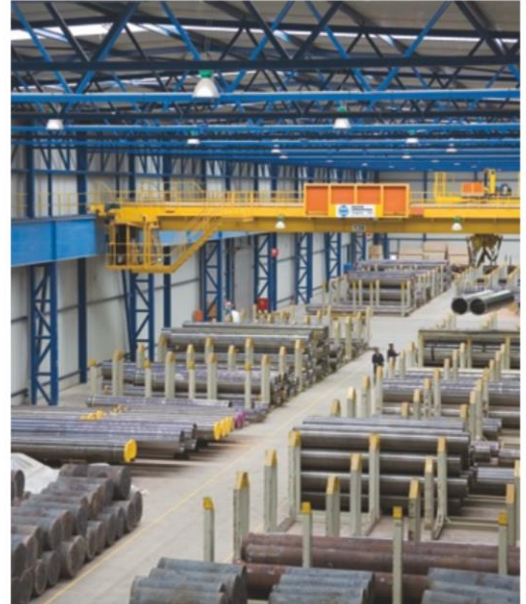
Bauart	max. Hublast	max. Spannweite	Einsatzspektrum
Brückenlaufkran	12,5 bis 100 t	22 bis 30 m	in Hallenlängsrichtung
Hängekran	10 t	20 m	in Hallenquerrichtung
Schwenkkran	4 t	-	ortsgebunden



## Hauptbestandteile eines Zweiträger-Brückenlaufkrans



Kretz, Joachim: „Bemessung von Kranbahnträgern“. In: „mb-news 2|2014“, mb AEC Software GmbH, Kaiserslautern, 2014)



PREON Kranbahn

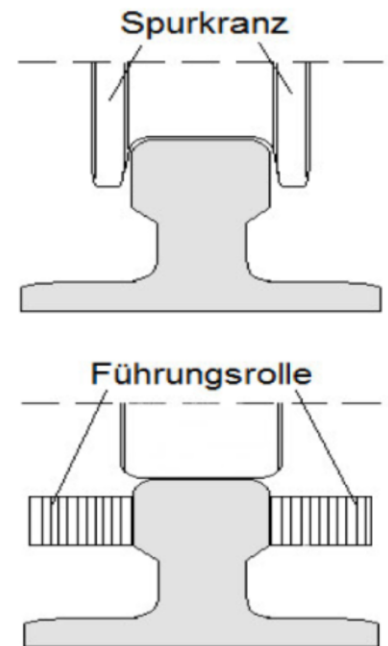
[www.portal.stahlbauforum.de](http://www.portal.stahlbauforum.de)

## Antrieb und Radführung

	Gekoppelt (C) (coupled)	Unabhängig (I) (independent)
Fest / Fest (F/F) (fixed / fixed)	 CFF	 IFF
Fest / Lose (F/M) (fixed / moving)	 CFM	 IFM

Antriebssysteme nach DIN EN 13001-2: Kransicherheit - Konstruktion allgemein - Teil 2: Lasteinwirkungen; Ausgabe 06/2012

1. Antriebsart (gekoppelt / unabhängig)
2. seitliche Verschiebbarkeit der einzelnen Laufräder zur Kranbahn (fest / lose)  
fest: Übertragung horizontaler Kräfte durch Reibung oder Führungselemente



Führungselemente:  
Laufrad mit Spurkranz (oben)  
Laufrad mit Führungsrollen (unten)  
Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

Bei den Antriebsarten für Brückenlaufkrane unterscheidet man zwischen zwei Varianten (gekoppelt / unabhängig):

- **C:** die Laufradpaare können mittels eines **Zentralantriebes** verbunden sein, d.h. die Laufräder die in einer Kranachse liegen sind mechanisch oder elektrisch drehzahlgekoppelt
- **I: Einzelradantrieb**, wobei dann die entsprechenden Laufradpaare einzeln gelagert bzw. angetrieben werden.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bezieht sich auf die seitliche Verschiebbarkeit der einzelnen Laufräder zur Kranbahn, wobei unterschieden wird zwischen

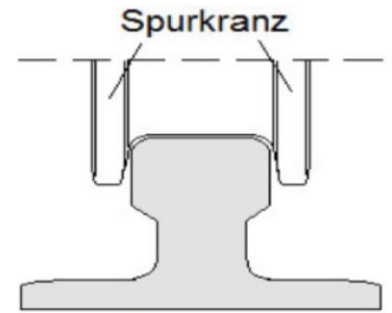
- **M:** beweglichen Lagern und
- **F:** Festlagern.

Für **Festlager** wird unterstellt, dass die auftretenden horizontalen Kräfte durch Reibung übertragbar sind, unabhängig vom Vorhandensein von Führungselementen. Die Radführung erfolgt entweder durch Spurkränze auf beiden Seiten oder durch (horizontale) Führungsrollen. Der Einsatz von Führungsrollen verursacht einen wesentlich geringeren Verschleiß an Schienen und Laufrädern und wird deshalb bei hoch beanspruchten Kranbahnen bevorzugt. Antriebsart und Radführung haben großen Einfluss auf die Übertragung horizontaler Kräfte der Räder auf die Kranbahnträger / Kranschiene und sind ein wichtiger Faktor bei deren Bemessung.

## Radführung



Radsatz DWS, <http://www.demagcranes.de>



Führungselemente:  
Laufrolle mit Spurkranz  
Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer  
Kranbahn nach DIN EN 1993-6“



Bei den Antriebsarten für Brückenlaufkrane unterscheidet man zwischen zwei Varianten (gekoppelt / unabhängig):

- **C:** die Laufradpaare können mittels eines **Zentralantriebes** verbunden sein, d.h. die Laufräder die in einer Kranachse liegen sind mechanisch oder elektrisch drehzahlgekoppelt
- **I: Einzelradantrieb**, wobei dann die entsprechenden Laufradpaare einzeln gelagert bzw. angetrieben werden.

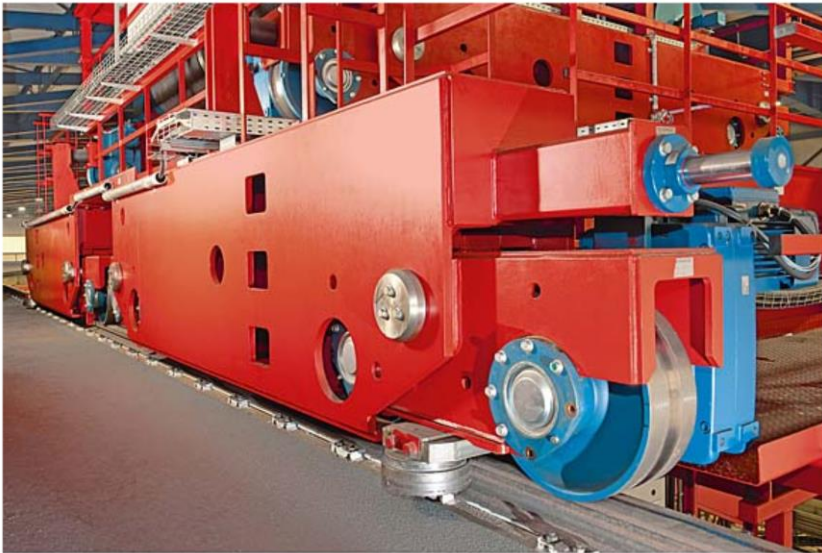
Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bezieht sich auf die seitliche Verschiebbarkeit der einzelnen Laufräder zur Kranbahn, wobei unterschieden wird zwischen

- **M:** beweglichen Lagern und
- **F:** Festlagern.

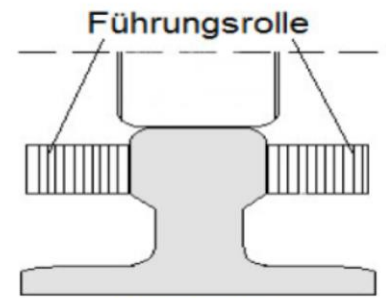
Für **Festlager** wird unterstellt, dass die auftretenden horizontalen Kräfte durch Reibung übertragbar sind, unabhängig vom Vorhandensein von Führungselementen. Die Radführung erfolgt entweder durch Spurkränze auf beiden Seiten oder durch (horizontale) Führungsrollen. Der Einsatz von Führungsrollen verursacht einen wesentlich geringeren Verschleiß an Schienen und Laufrädern und wird deshalb bei hoch beanspruchten Kranbahnen bevorzugt. Antriebsart und Radführung haben großen Einfluss auf die Übertragung horizontaler Kräfte der Räder auf die Kranbahnträger / Kranschienen und sind ein wichtiger Faktor bei deren Bemessung.



## Radführung



<http://www.demagcranes.de>



Führungselemente:  
Laufrolle mit Führungsrollen  
Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer  
Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

Bei den Antriebsarten für Brückenlaufkrane unterscheidet man zwischen zwei Varianten (gekoppelt / unabhängig):

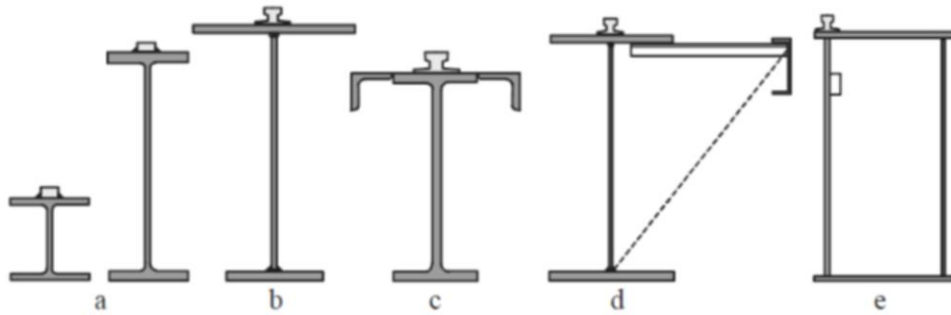
- **C:** die Laufradpaare können mittels eines **Zentralantriebes** verbunden sein, d.h. die Laufräder die in einer Kranachse liegen sind mechanisch oder elektrisch drehzahlgekoppelt
- **I: Einzelradantrieb**, wobei dann die entsprechenden Laufradpaare einzeln gelagert bzw. angetrieben werden.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal bezieht sich auf die seitliche Verschiebbarkeit der einzelnen Laufräder zur Kranbahn, wobei unterschieden wird zwischen

- **M:** beweglichen Lagern und
- **F:** Festlagern.

Für **Festlager** wird unterstellt, dass die auftretenden horizontalen Kräfte durch Reibung übertragbar sind, unabhängig vom Vorhandensein von Führungselementen. Die Radführung erfolgt entweder durch Spurkränze auf beiden Seiten oder durch (horizontale) Führungsrollen. Der Einsatz von Führungsrollen verursacht einen wesentlich geringeren Verschleiß an Schienen und Laufrädern und wird deshalb bei hoch beanspruchten Kranbahnen bevorzugt. Antriebsart und Radführung haben großen Einfluss auf die Übertragung horizontaler Kräfte der Räder auf die Kranbahnträger / Kranschienen und sind ein wichtiger Faktor bei deren Bemessung.

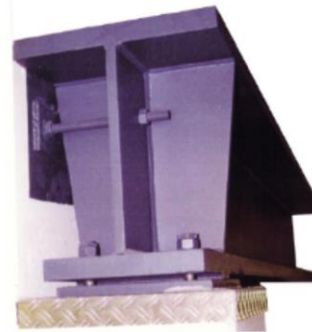
## Querschnittstypen von Kranbahnträgern



Querschnittstypen für Kranbahnträger

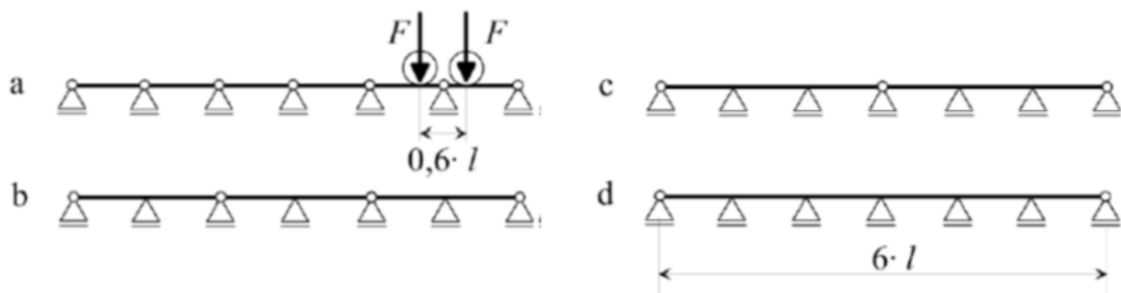
Seeßelberg, Christoph: „Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung nach Eurocode“, 4., vollständig überarbeitete Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014

- a) Walzprofile
- b) I-Schweißprofile
- c) zusammengesetzte Profile
- d) Träger mit Horizontalverband
- e) Kastenträger



Schweißprofil  
Seeßelberg, Christoph: „Zum Entwurf von Kranbahnträgern für Laufkrane“

## Statisches System

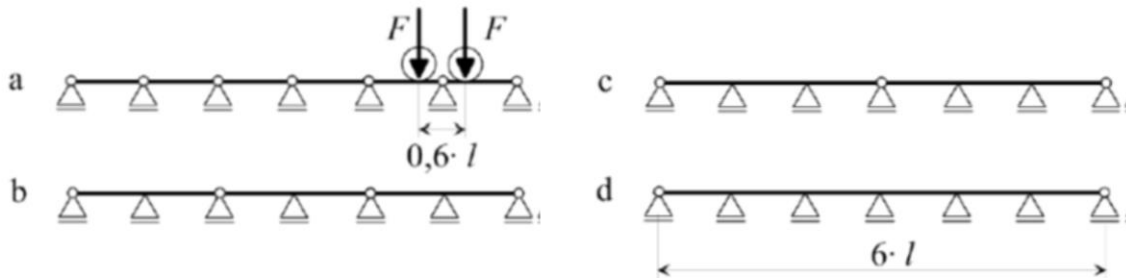


Kranbahn als...	max $M_{\text{Feld}}$	max $M_{\text{Stütz}}$
	in [%] bezogen auf max $M_{\text{Feld}}$ Einfeldträger	
Einfeldträger	100%	-
Zweifeldträger	84%	-71%
Dreifeldträger	83%	-69%
Sechsfeldträger	83%	-69%

Biegemomente für eine Kranbahn über 6 Felder

Seeßelberg, Christoph: „Zum Entwurf von Kranbahnträgern für Laufkrane“

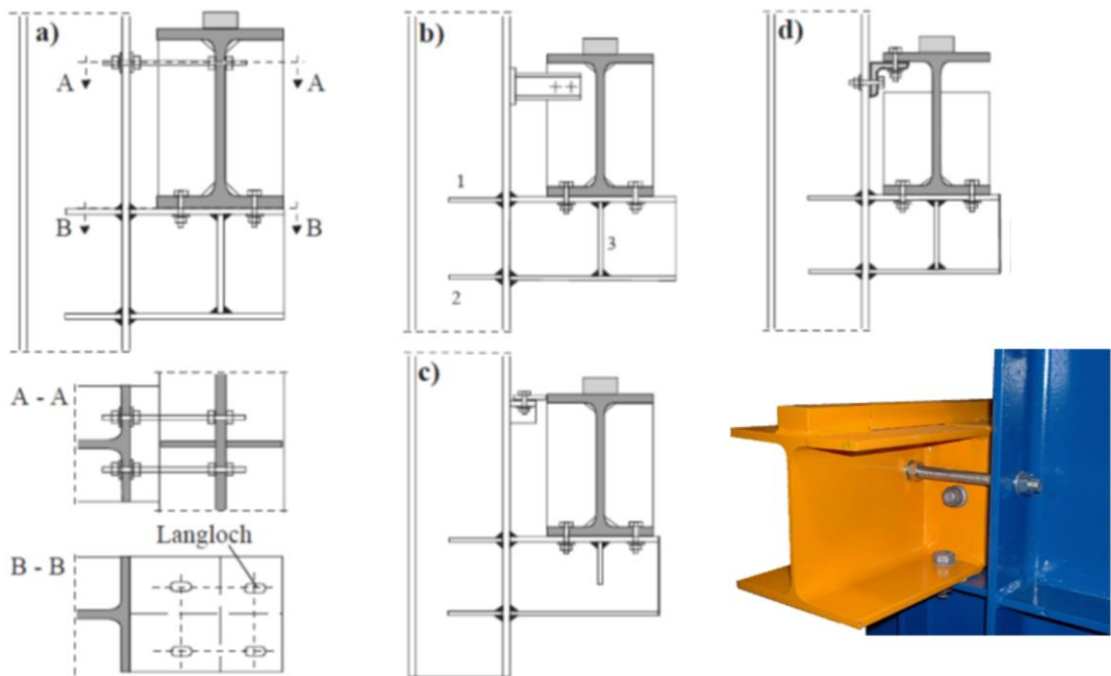
## Statisches System



### Bewertung der Varianten (Seeßelberg, Christoph: „Zum Entwurf von Kranbahnträgern für Laufkrane“):

- a) Einfeldrige Kranbahnträger haben die größten Biegemomente und erfordern daher den größten Materialeinsatz. Sie weisen aber auch Vorteile auf: Es gibt keine abhebenden Auflagerkräfte, sie sind setzungsunempfindlich und einfach montierbar.
- b) Zweifeldträger lassen sich meist aus einem Stück anfertigen (Lieferlänge für Walzerzeugnisse i.d.R. bis 18 m), biegesteife Stöße sind nicht notwendig. Die Schnittgrößen sind deutlich geringer als die des Einfeldträgers, aber kaum größer als diejenigen von Trägern mit mehr Feldern. Der Zweifeldträger erweist sich daher im Regelfall als eine wirtschaftliche und grundsätzlich empfehlenswerte Lösung. Als nachteilig könnte höchstens der Umstand angesehen werden, dass die Auflagerlasten benachbarter Auflagerpunkte (= Kranstützen) unterschiedlich sind.
- c) Ein durchlaufend biegesteifer Kranbahnträger erfordert viele biegesteife Stöße (Kosten!). Bei sehr schwerem Kranbetrieb kann u.U. die Knicklosigkeit der Biegelinie des Trägers wichtig sein: sie fördert die Laufruhe der Kranbrücke.

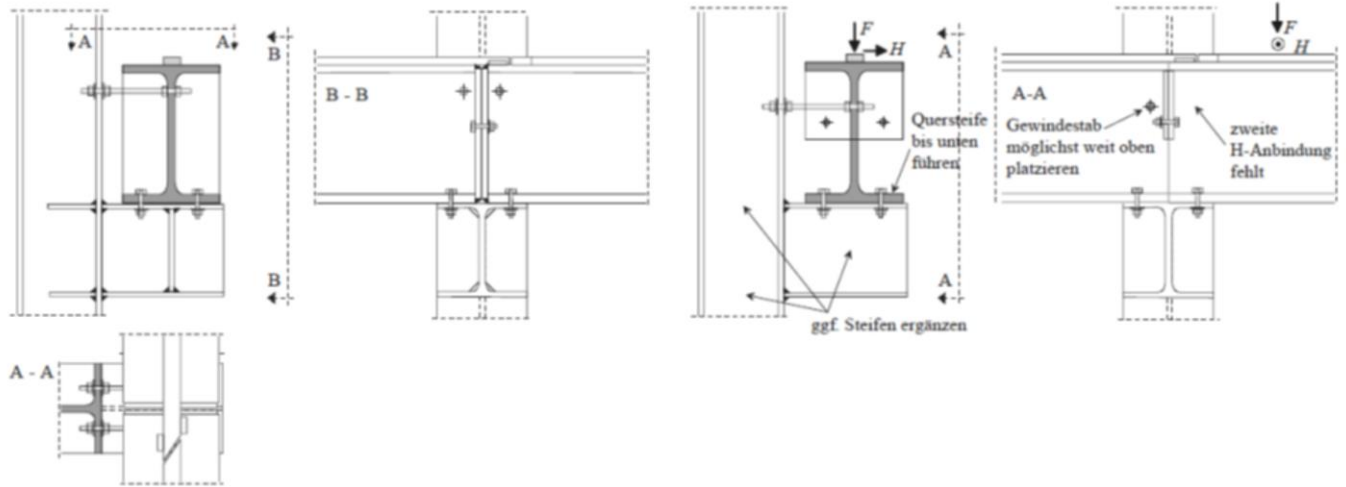
## Auflager



Auflager von Kranbahnträgern auf Stahlkonstruktionen

Seeßelberg, Christoph: „Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung nach Eurocode“, 4., vollständig überarbeitete Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014

Querstöße



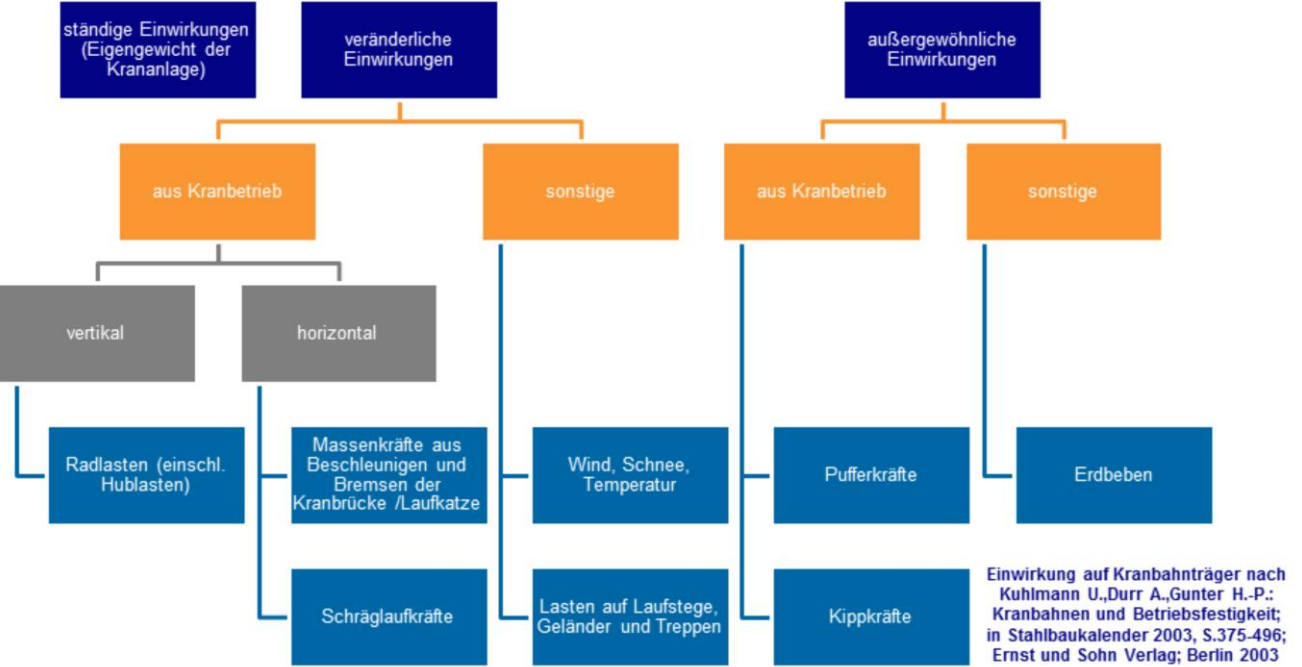
Geeignete (links) / ungeeignete (rechts) Ausführung eines gelenkigen Stoßes

Seeßelberg, Christoph: „Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung nach Eurocode“, 4., vollständig überarbeitete Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014



## Lasten und Lastgruppen

Die Belastung des Kranbahnträgers erfolgt von dem Kranlaufwerk aus über die Kranschiene, von wo aus sie dann punktuell über die Räder auf den Kranbahnträger übertragen wird.



Einwirkung auf Kranbahnträger nach  
Kuhlmann U., Durr A., Gunter H.-P.:  
Kranbahnen und Betriebsfestigkeit;  
in Stahlbaukalender 2003, S.375-496;  
Ernst und Sohn Verlag; Berlin 2003

Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3)

Die verschiedenen repräsentativen Werte für veränderliche Kraneinwirkungen sind charakteristische Werte, die sich aus statischen und dynamischen Anteilen zusammensetzen.

Dynamische Anteile infolge von Schwingungen, die durch Trägheitskräfte und Dämpfungs-  
wirkungen hervorgerufen werden, werden im Allgemeinen durch dynamische Faktoren erfasst, mit  
denen die statischen Lasten  
zu vervielfachen sind.

$$F_{\varphi,k} = \varphi_i \cdot F_k$$

$F_{\varphi,k}$  der charakteristische Wert  
der Kraneinwirkung

$\varphi_i$  der dynamische Faktor  
(siehe Tabelle 2.1)

$F_k$  der charakteristische  
statische Anteil der  
Kraneinwirkung

Tabelle 2.1 — Dynamische Faktoren  $\varphi_i$

Dynamische Faktoren	Einfluss, der berücksichtigt wird	Anzuwenden auf
$\varphi_1$	– Schwingungsanregung des Krantragwerks infolge Anheben der Hublast vom Boden	Eigengewicht des Krans
$\varphi_2$ oder $\varphi_3$	– dynamische Wirkungen beim Anheben der Hublast vom Boden – dynamische Wirkungen durch plötzliches Loslassen der Nutzlast, wenn zum Beispiel Greifer oder Magneten benutzt werden	Hublast
$\varphi_4$	– dynamische Wirkung hervorgerufen durch Fahren auf Schienen oder Fahrbahnen	Eigengewicht des Krans und Hublast
$\varphi_5$	– dynamische Wirkungen verursacht durch Antriebskräfte	Antriebskräfte
$\varphi_6$	– dynamische Wirkungen infolge einer Prüflast, die durch die Antriebe entsprechend den Einsatzbedingungen bewegt wird	Prüflast
$\varphi_7$	– dynamische elastische Wirkungen verursacht durch Pufferanprall	Pufferkräfte

Unter normalen Betriebsbedingungen ergeben sich aus Kranen zeitlich und örtlich veränderliche Einwirkungen. Sie beinhalten Gravitationskräfte einschließlich Hublasten, Trägheitskräfte aus Beschleunigen und Bremsen sowie Kräfte, die aus Schräglauf und anderen dynamischen Einflüssen resultieren.

Die veränderlichen Kraneinwirkungen sollten getrennt werden in:

- veränderliche vertikale Kraneinwirkungen, die durch das Eigengewicht des Krans und der Hublast verursacht werden
- veränderliche horizontale Kraneinwirkungen, die durch das Beschleunigen und Bremsen, durch Schräglauf oder andere dynamische Einwirkungen verursacht werden.
- Die verschiedenen repräsentativen Werte für veränderliche Kraneinwirkungen sind charakteristische Werte, die sich aus statischen und dynamischen Anteilen zusammensetzen.

Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3)

Das gleichzeitige Auftreten von Kranlastanteilen darf durch die Bildung von Lastgruppen berücksichtigt werden (Tabelle 2.2).

Jede dieser Lastgruppen sollte für die Kombination mit anderen, nicht aus Kranbetrieb resultierenden Einwirkungen, als eine einzige charakteristische Kraneinwirkung angesehen werden.

Tabelle 2.2 — Lastgruppen mit dynamischen Faktoren, die als eine einzige charakteristische Einwirkung anzusehen sind

		Symbol	Abschnitt	Lastgruppen									
				ULS							Prüf- last	Außer- ge- wöhn- lich	
				1	2	3	4	5	6	7			
1	Eigengewicht des Krans	$Q_k$	2.6	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2	Hublast	$Q_k$	2.6	$\varphi_2$	$\varphi_3$	-	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^{1)}$	-	1	1
3	Beschleunigung der Kranbrücke	$H_k, H_T$	2.7	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	-	-	-	$\varphi_5$	-	-
4	Schräglauf der Kranbrücke	$H_5$	2.7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Beschleunigen oder Bremsen der Laufkatze oder Hubwerk	$H_{T3}$	2.7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Wind in Betrieb	$F_W^*$	Anhang A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Prüflast	$Q_T$	2.10	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_6$	-	-
8	Pufferkraft	$H_6$	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_7$	-
9	Kippkraft	$H_{T,k}$	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
ANMERKUNG Zu Wind außerhalb Betrieb, siehe Anhang A.													
<sup>1)</sup> $\eta$ ist der Anteil der Hublast, der nach Entleeren der Nutzlast verbleibt, jedoch nicht im Eigengewicht des Krans enthalten ist.													

- Unter normalen Betriebsbedingungen ergeben sich aus Kranen zeitlich und örtlich veränderliche Einwirkungen. Sie beinhalten Gravitationskräfte einschließlich Hublasten, Trägheitskräfte aus Beschleunigen und Bremsen sowie Kräfte, die aus Schräglauf und anderen dynamischen Einflüssen resultieren.
- Die veränderlichen Kraneinwirkungen sollten getrennt werden in:
- veränderliche vertikale Kraneinwirkungen, die durch das Eigengewicht des Krans und der Hublast verursacht werden
  - veränderliche horizontale Kraneinwirkungen, die durch das Beschleunigen und Bremsen, durch Schräglauf oder andere dynamische Einwirkungen verursacht werden.
  - Die verschiedenen repräsentativen Werte für veränderliche Kraneinwirkungen sind charakteristische Werte, die sich aus statischen und dynamischen Anteilen zusammensetzen.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3 NA)

Beim Nachweis des statischen Gleichgewichtes EQU und Abhebesicherheit von Lagern sind die günstigen und ungünstig wirkenden Anteile der variablen Kraneinwirkungen als einzelne Einwirkungen zu betrachten.

Folgende  $\gamma$ -Werte sind umzusetzen:

$$\gamma_{Gsup} = 1,05$$

$$\gamma_{Ginf} = 0,95$$

Tabelle NA.A.1 — Teilsicherheitsfaktoren

Einwirkung	Symbol	Situation	
		P/T	A
<b>Ständige Kraneinwirkung</b>			
— ungünstig Auswirkung	$\gamma_{Gsup}$	1,35	1,00
— günstige Auswirkungen	$\gamma_{Ginf}$	1,00	1,00
<b>Veränderliche Kraneinwirkung</b>			
— ungünstige Auswirkung	$\gamma_{Qsup}$	1,35	1,00
— günstige Auswirkungen	$\gamma_{Qinf}$		
Kran vorhanden		1,00	1,00
Kran nicht vorhanden		0,00	0,00
<b>Andere veränderliche Einwirkungen</b>	$\gamma_Q$		
— ungünstig		1,50	1,00
— günstig		0,00	0,00
<b>Außergewöhnliche Einwirkung</b>	$\gamma_A$		1,00
P – Ständige Bemessungssituation T – Vorübergehende Bemessungssituation A – Außergewöhnliche Bemessungssituation			

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Tabelle 2.2 — Lastgruppen mit dynamischen Faktoren, die als eine einzige charakteristische Einwirkung anzusehen sind

Zu berücksichtigende  
charakteristische Werte der  
Kranenwirkung:

- Eigengewicht des Krans  $Q_c$
- Hublast  $Q_h$
- Beschleunigen der Kranbrücke  
 $H_L, H_T$

		Symbol	Abschnitt	Lastgruppen									
				ULS							Prüf- last	Außer- gewöhn- lich	
				1	2	3	4	5	6	7			
1	Eigengewicht des Krans	$Q_c$	2.6	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2	Hublast	$Q_h$	2.6	$\varphi_2$	$\varphi_3$	-	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^1$	-	1	1
3	Beschleunigung der Kranbrücke	$H_L, H_T$	2.7	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	-	-	-	$\varphi_5$	-	-
4	Schräglauflauf der Kranbrücke	$H_S$	2.7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Beschleunigen oder Bremsen der Laufkatze oder Hubwerk	$H_{T3}$	2.7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Wind in Betrieb	$F_W^*$	Anhang A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Prüflast	$Q_T$	2.10	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_6$	-	-
8	Pufferkraft	$H_B$	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_7$	-
9	Kippkraft	$H_{TA}$	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

ANMERKUNG: Zu Wind außerhalb Betrieb, siehe Anhang A.

<sup>1</sup>  $\eta$  ist der Anteil der Hublast, der nach Entfernen der Nutzlast verbleibt, jedoch nicht im Eigengewicht des Krans enthalten ist.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Charakteristische vertikale Radlasten:

(Eigengewicht + Hublast)

$$F_{\varphi,k,1} = \varphi_1 \cdot Q_{r,max,c,1} + \varphi_{2A} \cdot Q_{r,max,h,1}$$

$$F_{\varphi,k,2} = \varphi_1 \cdot Q_{r,max,c,2} + \varphi_{2A} \cdot Q_{r,max,h,2}$$



a) Lastanordnung des belasteten Krans zur Bestimmung der maximalen Belastung des Kranbahnträgers

mit:

$\varphi_1$  Schwingbeiwert „Eigengewicht“

$\varphi_2$  Schwingbeiwert „Hublast“

$Q_{r,max,c,i}$  maximale statische Last je Rad i des belasteten Krans aus Eigengewicht

$Q_{r,max,h,i}$  maximale statische Last je Rad i des belasteten Krans aus Hublast

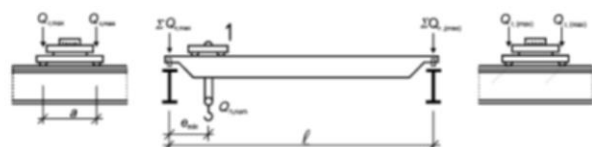
		Symbol	Abschnitt	
				1
1	Eigengewicht des Krans	$Q_c$	2.6	$\varphi_1$
2	Hublast	$Q_h$	2.6	$\varphi_2$
3	Beschleunigung der Kranbrücke	$H_L, H_T$	2.7	$\varphi_5$
4	Schräglauflast der Kranbrücke	$H_S$	2.7	-
5	Beschleunigen oder Bremsen der Laufkatze oder Hubwerk	$H_{T3}$	2.7	-
6	Wind in Betrieb	$F_W^*$	Anhang A	1
7	Prüflast	$Q_T$	2.10	-
8	Pufferkraft	$H_B$	2.11	-
9	Kippkraft	$H_{TA}$	2.11	-



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Statische vertikale Radlasten aus (1.) Eigengewicht und (2.) Hublast

Unter Berücksichtigung der jeweils kritischen Lastanordnung sind die für die Bemessung notwendigen minimalen und maximalen Radlasten zu ermitteln. Die Gleichung zur Ermittlung der Radlasten kann z.B. DIN 1055-10 entnommen werden.



Lastanordnung des belasteten Krans zur Bestimmung der maximalen des Kranbahnträgers nach DIN EN 1991-3 (Bild 2.1)

$Q_{r,max}$  maximale Last je Rad des belasteten Krans

$Q_{r,(max)}$  die zugehörige Last je Rad des belasteten Krans



Lastanordnung des belasteten Krans zur Bestimmung der minimalen des Kranbahnträgers nach DIN EN 1991-3 (Bild 2.1)

$Q_{r,min}$  minimale Last je Rad des unbel. Krans

$Q_{r,(min)}$  die zugehörige Last je Rad des unbelasteten Krans

$Q_{h,nom}$  Nennhublast

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Statische vertikale Radlasten aus (1.) Eigengewicht und (2.) Hublast

Ermittlung der maßgebenden Radlasten:

$$\sum Q_{r,max} = \varphi_i \cdot \left[ \frac{Q_{C1}}{2} + Q_{C2} \cdot \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right) \right] + \varphi_j \cdot Q_H \cdot \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right)$$

$$\sum Q_{r,(max)} = \varphi_i \cdot \left[ \frac{Q_{C1}}{2} + Q_{C2} \cdot \frac{e_{min}}{l} \right] + \varphi_j \cdot Q_H \cdot \frac{e_{min}}{l}$$

$$\sum Q_{r,min} = \varphi_i \cdot \left[ \frac{Q_{C1}}{2} + Q_{C2} \cdot \frac{e_{min}}{l} \right]$$

$$\sum Q_{r,(min)} = \varphi_i \cdot \left[ \frac{Q_{C1}}{2} + Q_{C2} \cdot \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right) \right]$$

$Q_{C1}$  Eigengewicht Krankonstruktion  
ohne Laufkatze

$Q_{C2}$  Eigengewicht Laufkatze

$Q_H$  Hublast



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Schwingbeiwerte:

(zumeist Herstellerangaben, ansonsten nach DIN EN 1991-3 zu ermitteln)

### $\varphi_1$ (Eigengewicht)

$$0,9 \leq \varphi_1 \leq 1,1$$

Die beiden Werte 1,1 und 0,9 decken die unteren und oberen Werte des Schwingungsimpulses ab.

### $\varphi_{2A}$ (Hublast)

$$\varphi_{2A} = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h$$

mit:

$v_h$  konstante Hubgeschwindigkeit in m/s

Werte für  $\beta_1$  und  $\varphi_{2,min}$  Tabelle 2.5 nach DIN EN 1991-3

Hubklasse	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

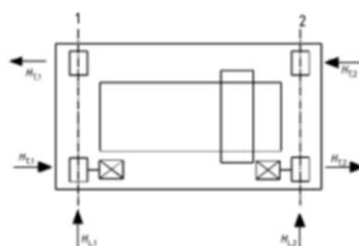
ANMERKUNG Die Krane werden zur Berücksichtigung der dynamischen Wirkungen beim Aufheben der Last vom Boden in die Hubklassen HC1 bis HC4 eingestuft. Die Auswahl der Hubklasse hängt vom jeweiligen Krantyp ab, siehe Anhang B.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Charakteristische horizontale / vertikale Radlasten:  
(Beschleunigen / Bremsen der Kranbrücke)

$$H_{L,\varphi,i} = \varphi_5 \cdot H_{L,i}$$

$$H_{T,\varphi,i} = \varphi_5 \cdot H_{T,i}$$



Anordnung der horizontalen Radlasten infolge Beschleunigung und Bremsen längs und quer zur Fahrbahn nach DIN EN 1991-3

mit:

$\varphi_5$  Schwingbeiwert „Antrieb Hubwerk“

$H_{L,i}$  horizontale Massekraft auf Kranbahnträger i

$H_{T,i}$  transversale Massekraft auf Kranbahnträger i

		Symbol	Abschnitt	
				1
1	Eigengewicht des Krans	$Q_k$	2.6	$\varphi_1$
2	Hublast	$Q_k$	2.6	$\varphi_2$
3	Beschleunigung der Kranbrücke	$H_L, H_T$	2.7	$\varphi_5$
4	Schräglauflast der Kranbrücke	$H_S$	2.7	-
5	Beschleunigen oder Bremsen der Laufkatze oder Hubwerk	$H_{T3}$	2.7	-
6	Wind in Betrieb	$F_w^*$	Anhang A	1
7	Prüflast	$Q_T$	2.10	-
8	Pufferkraft	$H_B$	2.11	-
9	Kippkraft	$H_{TA}$	2.11	-

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Charakteristische Massekräfte in Schienenlängsrichtung (L):

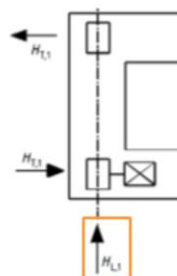
(Beschleunigen / Bremsen der Kranbrücke)

$$H_{L,i} = K \cdot \frac{1}{n_r}$$

mit:

$n_r$  Anzahl der Antriebsräder

$K$  Antriebskraft



$$K = K_1 + K_2 = \mu \cdot (Q_{r,min,1} + Q_{r,min,2})$$

(Gleichung gilt für Einzelradantrieb)

(sollte vom Kranhersteller angegeben werden)

mit:

$\mu$  Reibungsbeiwert (Stahl-Stahl: 0,2)

$K$  Antriebskraft

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Charakteristische Massekräfte in Schienenquerrichtung (T) (transversal):

(Beschleunigen / Bremsen der Kranbrücke)

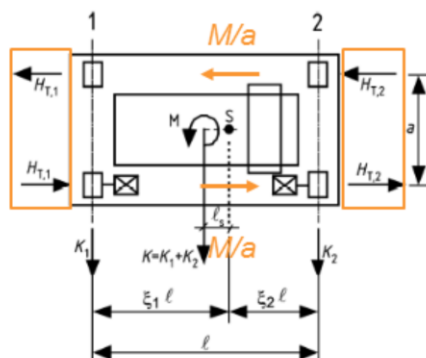
$$H_{T,1} = (1 - \xi_1) \cdot \frac{M}{a} \quad H_{T,2} = \xi_1 \cdot \frac{M}{a}$$

mit:

$M$  Moment durch Antriebskräfte

$\xi_1$  Verhältnisbeiwert

$a$  Abstand der Führungsrollen bzw. der Spurkränze



$$M = K \cdot (\xi_1 - 0,5) \cdot l \quad \xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r}$$

mit:

$K$  Antriebskraft

$l$  Spannweite der Kranbrücke

Das durch die Antriebskräfte erzeugte Moment  $M$ , das im Massenschwerpunkt angreift, steht im Gleichgewicht mit den quer zur Fahrbahn wirkenden horizontalen Kräften  $H_{T,1}$  und  $H_{T,2}$

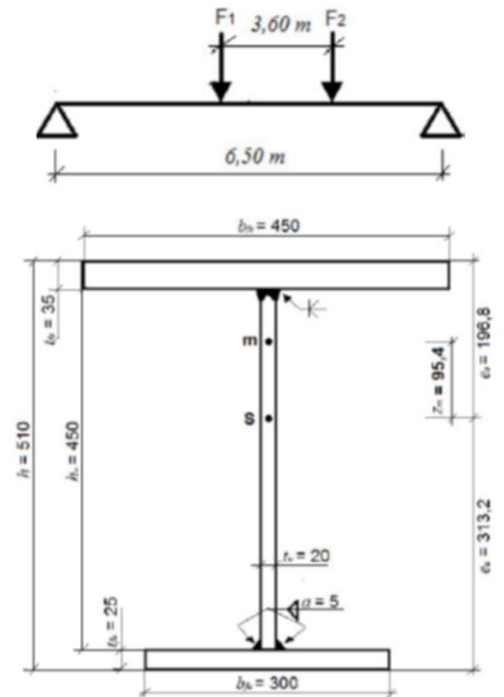


### Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

gesucht: Einwirkende Lasten für Lastgruppe 1

- Hubklasse HC 4
- Beanspruchungsklasse S 4
- Antriebssystem IFF mit Radführung durch Spurkränze
- Spannweite der Kranbrücke  $l = 22,0 \text{ m}$
- Radabstand  $a = 3,60 \text{ m}$
- Mindestabstand vom Auflager  $e_{min} = 1,20 \text{ m}$
- Eigengewicht der Kranbrücke  $Q_{C1,k} = 195 \text{ kN}$
- Gewicht der Laufkatze  $Q_{C2,k} = 18 \text{ kN}$
- maximale Hublast  $Q_{H,k} = 300 \text{ kN}$
- Hubgeschwindigkeit  $v_a = 5,0 \text{ m/min}$



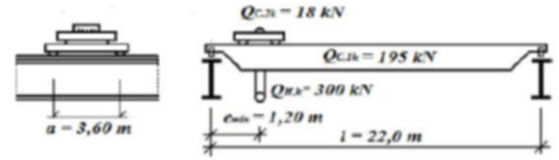
Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Ermittlung der maßgebenden maximalen Radlasten

(charakteristisch, statisch):



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

$$\sum Q_{r,max} = \varphi_i \cdot \left[ \frac{Q_{C1}}{2} + Q_{C2} \cdot \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right) \right] + \varphi_j \cdot Q_H \cdot \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right) =$$

$$= \varphi_i \cdot \left[ \frac{195kN}{2} + 18kN \cdot \left( \frac{22m - 1,2m}{22m} \right) \right] + \varphi_j \cdot 300kN \cdot \left( \frac{22m - 1,2m}{22m} \right) = \varphi_i \cdot 114,5kN + \varphi_j \cdot 283,6kN$$

$$Q_{r,max} = \varphi_i \cdot 57,25kN + \varphi_j \cdot 141,8kN$$

$$\sum Q_{r,(max)} = \varphi_i \cdot \left[ \frac{195kN}{2} + 18kN \cdot \frac{1,2m}{22m} \right] + \varphi_j \cdot 300kN \cdot \frac{1,2m}{22m} = \varphi_i \cdot 98,5kN + \varphi_j \cdot 16,4kN$$

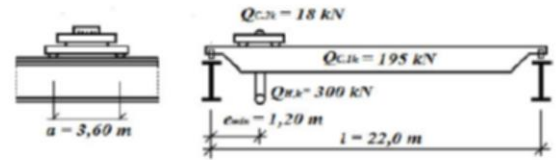
$$Q_{r,(max)} = \varphi_i \cdot 49,25kN + \varphi_j \cdot 8,7kN$$

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Ermittlung der maßgebenden minimalen Radlasten

(charakteristisch, statisch):



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

$$\sum Q_{r,min} = \varphi_i \cdot \left[ \frac{Q_{C1}}{2} + Q_{C2} \cdot \frac{e_{min}}{l} \right] = \varphi_i \cdot \left[ \frac{195kN}{2} + 18kN \cdot \frac{1,2m}{22m} \right] = \varphi_i \cdot 95,7kN$$

$$Q_{r,min} = \varphi_i \cdot 47,85kN$$

$$\begin{aligned} \sum Q_{r,(min)} &= \varphi_i \cdot \left[ \frac{Q_{C1}}{2} + Q_{C2} \cdot \left( \frac{l - e_{min}}{l} \right) \right] \\ &= \varphi_i \cdot \left[ \frac{195kN}{2} + Q_{C2} \cdot \left( \frac{22m - 1,2m}{22m} \right) \right] = \varphi_i \cdot 114,5kN \\ Q_{r,(min)} &= \varphi_i \cdot 57,25kN \end{aligned}$$

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

Zusammenstellung der charakteristischen, statischen Lasten (vertikal)

<b>Maximale vertikale Radlasten</b>	Aus Eigengewicht $Q_c$	$Q_{r,max,c,i} = 57,25kN$
	Aus Hublast $Q_h$	$Q_{r,max,h,i} = 141,8kN$
<b>Maximale vertikale Radlasten</b>	Aus Eigengewicht $Q_c$	$Q_{r,(max),c,i} = 49,25kN$
	Aus Hublast $Q_h$	$Q_{r,(max),h,i} = 8,7kN$
<b>Minimale vertikale Radlasten</b>	Aus Eigengewicht $Q_c$	$Q_{r,min,c,i} = 47,85kN$
	Aus Hublast $Q_h$	—
<b>Minimale vertikale Radlasten</b>	Aus Eigengewicht $Q_c$	$Q_{r,(max),c,i} = 57,25kN$
	Aus Hublast $Q_h$	—

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Ermittlung der Schwingbeiwerte

##### $\varphi_1$ (Eigengewicht)

$$0,9 \leq \varphi_1 \leq 1,1 \Rightarrow \varphi_1 = 1,1 \text{ (ungünstigster Fall)}$$

##### $\varphi_{2A}$ (Hublast)

$$\varphi_{2A} = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h$$

$$= 1,20 + 0,68 \cdot \frac{5 \text{ m/min}}{60 \text{ sec/min}} = 1,26$$

Werte für  $\beta_1$  und  $\varphi_{2,min}$  Tabelle 2.5 nach DIN EN 1991-3

Hubklasse	$\beta_2$	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

ANMERKUNG: Die Krane werden zur Berücksichtigung der dynamischen Wirkungen beim Aufheben der Last vom Boden in die Hubklassen HC1 bis HC4 eingestuft. Die Auswahl der Hubklasse hängt vom jeweiligen Krantyp ab, siehe Anhang B.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

Ermittlung der charakteristischen, vertikalen Radlasten

(Eigengewicht + Hublast)

$$F_{\varphi,k,max,1} = F_{\varphi,k,max,2} = \varphi_1 \cdot Q_{r,max,c,1} + \varphi_{2A} \cdot Q_{r,max,h,1} \\ = 1,1 \cdot 57,25kN + 1,26 \cdot 141,8kN = \mathbf{241,6kN}$$

$$F_{\varphi,k,(max),1} = F_{\varphi,k,(max),2} = \varphi_1 \cdot Q_{r,(max),c,1} + \varphi_{2A} \cdot Q_{r,(max),h,1} \\ = 1,1 \cdot 49,25kN + 1,26 \cdot 8,7kN = \mathbf{65,1kN}$$

		Symbol	Abschnitt	
				1
1	Eigengewicht des Krans	$Q_s$	2.6	$\varphi_1$
2	Hublast	$Q_h$	2.6	$\varphi_2$
3	Beschleunigung der Kranbrücke	$H_L, H_T$	2.7	$\varphi_5$
4	Schräglauflast der Kranbrücke	$H_S$	2.7	-
5	Beschleunigen oder Bremsen der Laufkatze oder Hubwerk	$H_{T3}$	2.7	-
6	Wind in Betrieb	$F_w^*$	Anhang A	1
7	Prüflast	$Q_T$	2.10	-
8	Pufferkraft	$H_B$	2.11	-
9	Kippkraft	$H_{TA}$	2.11	-



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Ermittlung der charakteristischen Massekräfte in Schienenlängsrichtung ( $L$ ):

#### (Beschleunigen, Bremsen)

$$K = K_1 + K_2 = \mu \cdot (Q_{r,min,1} + Q_{r,min,2}) = 0,2 \cdot (47,85kN + 47,85kN) = 19,1kN$$

$$H_{L,1} = H_{L,2} = K \cdot \frac{1}{n_r} = 19,1kN \cdot \frac{1}{2} = 9,55kN$$

#### $\varphi_5$ (Antrieb Hubwerk)

$$\varphi_5 = 1,5$$

$$H_{L,\varphi,i} = \varphi_5 \cdot H_{L,i} = 1,5 \cdot 9,55kN = 14,3kN$$

Dynamischer Faktor  $\beta_5$  nach DIN EN 1991-3

Zahlenwerte für für den Faktor $\varphi_5$	Anzuwenden auf
$\varphi_5 = 1,0$	Fliehkräfte
$1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$	Systeme mit stetiger Veränderung der Kräfte
$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0$	wenn plötzliche Veränderungen der Kräfte auftreten
$\varphi_5 = 3,0$	bei Antrieben mit beträchtlichem Spiel

**Minimale vertikale  
Radlasten**

Aus Eigengewicht  $Q_c$

$$Q_{r,min,c,i} = 47,85kN$$

Aus Hublast  $Q_h$

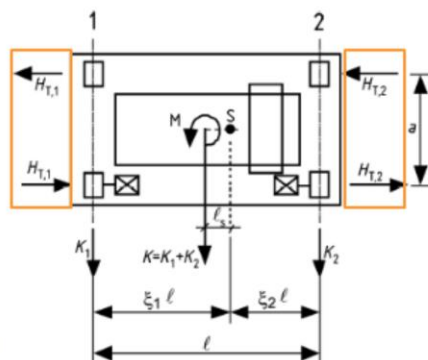
—

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Ermittlung der char. Massekräfte in Schienenguerrichtung (T):

#### (Beschleunigen, Bremsen)



$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{241,6 \cdot 2}{241,6 \cdot 2 + 65,1 \cdot 2} = \frac{483,2}{613,4} = 0,79$$

$$M = K \cdot (\xi_1 - 0,5) \cdot l = 19,1kN \cdot (0,79 - 0,5) \cdot 22m = 121,9kNm$$

$$H_{T,1} = (1 - \xi_1) \cdot \frac{M}{a} = (1 - 0,79) \cdot \frac{121,9kNm}{3,6m} = 7,11kN \quad H_{T,\varphi,1} = \varphi_5 \cdot H_{T,1} = 1,5 \cdot 7,11 = 10,7kN$$

$$H_{T,2} = \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 0,79 \cdot \frac{121,9kNm}{3,6m} = 26,75kN \quad H_{T,\varphi,2} = \varphi_5 \cdot H_{T,2} = 1,5 \cdot 26,75 = 40,1kN$$

**Maximale vertikale  
Radlasten**

Aus Eigengewicht  $Q_c$  und  
Hublast  $Q_h$

$$F_{\varphi,k,max,i} = 241,6kN$$

$$F_{\varphi,k,(max),i} = 65,1kN$$

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Beispiel: Lastgruppe 1 (ohne Wind)

Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

Zusammenfassung der Lasten

	Last- gruppe	Vertikale Lasten	Horizontale orthogonal- wirkende Lasten	Horizontale parallel- wirkende Lasten	Teilsicherheits- beiwert nach DIN EN 1991-3
GZT	1 (ständig)	$F_1 = 241,6kN$	$H_r = 10,7kN$	$H_l = 14,3kN$	$\gamma_Q = 1,35$
		$F_2 = 241,6kN$	$H_r = 40,1kN$		

1. „Überfahrt“ mit den so ermittelten Lasten (Stabwerksprogramm)
2. Schnittgrößenverläufe (M, N, V)
3. Nachweis der einzelnen Komponenten im ULS / SLS nach  
DIN EN 1993-6 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Kranbahnen

### Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-6 (Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen)

1. Ein Ermüdungsnachweis sollte nach **EN 1993-1-9** für alle ermüdungskritischen Stellen geführt werden.
2. Bei Kranbahnen ist kein Ermüdungsnachweis erforderlich, sofern die Anzahl der Lastwechsel mit mehr als 50 % der vollen Nutzlast  $C_0$  nicht übersteigt (Wert für  $C_0$  im NA festgelegt).
3. Ein Ermüdungsnachweis ist grundsätzlich nur für diejenigen Bauteile der Kranbahn erforderlich, die Spannungsänderungen infolge vertikaler Radlasten ausgesetzt sind.
4. Spannungsspektren:
  - a) Liegen zum Zeitpunkt der Bemessung vollständige Informationen über den Kranbetrieb vor, sollte der Spannungs-Zeit-Verlauf aus dem Kranbetrieb für jedes Konstruktionsdetail nach **EN 1993-1-9, Anhang A** bestimmt werden.
  - b) Liegen zum Zeitpunkt der Bemessung keine vollständigen Informationen über den Kranbetrieb vor oder ist die Anwendung eines vereinfachten Verfahren erforderlich, dann dürfen die Ermüdungslasten infolge Kranbetrieb **EN 1991-3, 2.12.1(4)** entnommen werden.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### 5. Ermüdungslasten nach DIN EN 1991-3:

Wenn genügend Informationen über die Arbeitsweise des Krans verfügbar sind, können die Ermüdungslasten nach DIN EN 13001 und **DIN EN 1993-1-9, Anhang A** bestimmt werden. Wenn diese Informationen nicht verfügbar sind oder ein einfacher Ansatz bevorzugt wird, gelten die Regelungen aus **DIN EN 1991-3**.

Unter normalen Betriebsbedingungen des Krans dürfen die Ermüdungslasten mittels schadensäquivalenter Ermüdungslasten  $Q_e$  bestimmt werden.

→ Nachweis mittels schadensäquivalenter Spannungsschwingbreite / Ermüdungslast

Diese dürfen zur Bestimmung von Ermüdungseinwirkungen als konstant für alle Kranpositionen angenommen werden.

Die schadensäquivalente Ermüdungslast  $Q_e$  darf derart bestimmt werden, dass sie die Einflüsse der aus spezifizierten Betriebsbedingungen entstehenden Spannungs-Zeit-Verläufe und des Verhältnisses der Anzahl der Lastspiele während der erwartenden Nutzungsdauer des Tragwerks zum Bezugswert von  $N = 2,0 \cdot 10^6$  Lastspielen beinhaltet.

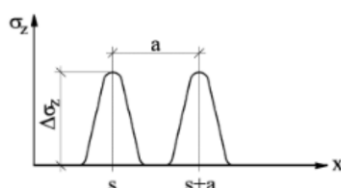


## Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-6 (Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen)

- Bei Anwendung der in EN 1991-3, 2.12.1(4) angegebenen vereinfachten Ermüdungslasten kann für die Bemessung das nachfolgende Verfahren zur Ermittlung der Spannungsschwingbreiten angewendet werden.
- Die schädigungsäquivalenten Spannungsschwingbreiten bezogen auf  $2 \cdot 10^6$  Lastwechsel  $\Delta\sigma_{E,2}$  und  $\Delta\tau_{E,2}$  können wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta\sigma_{E,2} = |\Delta\sigma_{p,max} - \Delta\sigma_{p,min}| \quad \Delta\tau_{E,2} = |\Delta\tau_{p,max} - \Delta\tau_{p,min}|$$

- Ist die Anzahl der Spannungswechsel größer als die Anzahl der Kranspiele, kann dies durch Erhöhung der Beanspruchungsgruppe berücksichtigt werden.





## Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-6 (Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 6: Kranbahnen)

9. Folgende Nachweise sind nach DIN EN 1993-1-9 zu führen:

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

$$\left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,x}}{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,z}}{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0$$

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Ermittlung der schadensäquivalenten Ermüdungslast:

$$Q_e = \varphi_{fat} \cdot \lambda_i \cdot Q_{max,i} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_i \cdot Q_c + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_i \cdot Q_h$$

mit

$Q_{max,i}$  Maximalwert der charakteristischen vertikalen Radlast i

$Q_c$  Maximalwert der charakteristischen vertikalen Radlast i aus Eigengewicht

$Q_h$  Maximalwert der charakteristischen vertikalen Radlast i aus Hublast

$\lambda_i$  schadensäquivalenter Beiwert zur Berücksichtigung des entsprechenden genormten Ermüdungslastspektrums und der absoluten Anzahl der Lastspiele im Verhältnis zu  $N = 2 \cdot 10^6$  Lastspielen

$\varphi_{fat,1}$  schadensäquivalente dynamische Faktor für vertikale Last „Eigengewicht“

$\varphi_{fat,2}$  schadensäquivalente dynamische Faktor für vertikale Last „Hublast“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Ermittlung der schadensäquivalenten Ermüdungslast, schadensäquivalente Beiwerte:

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} \qquad \varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2}$$

mit

$\varphi_1$       dynamischer Faktor für vertikale Last „Eigengewicht“

$\varphi_2$       dynamischer Faktor für vertikale Last „Hublast“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Ermittlung der schadensäquivalenten Ermüdungslast, schadensäquivalenter Beiwert:

$$\lambda_i = \lambda_{1,i} \cdot \lambda_{2,i} \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{1,i} = \sqrt[m]{kQ} = \left[ \sum_j \left( \left( \frac{\Delta Q_{i,j}}{\max \Delta Q_i} \right)^m \frac{n_{i,j}}{\sum n_{i,j}} \right) \right]^{1/m} \\ \lambda_{2,i} = \sqrt[m]{nv} = \left[ \frac{\sum_j n_{i,j}}{N} \right]^{1/m} \end{array} \right.$$

Tabelle 2.12 —  $\lambda_1$ -Werte entsprechend der Kranklassifizierung

Klassen S	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>
Normalspannung	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
Schubspannung	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

ANMERKUNG 1 Bei der Bestimmung der  $\lambda_1$ -Werte sind genormte Spektren mit einer Gaußverteilung der Lasteinwirkungen, die Miner-Regel und Ermüdungsfestigkeitskurven S-N mit einer Neigung von  $m = 3$  für Normalspannungen und  $m = 5$  für Schubspannungen verwendet worden.

ANMERKUNG 2 Falls die Kranklassifizierung nicht in den Betriebsanforderungen des Betreibers der Krananlage enthalten ist, sind Hinweise zur Kranklassifizierung im Anhang B angegeben.

$\lambda$ -Werte dürfen der Tabelle 2.12 (DIN EN 1991-3) entsprechend der Kranklassifizierung (Beanspruchungsgruppe S) entnommen werden

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

## Ermittlung der schadensäquivalenten Ermüdungslast, Beanspruchungsgruppe S:

Tabelle 2.11 — Klassifizierung der Ermüdungseinwirkungen von Kranen nach EN 13001-1

Klasse des Lastkollektivs		$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$
$kQ \leq 0,0313$		$0,0313$	$0,0625$	$0,125$	$0,25$	$0,5$	$1,0$
$0,0313 < kQ \leq 0,0625$		$0,0625$	$0,125$	$0,25$	$0,5$	$1,0$	$1,0$
Klasse der Gesamtzahl von Arbeitsspielen							
$U_0$	$C \leq 1,6 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_0$
$U_1$	$1,6 \times 10^4 < C \leq 3,15 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_1$
$U_2$	$3,15 \times 10^4 < C \leq 6,30 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_1$	$S_2$
$U_3$	$6,30 \times 10^4 < C \leq 1,25 \times 10^5$	$S_0$	$S_0$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$U_4$	$1,25 \times 10^5 < C \leq 2,50 \times 10^5$	$S_0$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$U_5$	$2,50 \times 10^5 < C \leq 5,00 \times 10^5$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
$U_6$	$5,00 \times 10^5 < C \leq 1,00 \times 10^6$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$
$U_7$	$1,00 \times 10^6 < C \leq 2,00 \times 10^6$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
$U_8$	$2,00 \times 10^6 < C \leq 4,00 \times 10^6$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$
$U_9$	$4,00 \times 10^6 < C \leq 8,00 \times 10^6$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$

Dabei ist  
 $kQ$  ein Lastkollektivbeiwert für alle Arbeitsvorgänge des Krans;  
 $C$  die Gesamtzahl von Arbeitsspielen während der Nutzungsdauer des Krans.

ANMERKUNG Die Klassen  $S_i$  werden in EN 13001-1 durch den Lasteinwirkungs-Verlaufparameter  $s$  bestimmt. Dieser ist definiert als:  
 $s = \nu \cdot k$  mit:  
 $k$  der Spannungsspektralfaktor;  
 $\nu$  die Anzahl der Lastspiele  $C$  bezogen auf  $2,0 \times 10^6$  Lastspiele.  
 Die Klassifizierung basiert auf einer Gesamtnutzungsdauer von 25 Jahren.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Ermittlung der schadensäquivalenten Ermüdungslast, Beanspruchungsgruppe S:

Klasse des Lastkollektivs		$Q_0$	$Q_1$
		$kQ \leq 0,0313$	$0,0313 < kQ \leq 0,0625$
Klasse der Gesamtzahl von Arbeitsspielen			
$U_0$	$C \leq 1,6 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$
$U_1$	$1,6 \times 10^4 < C \leq 3,15 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$
$U_2$	$3,15 \times 10^4 < C \leq 6,30 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$
$U_3$	$6,30 \times 10^4 < C \leq 1,25 \times 10^5$	$S_0$	$S_0$
$U_4$	$1,25 \times 10^5 < C \leq 2,50 \times 10^5$	$S_0$	$S_0$
$U_5$	$2,50 \times 10^5 < C \leq 5,00 \times 10^5$	$S_0$	$S_1$
$U_6$	$5,00 \times 10^5 < C \leq 1,00 \times 10^6$	$S_1$	$S_2$
$U_7$	$1,00 \times 10^6 < C \leq 2,00 \times 10^6$	$S_2$	$S_3$
$U_8$	$2,00 \times 10^6 < C \leq 4,00 \times 10^6$	$S_3$	$S_4$
$U_9$	$4,00 \times 10^6 < C \leq 8,00 \times 10^6$	$S_4$	$S_5$

Klassen S	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
Normalspannung	0,198	0,250	0,315	0,397
Schubspannung	0,379	0,436	0,500	0,575

Verdoppelung der  
SchwingspieleErhöhung der  
Beanspruchungs-  
gruppeErhöhung des  
schadensäquivalenten  
Beiwertes



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Ermittlung der schadensäquivalenten Ermüdungslast, schadensäquivalenter Beiwert:

$$\Delta\sigma_{E,2} = \left( \frac{\sum_j (n_j \cdot \Delta\sigma_j^3) + \Delta\sigma_D^{-2} \cdot (\sum_k (n_k \cdot \Delta\sigma_k^5))}{N_C} \right)^{\frac{1}{3}} \xrightarrow{\text{konservativ, } m=3} \left( \frac{\sum_j (n_j \cdot \Delta\sigma_j^3)}{N_C} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Für eine konstante Schwingbreite  $\Delta\sigma_j$ :

$$\Delta\sigma_{E,2} = \left( \frac{n \cdot \Delta\sigma^3}{N_C} \right)^{\frac{1}{3}} = \Delta\sigma \cdot \left( \frac{n}{2 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = \Delta\sigma \cdot \lambda_\sigma \quad \text{mit} \quad \lambda_\sigma = \left( \frac{n}{2 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\Delta\tau_{E,2} = \left( \frac{n \cdot \Delta\tau^3}{N_C} \right)^{\frac{1}{5}} = \Delta\tau \cdot \left( \frac{n}{2 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{5}} = \Delta\tau \cdot \lambda_\tau \quad \text{mit} \quad \lambda_\tau = \left( \frac{n}{2 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{5}}$$

nach DIN EN 1991-3, Tabelle 2.12:  $\lambda$  - Werte entsprechend der Kranklassifizierung

Klasse S	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>
n	15.625	31.250	62.500	125.000	250.000	500.000	1.000.000	<b>2.000.000</b>	4.000.000	8.000.000
Normalspannungen	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	<b>1,000</b>	1,260	1,587
Schubspannungen	0,379	0,435	0,500	0,574	0,660	0,758	0,871	<b>1,000</b>	1,149	1,320

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Ermittlung der schadensäquivalenten

Ermüdungslast, Beanspruchungsgruppe S:

Tabelle 2.11 — Klassifizierung der Ermüdungseinwirkung nach EN 13001-1

Klasse des Lastkollektivs		$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$
	$kQ \leq 0,0313$	$0,0313$	$0,0625$	$0,125$
	$0,0313 < kQ \leq 0,0625$	$0,0625$	$0,125$	$0,25$
Klasse der Gesamtzahl von Arbeitsspielen				
$U_0$	$C \leq 1,6 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$	$S_0$
$U_1$	$1,6 \times 10^4 < C \leq 3,15 \times 10^4$	$S_0$	$S_0$	$S_0$

Lastkollektivbeiwert  $kQ$  (nach DIN EN 15011):

(Darstellung der kombinierten Ermüdungsauswirkungen verschiedener Nettolasten, die mit unterschiedlich vielen Arbeitsspielen bewältigt wurden)

$$kQ = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{\sum c_i} \cdot \left( \frac{Q_i}{Q} \right)^3$$

$c_i$  Anzahl der Arbeitsspiele in einem Arbeitsgang, in dem eine Nettolast  $i$  der Größe  $Q_i$  gehandhabt wird

$Q_i$  die Größe einer Nettolast  $i$ , die während eines Arbeitsgangs konstant bleibt

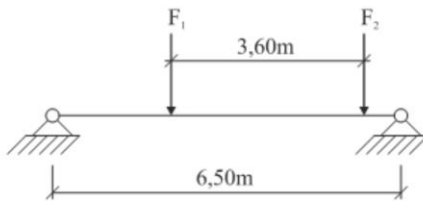
$n$  die Anzahl der Arbeitsvorgänge, bei denen in jedem Arbeitsgang eine konstante Nettolast in Höhe von  $Q_i$  gehandhabt wird

$Q$  die maximale Nettolast des Krans

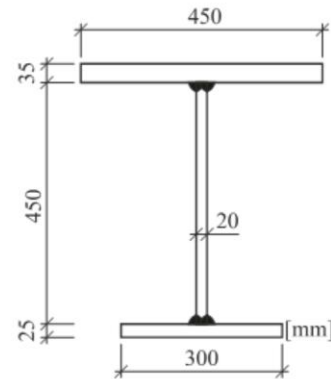
## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

gesucht: Ermüdungsnachweis für den Übergang Oberflansch-Steg in Feldmitte



- Schweißnaht mittels Schweißautomaten beidseitig durchgeschweißt erzeugt
- keine Schweißansatzstellen
- Beanspruchungsklasse S 4
- 5 Quersteifen, Abstand der Quersteifen im Steg:  
*162,5cm*



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

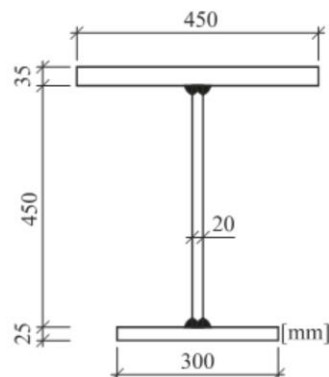
Vorgehen: Nachweis mittels schadensäquivalenter Spannungsschwingbreite aus globalen Spannungen (keine Radlasteinleitung)

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_{Ff} = 1,0$$

$$\gamma_{Mf} = ?$$



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### NDP zu 9.2(2)P Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{Mf}$ für Ermüdungsfestigkeit

Als Standardfall für Kranbahnen ist von einem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{Mf} = 1,15$  verbunden mit 3 Inspektionsintervallen auszugehen. Davon abweichende Teilsicherheitsbeiwerte sind an die Mindestanzahl der Inspektionsintervalle gemäß Tabelle NA.3 geknüpft.

Tabelle NA.3 — Erforderliche Anzahl der Inspektionsintervalle

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mf}$	Anzahl der Inspektionsintervalle
1,00	4
1,15	3
1,35	2
1,60	1

DIN EN 1993-6 NA

Teilsicherheitsbeiwerte:

$$\gamma_{Mf} = 1,15$$

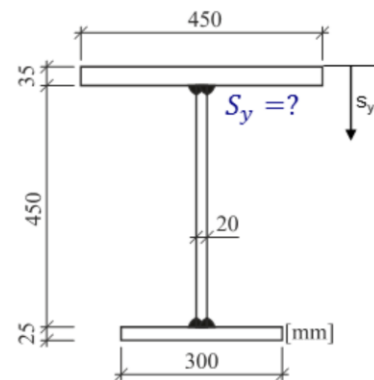
## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Querschnittswerte

$$S_y = \frac{450 \cdot 35 \cdot \frac{35}{2} + 20 \cdot 450 \cdot \left(35 + \frac{450}{2}\right) + 300 \cdot 25 \cdot \left(35 + 450 + \frac{25}{2}\right)}{450 \cdot 35 + 20 \cdot 450 + 300 \cdot 25}$$
$$= 196,8[mm]$$

$$S_y = 35[mm] \cdot \left(196,8[mm] - \frac{35[mm]}{2}\right) \cdot 450[mm]$$
$$= 2.823.976[mm^3] = 2.823,98[cm^3]$$



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

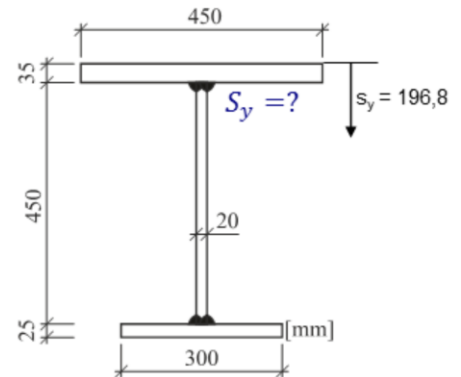


## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Querschnittswerte

$$\begin{aligned} I_{yy} &= \frac{450 \cdot 35^3}{12} + 450 \cdot 35 \cdot \left(196,8 - \frac{35}{2}\right)^2 \\ &+ \frac{20 \cdot 450^3}{12} + 20 \cdot 450 \cdot \left(\frac{450}{2} + 35 - 196,8\right)^2 \\ &+ \frac{300 \cdot 25^3}{12} + 300 \cdot 25 \cdot \left(510 - \frac{25}{2} - 196,8\right)^2 \\ &= 137.431,4 [cm^4] \end{aligned}$$



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

Ermittlung der Schwingbeiwerte:

zuvor ermittelt:

$$\varphi_1 = 1,1 \quad (\text{für Eigengewichtslasten})$$

$$\varphi_{2A} = 1,26 \quad (\text{für Hublasten})$$

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05 \quad (\text{für Eigengewichtslasten})$$






$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} + \frac{1 + 1,26}{2} = 1,13 \quad (\text{für Hublasten})$$

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

## Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran


Kerbdetails:

$$\Delta\sigma_{c,x} = 12,5 \frac{kN}{cm^2}$$

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
125		<u>Durchgehende Längsnähte:</u> 1)  Mit Automaten oder voll mechanisiert  beidseitig durchgeschweißte Nähte. 2)  Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte  Kehlnähte. Die Enden von aufgeschweißten Gurtplatten sind gem. Kerbfall 6) oder 7) in Tabelle 8.5 nachzuweisen.	Kerbfälle 1) und 2). Es dürfen keine Schweißansatzstellen vorhanden sein, ausgenommen bei Durchführung einer Reparatur mit anschließender Überprüfung der Reparaturschweißung.



DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.1: geschweißte Querschnitte

$$\Delta\tau_c = 8,0 \frac{kN}{cm^2}$$

80 10/5		8) Durchgehende Kehlnähte, die einen Schubfluss übertragen, wie z. B. Halskehlnähte zwischen Stegblech und Flansch bei geschweißten Blechträgern. 9) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.	8) $\Delta\sigma$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen zu berechnen. 9) $\Delta\sigma$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen unter Berücksichtigung der Gesamtlänge der Schweißnaht zu berechnen. Schweißnahtenden müssen $\geq 10$ mm vom Blechende entfernt sein.
------------	---	---	---

DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.5: geschweißte Stöße

$$\Delta\sigma_{c,z} = 7,1 \frac{kN}{cm^2}$$

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
160		1) Gewalzte I- oder H-Querschnitte.	1) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{c,ser}$ im Steg infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlastenleitung.
71		2) Voll durchgeschweißter T-Stumpfstoß.	2) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{c,ser}$ im Steg infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlastenleitung.

DIN EN 1993-1-9, Tabelle 8.10: Obergurt-Stegblech Anschlüsse von Kranbahnträgern

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Ermittlung der schadensäquivalenten Beiwerte:

Beanspruchungsklasse S4 (bzw. für die nächst-höhere Klasse S5)

$$\lambda_{i,\sigma,S4} = 0,5 \quad \lambda_{i,\sigma,S5} = 0,63 \quad (\text{für Normalspannungen})$$

$$\lambda_{i,\tau,S4} = 0,66 \quad \lambda_{i,\tau,S5} = 0,758 \quad (\text{für Schubspannungen})$$

Tabelle 2.12 —  $\lambda_i$ -Werte entsprechend der Kranklassifizierung

Klassen S	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>
Normalspannung	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
Schubspannung	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

ANMERKUNG 1 Bei der Bestimmung der  $\lambda$ -Werte sind genormte Spektren mit einer Gaußverteilung der Lasteinwirkungen, die Miner-Regel und Ermüdungsfestigkeitskurven S-N mit einer Neigung von  $m = 3$  für Normalspannungen und  $m = 5$  für Schubspannungen verwendet worden.

ANMERKUNG 2 Falls die Kranklassifizierung nicht in den Betriebsanforderungen des Betreibers der Krananlage enthalten ist, sind Hinweise zur Kranklassifizierung im Anhang B angegeben.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Ermittlung der Radlast:

zuvor ermittelte maximale Radlast des beladenen Krans pro Rad:

$$Q_{r,max} = \varphi_i \cdot 57,25kN + \varphi_j \cdot 141,8kN$$

$$Q_e = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_i \cdot Q_c + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_i \cdot Q_h$$

$$Q_e = 1,05 \cdot 57,25kN \cdot \lambda_i + 1,13 \cdot 141,8kN \cdot \lambda_i = \mathbf{220,34kN} \cdot \lambda_i = F \cdot \lambda_i$$

$$\lambda_{i,\sigma} = 0,5 \quad (\text{für Normalspannungen})$$

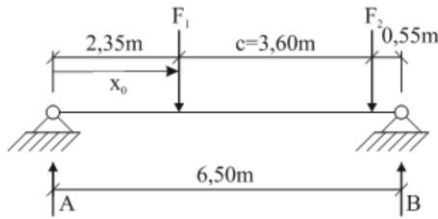
$$\lambda_{i,\tau} = 0,66 \quad (\text{für Schubspannungen})$$

<b>Maximale vertikale Radlasten</b>	Aus Eigengewicht $Q_c$	$Q_{r,max,c,i} = 57,25kN$
	Aus Hublast $Q_h$	$Q_{r,max,h,i} = 141,8kN$

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

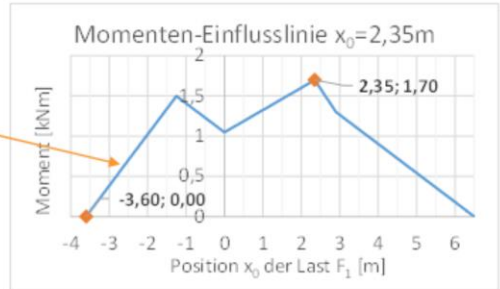
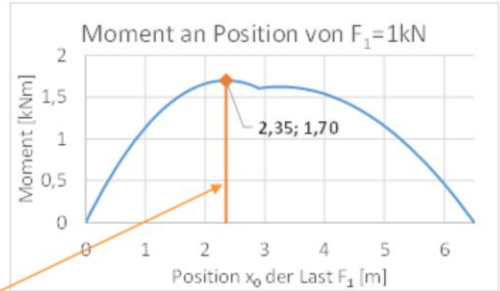
### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Nachweis für globale Längsspannungen, globale Druckspannungen am oberen Stegband



Last F1 muss an  
der Position  
 $x_0=2,35\text{m}$  stehen,  
um das maximale  
Moment (unter  
sich) zu erzeugen

zugehörige M-  
Einflusslinie



$$\sum M_A = A \cdot 6,5\text{m} - F \cdot 0,55\text{m} - F \cdot 4,15\text{m} = 0$$

$$\Rightarrow A = F \cdot 4,7/6,5$$

$$\sum M_B = B \cdot 6,5\text{m} - F \cdot 2,35\text{m} - F \cdot 5,95\text{m} = 0 \Rightarrow B = F \cdot 8,3/6,5$$

$$M_{y,Ed}(x = 2,35\text{m}) = \gamma_{Ff} \cdot A \cdot 2,35\text{m} = 1,0 \cdot 220,34\text{kN} \cdot 4,7/6,5 \cdot 2,35\text{m} = 1,0 \cdot 220,34\text{kN} \cdot 1,70 = 374,41\text{kNm} (= 1,70 \cdot 220,34\text{kN})$$



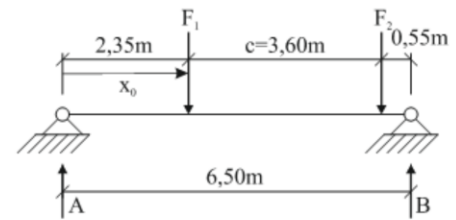
## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

Nachweis für globale Längsspannungen,

globale Druckspannungen am oberen Stegrand

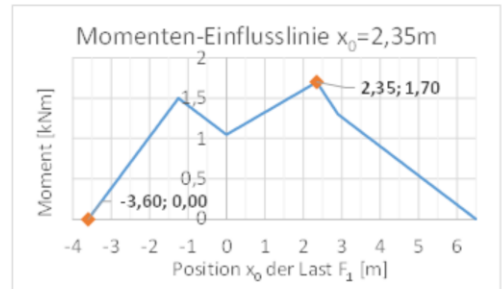
Alternativ: Schneider Bautabellen: zwei Wanderlasten mit vorgegebenem Abstand  $c$



$$M = \frac{x_0^2}{l} \cdot (F_1 + F_2) \quad \text{bei} \quad x_0 = \frac{1}{2} \cdot \left( l - \frac{F_2}{F_1 + F_2} \cdot c \right)$$

$$x_0 = \frac{1}{2} \cdot \left( 6,50\text{m} - \frac{220,34\text{kN}}{220,34\text{kN} + 220,34\text{kN}} \cdot 3,60\text{m} \right) = 2,35\text{m}$$

$$M = \frac{2,35^2\text{m}^2}{6,50\text{m}} \cdot (220,34\text{kN} + 220,34\text{kN}) = 374,41\text{kNm}$$



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

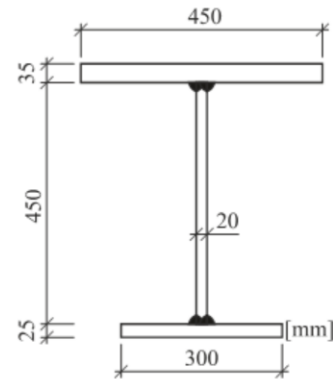
Nachweis für globale Längsspannungen,

globale Druckspannungen am oberen Stegrand

$$\sigma_{x,max,D} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot (e_o - t_{fo})$$

$$= -\frac{37.441 \text{ kNcm}}{137.431,4 \text{ cm}^4} \cdot (19,68 \text{ cm} - 3,5 \text{ cm}) = -4,41 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,min,D} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### globale Druckspannungen am oberen Stegrand

$$\sigma_{x,max,D} = -4,41 \frac{kN}{cm^2} \quad \sigma_{x,min,D} = 0 \frac{kN}{cm^2}$$

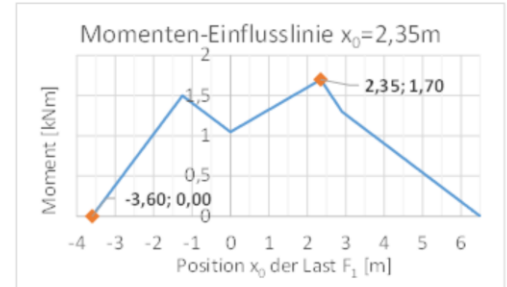
$$\Delta\sigma_{x,D} = |\sigma_{x,max,D} - \sigma_{x,min,D}| = \left| -4,41 \frac{kN}{cm^2} \right| = 4,41 \frac{kN}{cm^2}$$

Achtung: schadensäquivalenter Beiwert nicht in der Einwirkung berücksichtigt!

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,x} = \lambda_{i,\sigma,S4} \cdot \Delta\sigma_{x,D} = 0,5 \cdot 4,41 \frac{kN}{cm^2} = 2,21 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{2,21 \text{ kN/cm}^2}{12,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,15} = 0,2 \leq 1,0 \quad \text{Nachweis erfüllt!}$$

einzelner Nachweis nicht  
notwendig, hier nur zur  
Illustration  
(Interaktionsnachweis)



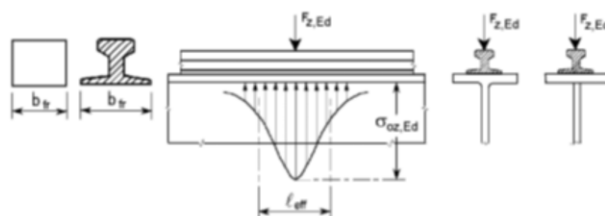
## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

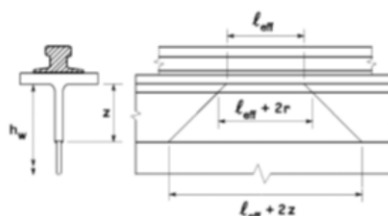
#### lokale Druckspannungen am oberen Stegrand (Stegpressung)

Fall	Beschreibung	Effektive Lastausbreitungslänge $l_{eff}$
(a)	Kranschiene schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [(I_{ef} / I_{st})^{1/4}]$
(b)	Kranschiene nicht schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [(I_{ef} + I_{st}) / I_{st}]^{1/4}$
(c)	Kranschiene auf einer mind. 6mm dicken nachgiebigen Elastomerunterlage	$l_{eff} = 4,25 [(I_{ef} + I_{st}) / I_{st}]^{1/4}$
$I_{st}$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des Flansches mit der effektiven Breite $b_{ef}$	
$I_{ef}$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie der Schiene	
$I_{st}$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des zusammengesetzten Querschnitts einschließlich der Schiene und des Flansches mit der effektiven Breite $b_{ef}$	
$t_w$	Stegdicke	
$b_{ef} = b_{st} + b_y + t_f$ aber $b_{ef} \leq b$		
Dabei ist		
$b$	die Gesamtbreite des Obergurtes;	
$b_{st}$	die Breite des Schienenfußes, siehe Bild 5.2;	
$b_y$	die Schienenhöhe, siehe Bild 5.1;	
$t_f$	die Flanschdicke.	
ANMERKUNG Der Verschleiß der Kranschinen wird bei der Bestimmung von $I_{ef}$ , $I_{st}$ und $b_{ef}$ berücksichtigt, siehe 5.6.2(2) und 5.6.2(3).		

DIN EN 1993-6, Tabelle 5.1: Effektive Lastausbreitungslänge  $l_{eff}$



DIN EN 1993-6, Bild 5.2: Effektive Lastausbreitungslänge  $l_{eff}$



DIN EN 1993-6, Bild 5.3: Ausbreitung der effektiven Lastausbreitungslänge  $l_{eff}$  unter 45°

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

## Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

## lokale Druckspannungen am oberen Stegrand

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} \cdot t_w}$$

$$l_{eff} = 4,25 \cdot [(I_r + I_{f,eff})/t_w]^{1/3}$$

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_r \leq b$$

$$b_{eff} = 20\text{cm} + 7,7\text{cm} + 3,5\text{cm} = 31,2\text{cm} \leq 45\text{cm}$$

$$I_{f,eff} = \frac{b_{eff} \cdot t_{fo}^3}{12} = \frac{31,2\text{cm} \cdot 3,5^3\text{cm}^3}{12} = 111,47\text{cm}^4$$

$$l_{eff} = 4,25 \cdot [(401\text{cm}^4 + 111,47\text{cm}^4)/2,0\text{cm}]^{1/3} = 25,11\text{cm}$$

Fall	Beschreibung	Effektive Lastausbreitungslänge $l_{eff}$
(a)	Kranschiene schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [I_{ef} / t_w]^{1/3}$
(b)	Kranschiene nicht schubstarr am Flansch befestigt	$l_{eff} = 3,25 [(I_r + I_{eff}) / t_w]^{1/3}$
(c)	Kranschiene auf einer mind. 6mm dicken nachgiebigen Elastomerunterlage	$l_{eff} = 4,25 [(I_r + I_{eff}) / t_w]^{1/3}$
$I_{eff}$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des Flansches mit der effektiven Breite $b_{eff}$	
$I_r$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie der Schiene	
$I_{ef}$	Flächenmoment zweiten Grades um die horizontale Schwerlinie des zusammengesetzten Querschnitts einschließlich der Schiene und des Flansches mit der effektiven Breite $b_{eff}$	
$t_w$	Stegdicke	
$b_{eff} = b_f + h_r + t_r$ aber $b_{eff} \leq b$		
Dabei ist		
$b$	die Gesamtbreite des Obergurtes;	
$b_f$	die Breite des Schienenfußes, siehe Bild 5.2;	
$h_r$	die Schienenhöhe, siehe Bild 5.1;	
$t_r$	die Flanschdicke.	
ANMERKUNG Der Verschleiß der Kranschinen wird bei der Bestimmung von $I_r$ , $I_{ef}$ und $b_{eff}$ berücksichtigt, siehe 5.6.2(2) und 5.6.2(3).		

DIN EN 1993-6, Tabelle 5.1: Effektive Lastausbreitungslänge  $l_{eff}$ 

Schienenkopfbreite	$b_r$	= 75 mm
Schienenkopfhöhe	$t_r$	= 35 mm
Schienenhöhe	$h_r$	= 85 mm
	$h_r^*$	= 77 mm (25% Abnutzung)
Schienenfußbreite	$b_{fr}$	= 200 mm
Flächenträgheitsmoment	$I_r$	= 401 cm <sup>4</sup>

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

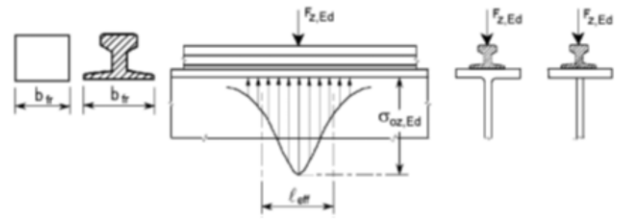
### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### lokale Druckspannungen am oberen Stegrand (Stegpressung)

$$F_{z,Ed} = 220,34 \text{ kN}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = -\frac{220,34 \text{ kN}}{25,11 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm}} = -4,39 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \sigma_{oz,Ed,max}$$

$$\sigma_{oz,Ed,min} = 0$$



DIN EN 1993-6, Bild 5.2: Effektive Lastausbreitungslänge  $l_{eff}$



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### lokale Biegespannungen im Steg infolge exzentrischer Radlasten (Ermüdung: ab S4)

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta)$$

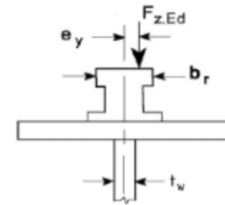
$$T_{Ed} = F_{z,Ed} \cdot e_y \quad e_y = 0,25 \cdot b_r \geq 0,5 \cdot t_w$$

$$\eta = \left[ \frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_t} \cdot \frac{\sinh^2(\pi \cdot h_w / a)}{\sinh(2\pi \cdot h_w / a) - 2\pi \cdot h_w / a} \right]^{0,5}$$

$a$  Abstand der Quersteifen im Steg

$h_w$  Gesamthöhe des Steges (lichter Abstand zwischen den Flanschen)

$I_t$  Torsionsträgheitsmoment des Flansches (einschließlich der Schiene, falls sie schubstarr befestigt ist)



DIN EN 1993-6 Exzentrizität der Radlast

Bei Nachweisen der Grenzzustände der Tragfähigkeit muss  $\dot{\sigma}_{T,Ed}$  nicht berücksichtigt werden. Bei Ermüdungsnachweisen sollten, für Beanspruchungsklassen ab S 4, die Biegespannungen angesetzt werden.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

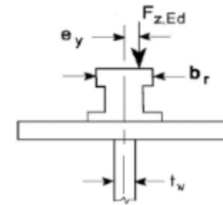
### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### lokale Biegespannungen im Steg infolge exzentrischer Radlasten (Ermüdung: ab S3)

$$e_y = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 7,5 = 1,88 \text{ cm} \geq 0,5 \cdot t_w = 1,0 \text{ cm}$$

$$T_{Ed} = F_{z,Ed} \cdot e_y = 220,34 \text{ kN} \cdot 1,88 \text{ cm} = 414,24 \text{ kNcm}$$

$$I_t = \frac{b_{fo} \cdot h_{fo}^3}{3} = \frac{45 \text{ cm} \cdot 3,5^3 \text{ cm}^3}{3} = 643,125 \text{ cm}^4$$



DIN EN 1993-6, Bild 5.5:  
Torsion des Obergurtes / Exzentrizität der Radlast

Schienenkopfbreite  $b_r = 75 \text{ mm}$

$$\eta = \left[ \frac{0,75 \cdot 162,5 \cdot 2,0^3}{643,125} \cdot \frac{\sinh^2(\pi \cdot 45/162,5)}{\sinh(2\pi \cdot 45/162,5) - 2\pi \cdot 45/162,5} \right]^{0,5} = 1,2$$

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot 414,24 \text{ kNcm}}{162,5 \text{ cm} \cdot 2,0^2 \text{ cm}^2} \cdot 1,2 \cdot \tanh(1,2) = \pm 3,83 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \sigma_{T,Ed,max} \quad \sigma_{T,Ed,min} = 0$$

Bei Nachweisen der Grenzzustände der Tragfähigkeit muss  $\dot{\Gamma}_{T,Ed}$  nicht berücksichtigt werden. Bei Ermüdungsnachweisen sollten, für Beanspruchungsklassen ab S3, die Biegespannungen angesetzt werden.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

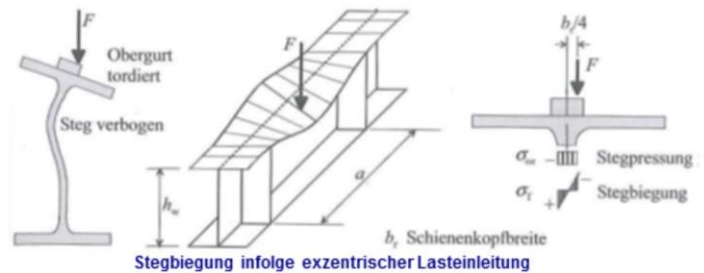
#### lokale Biegespannungen im Steg infolge exzentrischer Radlasten (Ermüdung: ab S4)

$$\sigma_{T,Ed,max} = \pm 3,83 \frac{kN}{cm^2} \quad \sigma_{T,Ed,min} = 0 \quad \text{Stegbiegung}$$

$$\sigma_{oz,Ed,max} = -4,39 \frac{kN}{cm^2} \quad \sigma_{oz,Ed,min} = 0 \quad \text{Stegpressung}$$

$$\Delta\sigma_{oz,Ed,ges} = 4,39 \frac{kN}{cm^2} + 3,83 \frac{kN}{cm^2} = 8,22 \frac{kN}{cm^2}$$

Achtung: schadensäquivalenter Beiwert nicht in der Einwirkung berücksichtigt!



Seeßelberg, Christoph: „Kranbahnen – Bemessung und konstruktive Gestaltung nach Eurocode“, 4., vollständig überarbeitete Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014

Bei Nachweisen der Grenzzustände der Tragfähigkeit muss  $\dot{\sigma}_{T,Ed}$  nicht berücksichtigt werden. Bei Ermüdungsnachweisen sollten, für Beanspruchungsklassen ab S 4, die Biegespannungen angesetzt werden.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### lokale Druckspannungen am oberen Stegrand (Radlastpressung + Stegbiegung)

$$\Delta\sigma_{oz,Ed,ges} = 8,22 \frac{kN}{cm^2}$$

Achtung: schadensäquivalenter Beiwert nicht in der Einwirkung berücksichtigt!

Da die lokalen Spannungen durch die Radlast direkt hervorgehen, treten bei einer Kranüberfahrt an einem betrachteten Punkt infolge der beiden Radlasten auch zwei Spannungszyklen auf. Dies kann durch Verwendung eines um eine Klasse erhöhten  $\lambda$ -Wertes berücksichtigt werden.

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,oz,ges} = \lambda_{i,\sigma,S5} \cdot \Delta\sigma_{oz,Ed} = 0,63 \cdot 8,22 \frac{kN}{cm^2} = 5,18 \frac{kN}{cm^2}$$

S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
0,397	0,500	0,630
0,575	0,660	0,758

Werte sind genormte Spektren mit Sicherheitskurven S-N mit einer Neigung von 5.

g nicht in den Betriebsanforderung im Anhang B angegeben.

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### lokale Schubspannungen am oberen Stegrand

Infolge Radlast entsteht die maximal wirkende lokale Schubspannung auf beiden Seiten der Radlast, die maximale vertikale lokale Spannung entsteht im Steg direkt unterhalb der Radlast. Diese maximal wirkende lokale Schubspannung  $\tau_{\text{ozx},Ed}$  darf zu 20 % der im Steg wirkenden maximalen vertikalen lokalen Spannung  $\sigma_{\text{oz},Ed}$  angenommen werden.

$$\sigma_{\text{oz},Ed} = -4,39 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\text{ozx},Ed} = \pm 0,2 \cdot 4,39 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \pm 0,88 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \tau_{\text{ozx},Ed} = |\tau_{\text{ozx},Ed,max} - \tau_{\text{ozx},Ed,min}| = \left| 2 \cdot 0,88 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right| = 1,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Achtung: schadensäquivalenter Beiwert nicht in der Einwirkung berücksichtigt!

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

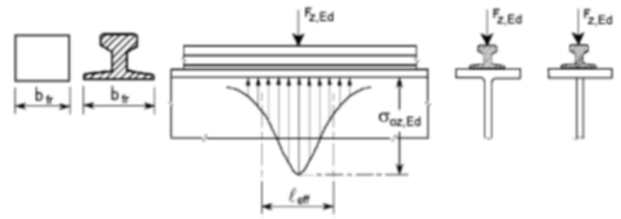
### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### lokale Schubspannungen am oberen Stegtrand

$$\Delta\tau_{ozx,Ed} = 1,76 \frac{kN}{cm^2}$$

Achtung: schadensäquivalenter Beiwert nicht in der Einwirkung berücksichtigt!

Da die lokalen Spannungen durch die Radlast direkt hervorgehen, treten bei einer Kranüberfahrt an einem betrachteten Punkt infolge der beiden Radlasten auch zwei Spannungszyklen auf. Dies kann durch Verwendung eines um eine Klasse erhöhten  $\lambda$ -Wertes berücksichtigt werden.



DIN EN 1993-6, Bild 5.2: Effektive Lastausbreitungslänge  $l_{eff}$

S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
0,397	0,500	0,630
0,575	0,660	0,758

Werte sind genormte Spektren mit Gitterkurven S-N mit einer Neigung von 5.

g nicht in den Betriebsanforderungen im Anhang B angegeben.

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2,ozx} = \lambda_{i,\tau,S5} \cdot \Delta\tau_{ozx,Ed} = 0,758 \cdot 1,76 \frac{kN}{cm^2} = 1,33 \frac{kN}{cm^2}$$



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### globale Schubspannungen am oberen Stegand

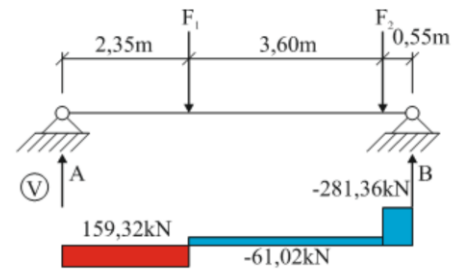
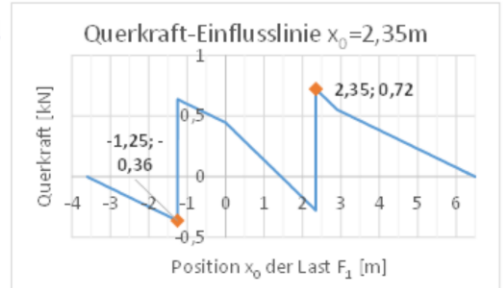
#### Minimale und maximale Querkraft an der Position $x_0=2,35m$

Maximale Querkraft wenn  $F_1$  an Position  $x_0 = 2,35m$

$$A = \frac{F \cdot 0,55m + F \cdot 4,15m}{6,50m} = 220,34kN \cdot \frac{4,7}{6,5} = 159,32kN$$

$$B = 2 \cdot F - A = 2 \cdot 220,34kN - 159,32kN = 281,36kN$$

$$V_{max}(x_0 = 2,35m) = 159,32kN$$



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### globale Schubspannungen am oberen Stegrand

#### Minimale und maximale Querkraft an der Position $x_0=2,35\text{m}$

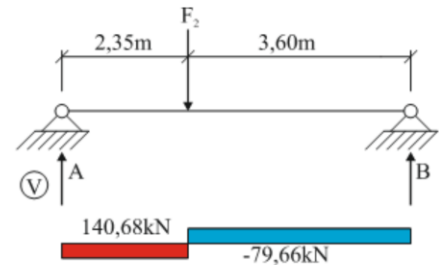
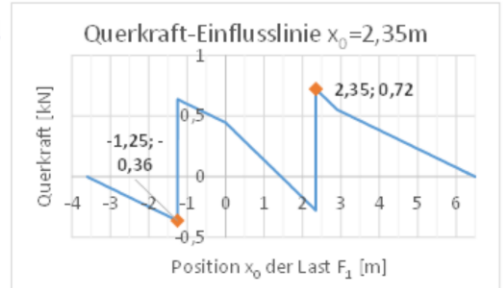
Minimale Querkraft wenn  $F_1$  an Position  $x_0 = -1,25\text{m}$

bzw. wenn  $F_2$  an Position  $x_0 = 2,35\text{m}$

$$A = \frac{F \cdot 4,15\text{m}}{6,50\text{m}} = 220,34\text{kN} \cdot \frac{4,15}{6,5} = 140,68\text{kN}$$

$$B = F - A = 220,34\text{kN} - 140,68\text{kN} = 79,66\text{kN}$$

$$V_{\min}(x_0 = 2,35\text{m}) = -79,66\text{kN}$$



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### globale Schubspannungen am oberen Stegrand

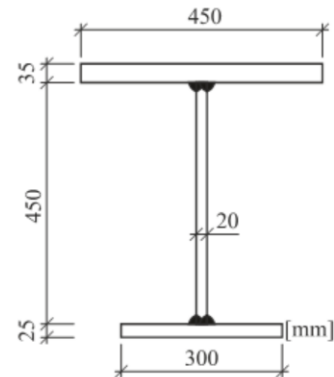
$$\tau_{max,D} = \frac{V_{z,Ed,max} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{159,32kN \cdot 2.823,97cm^3}{137.431,4cm^4 \cdot 2cm}$$

$$= 1,64 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{min,D} = \frac{V_{z,Ed,min} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{-79,66kN \cdot 2.823,97cm^3}{137.431,4cm^4 \cdot 2cm}$$

$$= -0,82 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\Delta\tau_D = |\tau_{max,D} - \tau_{min,D}| = \left| 1,64 \frac{kN}{cm^2} + 0,82 \frac{kN}{cm^2} \right| = 2,46 \frac{kN}{cm^2}$$



Marcus Zaak, Bachelorarbeit „Bemessung einer Kranbahn nach DIN EN 1993-6“

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

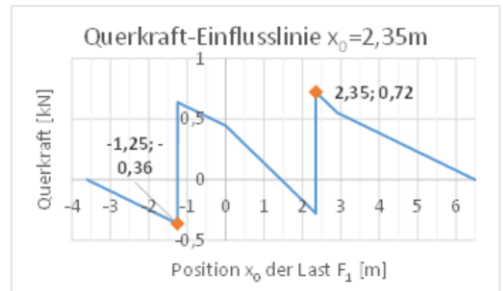
### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### globale Schubspannungen am oberen Stegrand

$$\Delta\tau_D = 2,46 \frac{kN}{cm^2}$$

Achtung: schadensäquivalenter Beiwert nicht in der Einwirkung berücksichtigt!

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2,x} = \lambda_{i,\tau,S4} \cdot \Delta\tau_{x,D} = 0,66 \cdot 2,46 \frac{kN}{cm^2} = 1,62 \frac{kN}{cm^2}$$



## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

### Zusammenstellung der Spannungen

Lokale Spannungen am oberen Stegrand inf. Radlasteinleitung:

$$\Delta\sigma_{oz,Ed,ges} = 8,22 \frac{kN}{cm^2} \quad \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,oz} = \lambda_{i,\sigma,S5} \cdot \Delta\sigma_{oz,Ed} = 0,63 \cdot 8,22 \frac{kN}{cm^2} = 5,18 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\Delta\tau_{ozx,Ed} = 1,76 \frac{kN}{cm^2} \quad \gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2,ozx} = \lambda_{i,\tau,S5} \cdot \Delta\tau_{ozx,Ed} = 0,758 \cdot 1,76 \frac{kN}{cm^2} = 1,33 \frac{kN}{cm^2}$$

Globale Spannungen am oberen Stegrand:

$$\Delta\sigma_{x,D} = 4,41 \frac{kN}{cm^2} \quad \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,x} = \lambda_{i,\sigma,S4} \cdot \Delta\sigma_{x,D} = 0,5 \cdot 4,41 \frac{kN}{cm^2} = 2,21 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\Delta\tau_D = 2,46 \frac{kN}{cm^2} \quad \gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2,x} = \lambda_{i,\tau,S4} \cdot \Delta\tau_{x,D} = 0,66 \cdot 2,46 \frac{kN}{cm^2} = 1,62 \frac{kN}{cm^2}$$

## Lasten und Lastgruppen (DIN EN 1991-3), Ermüdung

### Beispiel: 2-Feld Brückenlaufkran

#### Interaktionsnachweis:

$$\Delta\sigma_{c,x} = 12,5 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,x} = 2,21 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\Delta\sigma_{c,z} = 7,1 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2,oz,ges} = 5,18 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\Delta\tau_c = 8,0 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2,x} = 1,62 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2,ozx} = 1,33 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\left( \frac{2,21 \frac{kN}{cm^2}}{12,5 \frac{kN}{cm^2} / 1,15} \right)^3 + \left( \frac{5,18 \frac{kN}{cm^2}}{7,1 \frac{kN}{cm^2} / 1,15} \right)^3 + \left( \frac{1,33 \frac{kN}{cm^2} + 1,62 \frac{kN}{cm^2}}{8,0 \frac{kN}{cm^2} / 1,15} \right)^5 \leq 1,0$$

$$\Rightarrow (0,203)^3 + (0,839)^3 + (0,424)^5 = 0,61 \leq 1,0$$



## Beispiel zu Herstellerangaben

Kran	ZLK 10 t x 25000 mm			
Berechnungsgrundlage	DIN 15018, H2/B3			
Laufkatze	GM 5000.10000 L-253.41.15000.3.D 160.20			
Triebwerksgruppe	3m / M6			
Betriebsort	Hallenbetrieb			
Umgebungsbedingungen	-5° C bis +40° C, ohne besondere Anforderungen			
Kranfahren	10 / 40 m/min			
Katzfahren	5 / 20 m/min			
Heben	1 / 6,3 m/min			
Gesamtgewicht	11460 kg (davon Laufkatze 1240 kg)			
Netzspannung; zul. Schwankung	3/PE ~50 Hz 400 V (TN-S); -6,5% / +5%			
Gesamtanschlussleistung	14,6 kW (Anlaufstrom * cos phi: 93,5 A)			
Belastungsangaben	Radlasten (kN)	Kranachse 1 (min/max)	27,1	79,2
	(ohne Schwingbeiwert)	Kranachse 2 (min/max)	26,3	78,1
	Seitenlasten (kN)	Massenkräfte Kranfahren (min/max)	3,1	9,0
	Schräglaukraft auf der Führungsseite (Kraftschlussbeiwert <= 0,3)		22,2	-
	Horizontallasten aus Schräglau (Führungs-/Gegenseite)	Vordere Kranachse in Fahrtrichtung	5,6	16,6
		Hintere Kranachse in Fahrtrichtung		
	Längslasten (kN)	Massenkräfte Kranfahren (max)		3,8
	(je Kranbahnträger)	Pufferendkräfte (max) (Bewegungsbegrenzer berücksichtigt)		27,3

<sup>1)</sup> Maximaler Hakenweg der Laufkatze 15 m, reale Nutzung entsprechend der Einbausituation