

# Stahlbau II - SS 2016

9. Vorlesung / Übung

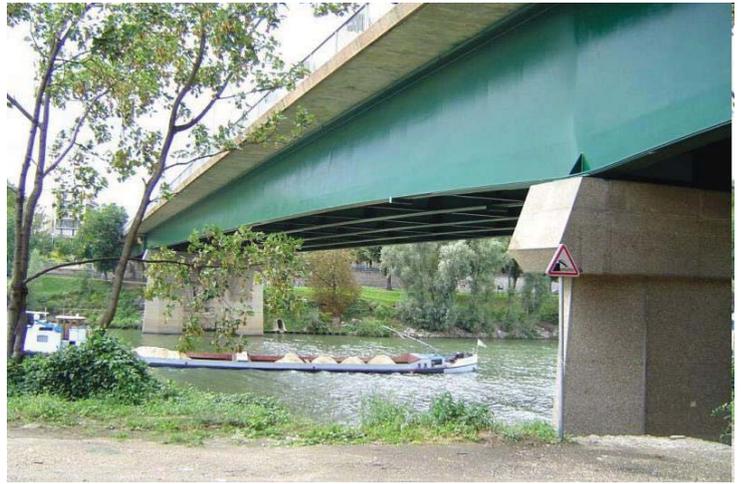
Daniel Pak

23.06.2016



## Terminübersicht und Übungsinhalte

Termin	Thema	Inhalt
14.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
21.04.2016	Hallenbau	Tragwerksentwurf, Detaillösungen
28.04.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung
19.05.2016	Stabilität	Theorie 2. Ordnung, Verbände und Aussteifungen
02.06.2016	Stabilität	Biegeknicke von Stabtragwerken, Rahmen Biegedrillknicken
09.06.2016	Sonderfragen der Bemessung	Örtliche Lasteinleitung / Rahmenecken
16.06.2016	Ermüdung	Grundlagen, Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
<b>23.06.2016</b>	<b>Ermüdung</b>	<b>Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele</b>
30.06.2016	Schweißverfahren	Vertiefte Kenntnisse des Schweißens
07.07.2016 / 14.07.2016 21.07.2016	Ausweichtermin bzw. Fragen zur Klausur	



## Normen

- Erhältlich als Download in [www.perinorm.com](http://www.perinorm.com)  
DIN EN 1993-1-9:2010 + **NA**



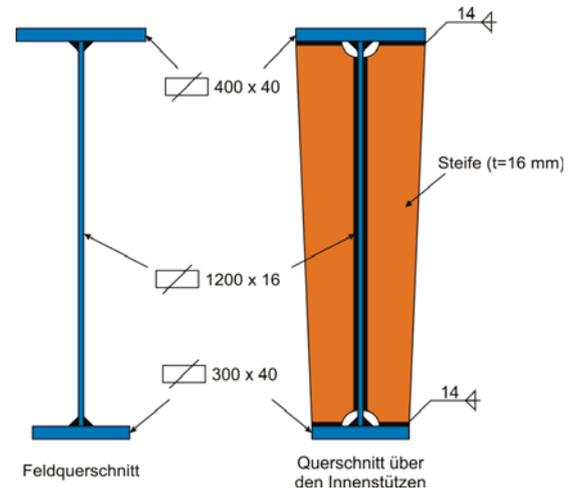
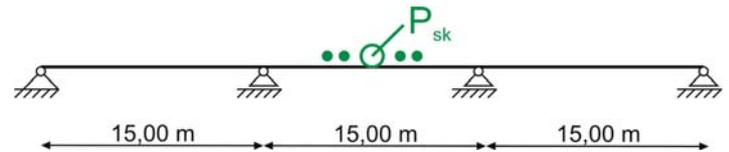
## Weitere Literatur

- Roik, K.: Vorlesungen über Stahlbau, Verlag Ernst und Sohn, Berlin/München/Düsseldorf
- Bode, H.: Stahlbau III
- Petersen, C.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen, Vieweg Verlag, Braunschweig/München 1982

## Aufgabe 3:

### gegeben:

- Radlast:  $P = 600 \text{ kN}$  (Hinfahrt)  
 $P = 0 \text{ kN}$  (Rückfahrt)
- Schwingbeiwert:  $\varphi = 1,4$
- Sicherheitsbeiwerte:  $\gamma_{Ff} = 1,0$  ;  $\gamma_{Mf} = 1,0$   
(Schadenstolerant + regelmäßige Wartung)
- Betriebsdaten: 120 Überfahrten/Tag,  
365 Tage/Jahr,  
10 Jahre



### gesucht:

- Ermüdungsnachweis des Durchlaufträgers
  - Restlebensdauer des Durchlaufträgers
- Hinweis: Schubspannungen sind zu vernachlässigen

## Aufgabe 3:

### Vorgehen:

- Identifikation / Klassifizierung der Kerbdetails

Folgendes für jedes Kerbdetail:

- Einwirkung:

Ermittlung der Spannungsschwingspiele am Kerbdetail ( $\Delta\sigma, n$ )

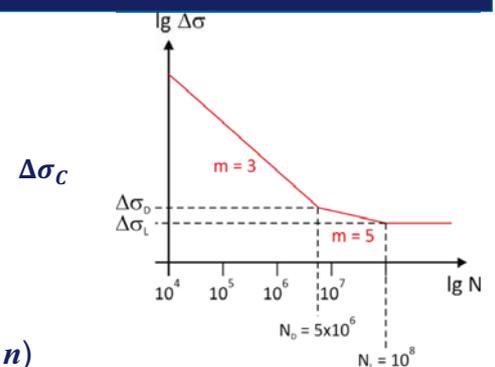
- Schnittgrößen-Zeitverläufe am Kerbdetail  $M(t)$
- Spannungs-Zeitverläufe (hierzu: Ermittlung der Querschnittswerte)  $\sigma(t)$
- Rainflow-Analyse (Spektrum der Spannungsschwingbreiten)  $\Delta\sigma_i, n_i$

- Widerstand:

Ermittlung der max. zulässigen Schwingspiele  $N_i$  je Schwingbreite  $\Delta\sigma_i$

- Ermittlung der Wöhlerlinien  $\Delta\sigma_D, \Delta\sigma_L$
- Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen  $N_i$

- Nachweis: Schadensakkumulation  $D$



## Aufgabe 3 a):

Kerbfallklassifizierung Steife im Stützbereich:

angeschweißte Lasteinleitungsstelle ( $t > 12 \text{ mm}$ )

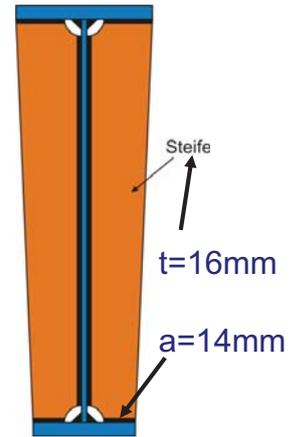
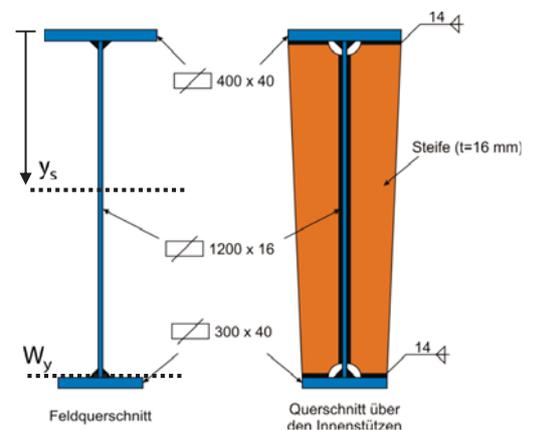


Tabelle 8.4 nach DIN EN 1993-1-9

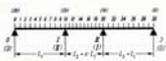
80	$l \leq 50 \text{ mm}$		<p><u>Quersteifen:</u></p> <p>6) Quersteifen auf Blechen 7) Vertikalsteifen in Walz- oder geschweißten Blechträgern.</p>	<p><u>Kerbfälle 6) und 7):</u> Die Schweißnahtenden sind sorgfältig zu schleifen, um Einbrandkerben zu entfernen.</p>
71	$50 < l \leq 80 \text{ mm}$		<p>8) Am Steg oder Flansch angeschweißte Querschotte in Kastenträgern. Nicht für Hohlprofile. Die Kerbfälle gelten auch für Ringsteifen.</p>	<p>7) Wenn die Steife, Fall 7) links, im Stegblech abschließt, wird <math>\Delta\sigma</math> mit den Hauptspannungen berechnet.</p>

## Aufgabe 3 a):

Querschnittswerte (zur Ermittlung von Spannungen aus Momenten)



## Aufgabe 3 a): (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich) Ermittlung des Spannungs-Zeitverlaufs an der Innenstütze



Dreifeldträger

Einflusslinien der Momente  
Momentenlinien

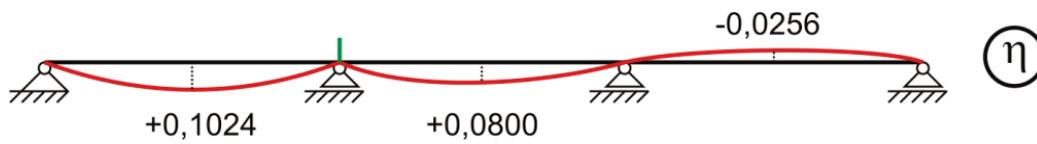
1:1,00:1

$$W_y = 1,983 \cdot 10^7 [mm^3]$$

$$M = \eta \cdot P \cdot l, \eta = \text{Tafelwert}$$

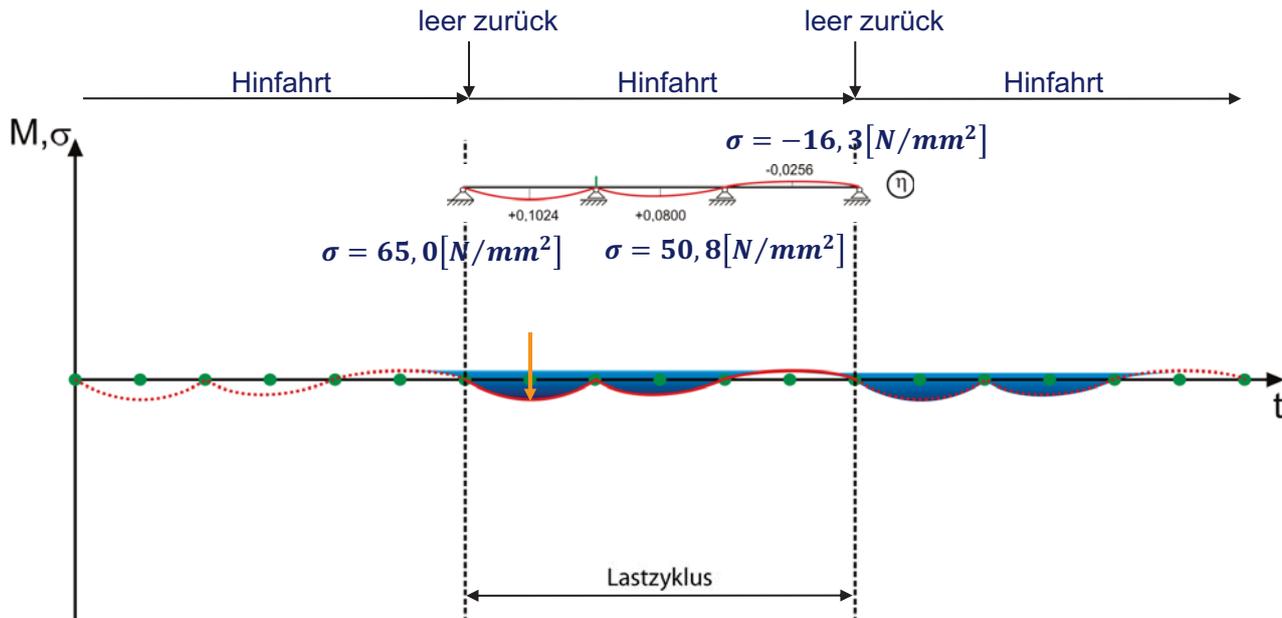
Werte in den Punkten der Momente  $M = P \cdot l \cdot \eta$  (TW-Tafelwerte)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



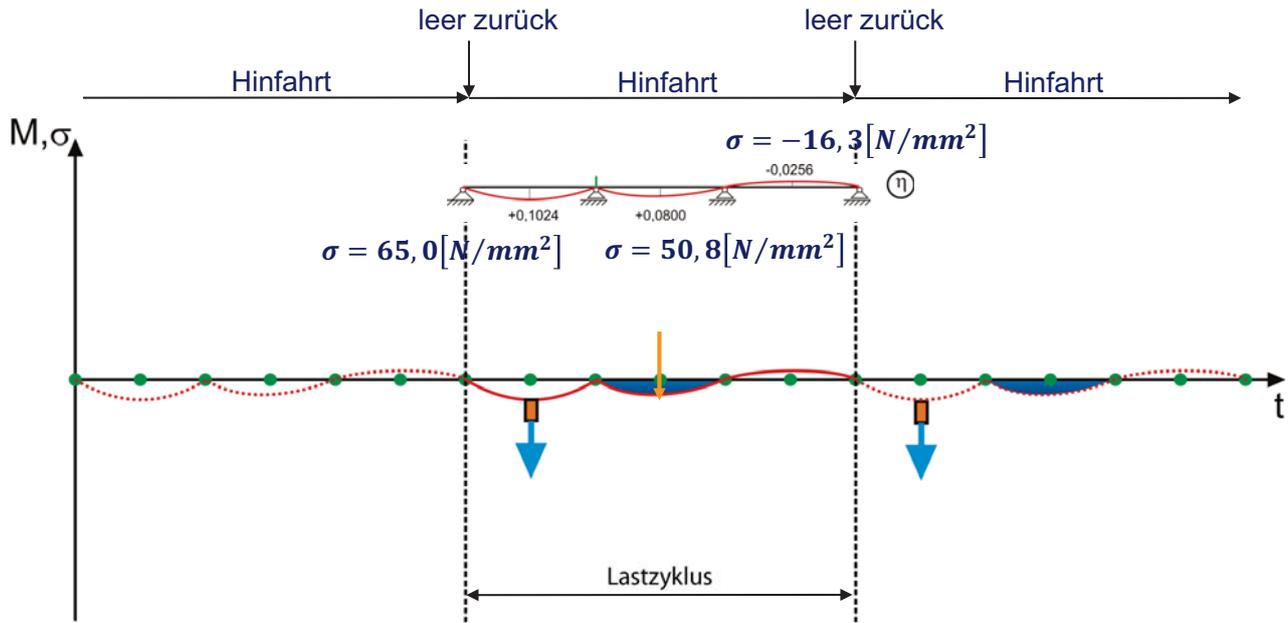
Einflusslinie Innenstütze

## Aufgabe 3 a): (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich) Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten (Stützbereich)



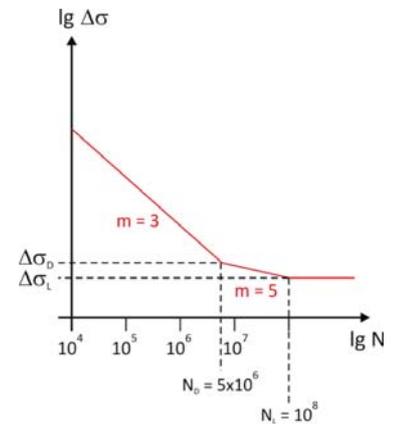
**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich)

Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten (Stützbereich)



**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich)

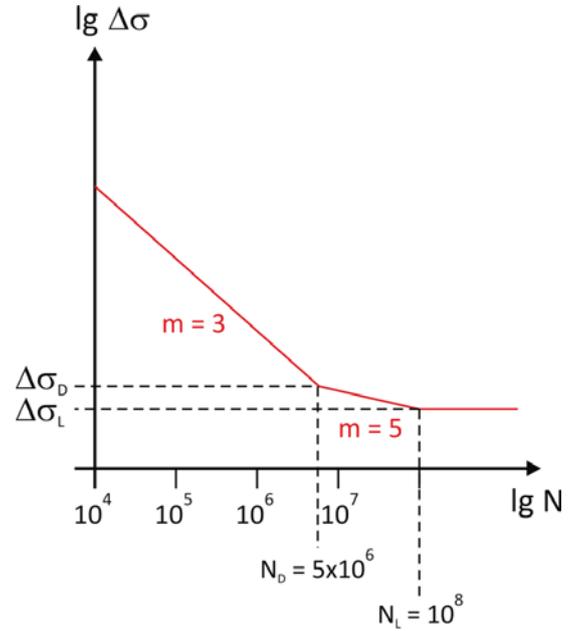
Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten



Position	$\Delta\sigma_i \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$n_i$ (je Überfahrt)	$n_i$ (in 10 Jahren)	$N_i$ , Kerbdetail 71 (Steife)
Stütze				
Stütze				

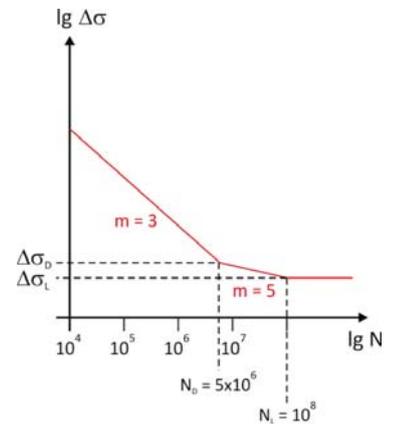
**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich)

Schadensakkumulation: Anzahl der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen  $N_i$



**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich)

Schadensakkumulation: Anzahl der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen  $N_i$



Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	m	$n_i$ (in 10 Jahren)	$N_i$
Stütze ( $\Delta\sigma_c = 71$ )			$4,38 \cdot 10^5$	?
Stütze ( $\Delta\sigma_c = 71$ )			$4,38 \cdot 10^5$	?

**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich)

Schadensakkumulation: Anzahl der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen  $N_i$

$$N_i = N_D \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^m$$

Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	m	$n_i$	$N_i$
Stütze ( $\Delta\sigma_D = 52,3$ )	81,3	3	$4,38 \cdot 10^5$	
Stütze ( $\Delta\sigma_D = 52,3$ )	50,8	5	$4,38 \cdot 10^5$	

**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 71, Steife im Stützbereich)

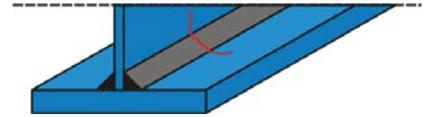
Ermüdungsnachweis (Schadenssumme, Akkumulation nach Palmgren-Miner)

Position	$n_i$	$N_i$
Stütze	$4,38 \cdot 10^5$	$1,331 \cdot 10^6$
Stütze	$4,38 \cdot 10^5$	$5,783 \cdot 10^6$

## Aufgabe 3 a):

Kerbfallklassifizierung Längsnaht (über gesamte Trägerlänge):

maschinengeschweißte Doppelkehlnaht mit Ansatzstelle



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

Tabelle 8.2 nach DIN EN 1993-1-9

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
125		<b>Durchgehende Längsnahte.</b> 1) $\text{E} \text{ (AC)}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert $\text{E} \text{ (AC)}$ beidseitig durchgeschweißte Nähte. 2) $\text{E} \text{ (AC)}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte $\text{E} \text{ (AC)}$ Kehlnähte. Die Enden von aufgeschweißten Gurtplatten sind gem. Kerbfall 6) oder 7) in Tabelle 8.5 nachzuweisen.	<b>Kerbfälle 1) und 2):</b> Es dürfen keine Schweißansatzstellen vorhanden sein, ausgenommen bei Durchführung einer Reparatur mit anschließender Überprüfung der Reparaturschweißung.
112		3) $\text{E} \text{ (AC)}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte $\text{E} \text{ (AC)}$ Doppelkehlnähte oder beidseitig durchgeschweißte Nähte, beide mit Ansatzstellen. 4) $\text{E} \text{ (AC)}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert $\text{E} \text{ (AC)}$ einseitig durchgeschweißte Naht mit nicht unterbrochener Schweißbadsicherung, aber ohne Ansatzstellen.	4) Weist dieser Kerbfall Ansatzstellen auf, ist er der Kerbgruppe 100 zuzuordnen.

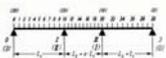
3)  $\text{E} \text{ (AC)}$  Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte  $\text{E} \text{ (AC)}$  Doppelkehlnähte oder beidseitig durchgeschweißte Nähte, beide mit Ansatzstellen.

➔ Nachweis über der Stütze und im Feld

# Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

## Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Ermittlung des Spannungs-Zeitverlaufs im Feld



Dreifeldträger

Einflusslinien der Momente  
Momentenlinien

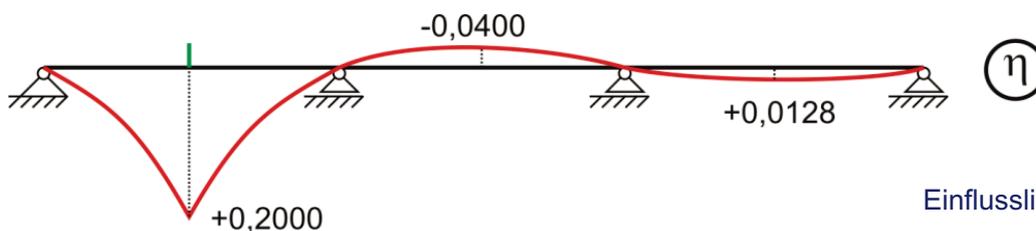
1:1,00:1

$$W_y = 1,983 \cdot 10^7 [mm^3]$$

$$M = \eta \cdot P \cdot l, \eta = \text{Tafelwert}$$

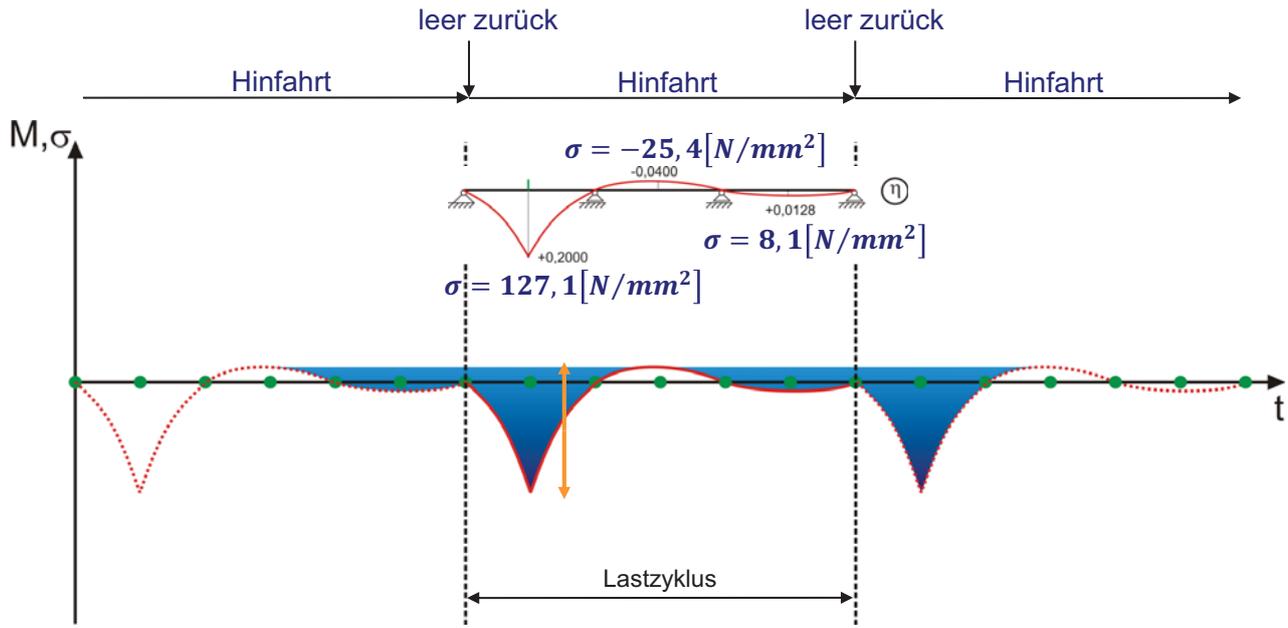
siehe in den Punkten die Momente  $M = P \cdot l \cdot \eta$  (TW = Tafelwert)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

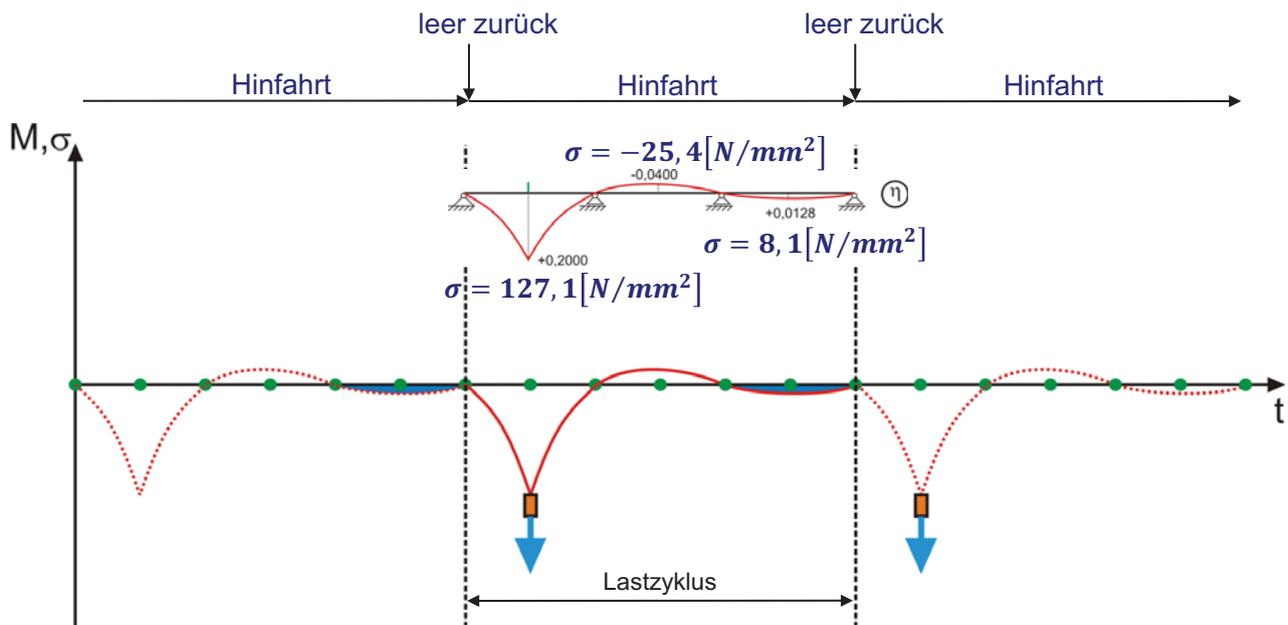


Einflusslinie Endfelder  
(Endfeld ungünstiger als Mittelfeld)

**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)  
 Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten (Feldbereich)



**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)  
 Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten (Feldbereich)

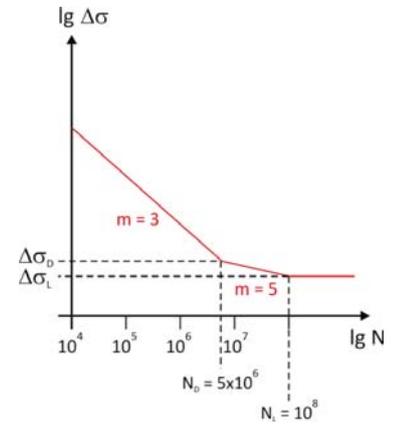


**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten

$$n_{\text{Überfahrten}} = 120 \cdot 365 \cdot 10 = 4,38 \cdot 10^5 [\text{kNm}]$$

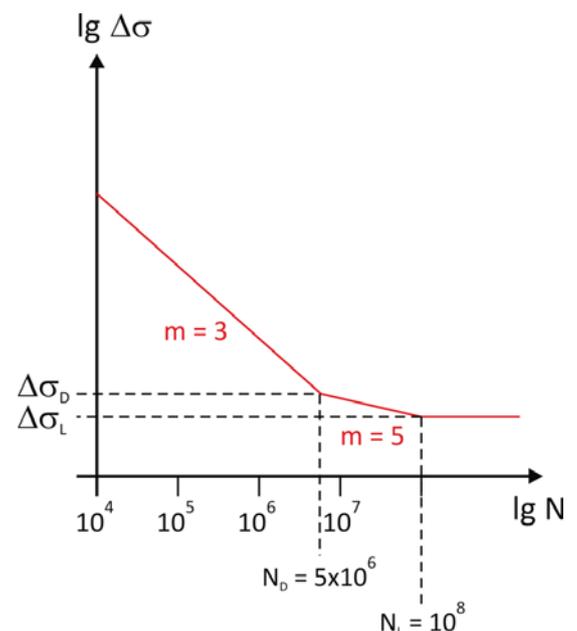
Überfahrten innerhalb von 10 Jahren



Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$n_i$ (je Überfahrt)	$n_i$ (in 10 Jahren)	$N_i$ , Kerbdetail 112 (Längsnaht)
Feld				
Feld				
Stütze	81,3	1	$4,38 \cdot 10^5$	
Stütze	50,8	1	$4,38 \cdot 10^5$	

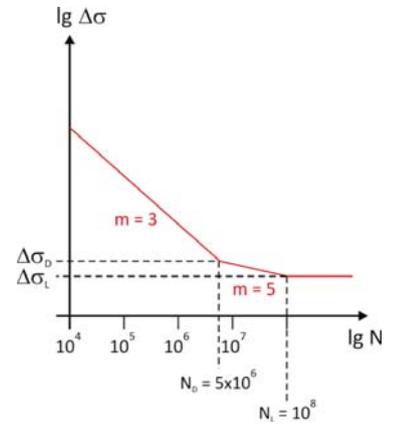
**Aufgabe 3 a):** (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Schadensakkumulation: Anz. der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen  $N_i$



## Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Schadensakkumulation: Anzahl der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen  $N_i$



Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	m	$n_i$ (in 10 Jahren)	$N_i$
Feld ( $\Delta\sigma_c = 112$ )			$4,38 \cdot 10^5$	?
Feld ( $\Delta\sigma_c = 112$ )			$4,38 \cdot 10^5$	?
Stütze ( $\Delta\sigma_c = 112$ )			$4,38 \cdot 10^5$	?
Stütze ( $\Delta\sigma_c = 112$ )			$4,38 \cdot 10^5$	?

## Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Schadensakkumulation: Anzahl der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen  $N_i$

$$N_i = N_D \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^m$$

Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	m	$n_i$	$N_i$
Feld ( $\Delta\sigma_D = 82,5$ )	152,5	3	$4,38 \cdot 10^5$	
Feld ( $\Delta\sigma_D = 82,5$ )	8,1	-	$4,38 \cdot 10^5$	
Stütze ( $\Delta\sigma_D = 82,5$ )	81,3	5	$4,38 \cdot 10^5$	
Stütze ( $\Delta\sigma_D = 82,5$ )	50,8	5	$4,38 \cdot 10^5$	

## Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Ermüdungsnachweis (Schadenssumme, Akkumulation nach Palmgren-Miner)

Kerbdetail 112, Feldbereich:

Position	$n_i$	$N_i$
Feld	$4,38 \cdot 10^5$	$7,916 \cdot 10^5$
Feld	$4,38 \cdot 10^5$	$\infty$
Stütze	$4,38 \cdot 10^5$	$5,380 \cdot 10^6$
Stütze	$4,38 \cdot 10^5$	$5,648 \cdot 10^7$

Kerbdetail 112, Stützbereich:

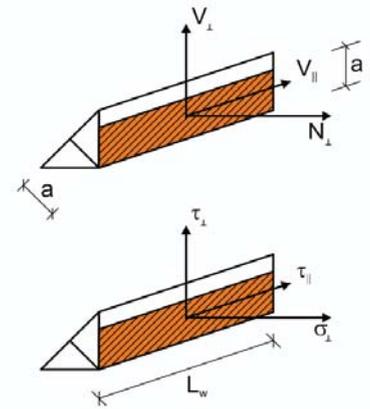
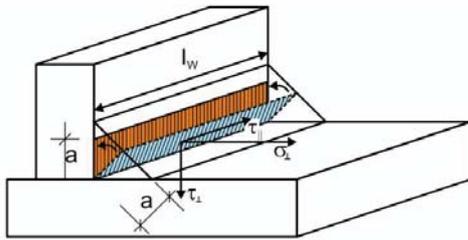
## Aufgabe 3 b):

Restlebensdauer des Durchlaufträgers, Kerbdetail 112 (Längsnaht im Feldbereich):

Restlebensdauer des Durchlaufträgers, Kerbdetail 71 (Steife im Stützbereich):

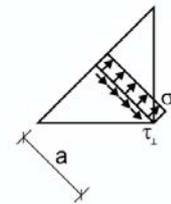
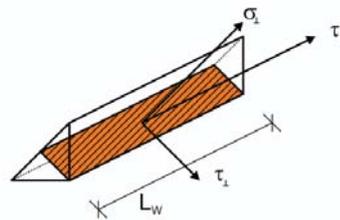
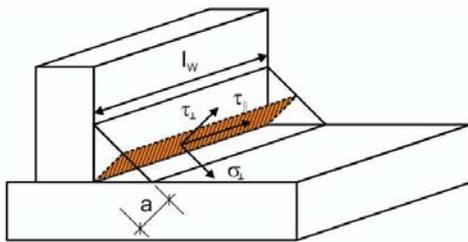
Es werden im EC 3 zwei Nachweisverfahren unterschieden:

- 1. Grenzkraft pro Längeneinheit** (vereinfachter Nachweis),  
vgl. DIN EN 1993-1-8, 4.5.3.3.



- 2. Richtungsbezogenes Verfahren** (genauere Methode)

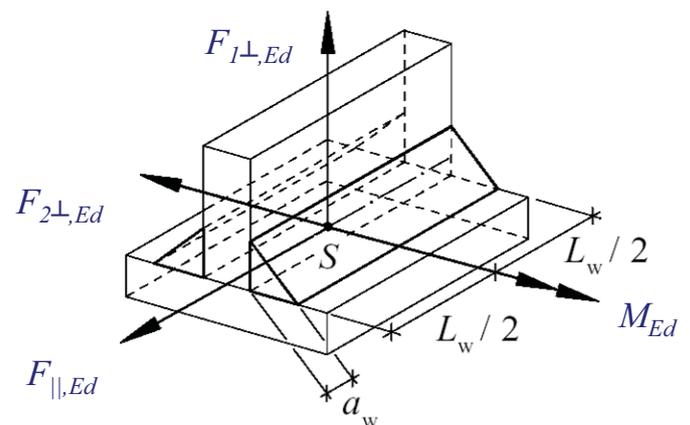
Vergleichsspannungsnachweis, bei dem die Spannungen auf die Kehlnahtfläche (Winkelhalbierende) bezogen werden (vgl. DIN EN 1993-1-8, 4.5.3.2).



Es werden im EC 3 zwei Nachweisverfahren unterschieden:

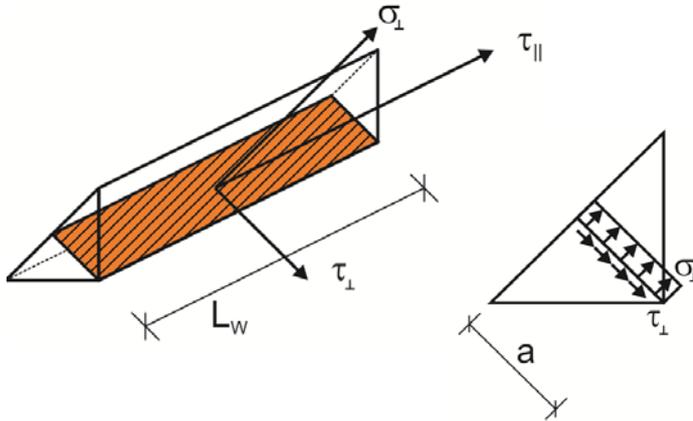
- 1. Grenzkraft pro Längeneinheit** (vereinfachter Nachweis), vgl. DIN EN 1993-1-8, 4.5.3.3.

- Die zu übertragenden Schnittgrößen  $M_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$  und  $V_{Ed}$  der Verbindung auf die Schweißnähte des Bauteils aufteilen
- Abmessungen  $L_w$  bestimmen
- Zusammenfassung der Einwirkungen auf eine Schweißnaht pro Längeneinheit
- Nachweis der einzelnen Bleche führen
- Resultierende Beanspruchung pro Längeneinheit  $F_{w,Ed}$  aus 3. auf Schweißnaht bestimmen (Einwirkung)
- Grenzkraft pro Längeneinheit  $F_{w,Rd}$  für Schweißnaht bestimmen
- Nachweis für Schweißnaht führen



Es werden im EC 3 zwei Nachweisverfahren unterschieden:

## 2. Richtungsbezogenes Verfahren (genauere Methode), vgl. DIN EN 1993-1-8, 4.5.3.2



$\tau_{\perp}$  Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche  $\perp$  zur Längsachse der Naht

$\tau_{\parallel}$  Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche  $\parallel$  zur Längsachse der Naht

$\sigma_{\perp}$  Normalspannung  $\perp$  zur Bezugsfläche und  $\perp$  zur Längsachse der Naht

Folgende Nachweise müssen erfüllt sein:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{und} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \cdot 0,9$$

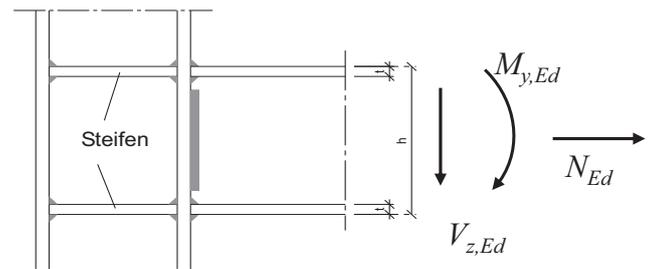
Die Schnittkräfte können auf 2 unterschiedliche Arten auf die Schweißnähte aufgeteilt werden:

### Vereinfacht:

$V_{Ed} \rightarrow$  Stegnähte

$M_{Ed} \rightarrow$  Flanschnähte

$N_{Ed} \rightarrow$  Flanschnähte

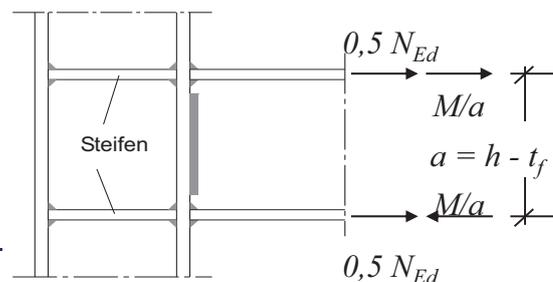


Für die Doppelkehlnaht am Steg:

$$F_{\parallel,Ed} = V_{z,Ed} \quad \tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{A_{w,Steg}}$$

Für die Doppelkehlnaht am Zugflansch:

$$F_{\perp,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{y,Ed}}{(h - t_f)} \quad \sigma_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{A_{w,Zugfl}}$$



Für die Doppelkehlnaht am Druckflansch:

$$F_{\perp,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} - \frac{M_{y,Ed}}{(h - t_f)} \quad \sigma_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{A_{w,Druckfl}}$$

Die Schnittkräfte können auf 2 unterschiedliche Arten auf die Schweißnähte aufgeteilt werden:

**Exakt:**

$V_{Ed} \rightarrow$  Stegnähte

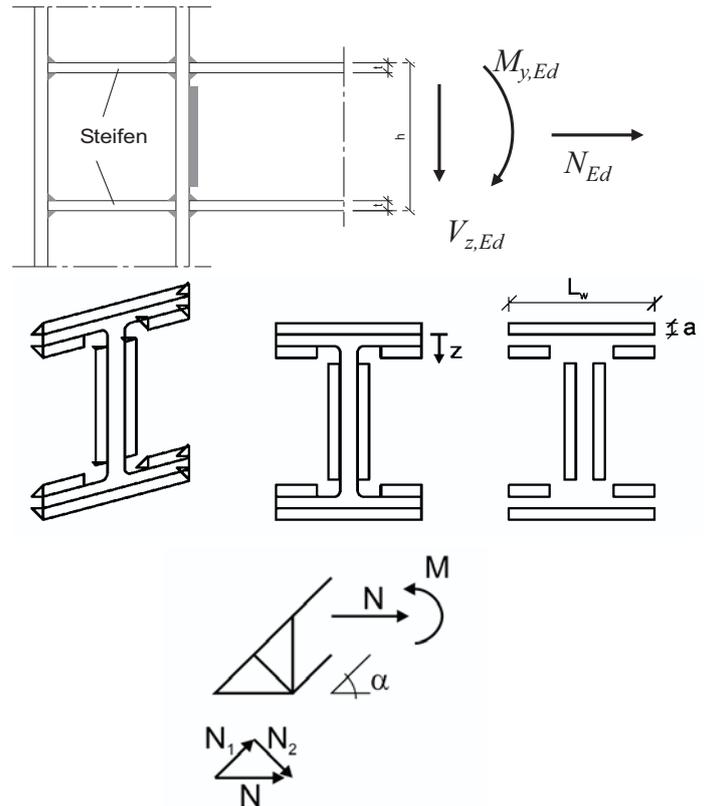
$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{w,Steg}}$$

$M_{Ed} \rightarrow$  entsprechend Normalspannungsverteilung

$N_{Ed} \rightarrow$  entsprechend Normalspannungsverteilung

$$\sigma_{\perp} = \frac{N_1}{A_w} - \frac{M}{I_w} (z_{sw,i} - z_{sw})$$

$$\tau_{\perp} = \frac{N_2}{A_w} - \frac{M}{I_w} (z_{sw,i} - z_{sw})$$



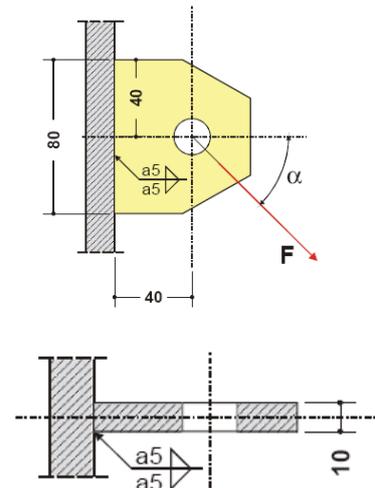
## Aufgabe Wiederholung 1:

gegeben:

- Einwirkung  $F_{Ed} = 30,0 \text{ kN}$  ( $\gamma$ -fache Einwirkung)
- Material Baustahl S235
- beidseitige Kehlnaht:  $a_w = 5 \text{ mm}$
- System und Abmessungen: siehe Abbildungen

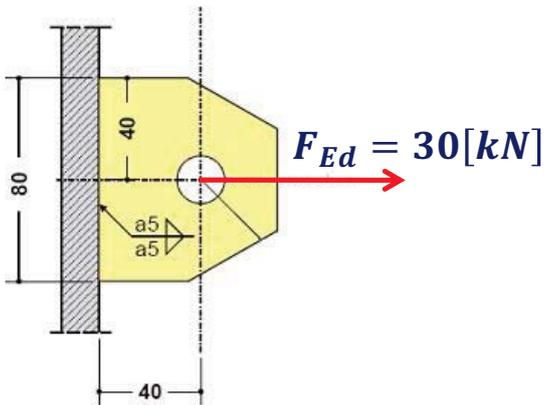
gesucht:

- Beanspruchung und Nachweise der Schweißverbindungen nach dem richtungsbezogenen Verfahren bei
  - a) Einwirkung senkrecht zur Anschlussebene ( $\alpha = 0^\circ$ )
  - b) Einwirkung schräg zur Anschlussebene ( $\alpha = 45^\circ$ )
  - c) Einwirkung parallel zur Anschlussebene ( $\alpha = 90^\circ$ )



## Aufgabe Wiederholung 1:

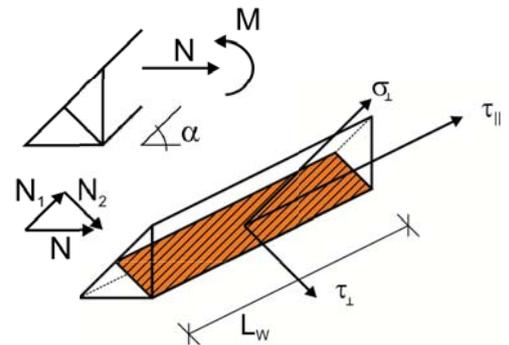
a) Einwirkung senkrecht zur Anschlussebene ( $\alpha = 0^\circ$ )



Einwirkung je Naht:

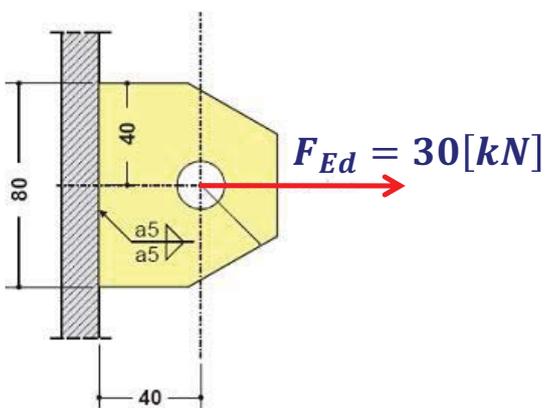
Nahtfläche je Schweißnaht:

Schweißnahtspannungen:



## Aufgabe Wiederholung 1:

a) Einwirkung senkrecht zur Anschlussebene ( $\alpha = 0^\circ$ )



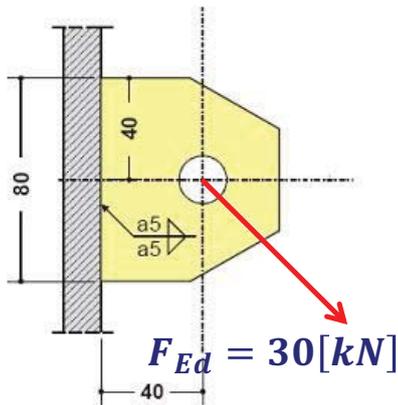
Schweißnahtspannungen:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 26,5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Vergleichsspannungen und Nachweise:

## Aufgabe Wiederholung 1:

b) Einwirkung schräg zur Anschlussebene ( $\alpha = 45^\circ$ )



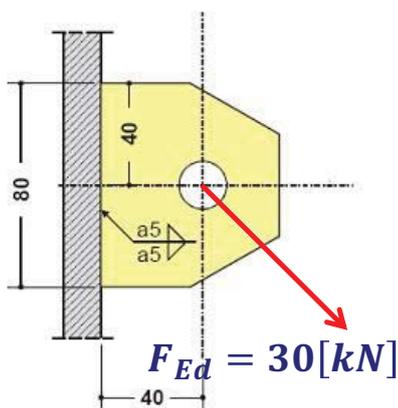
Einwirkung je Naht:

Querschnittswerte je Schweißnaht:

Schweißnahtspannungen aus Normalkraft:

## Aufgabe Wiederholung 1:

b) Einwirkung schräg zur Anschlussebene ( $\alpha = 45^\circ$ )



Einwirkung je Naht:

$$N_{Ed} = V_{Ed} = 10,6 [kN], M_{y,Ed} = 0,42 [kNm]$$

Querschnittswerte je Schweißnaht:

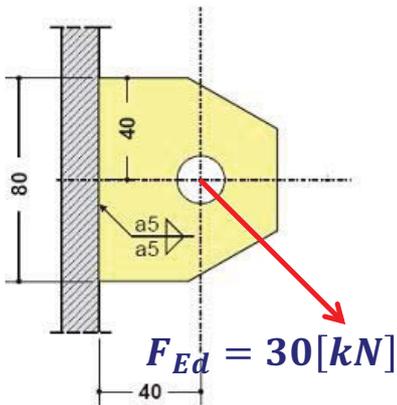
$$A_w = 400 [mm^2], I_w = 213.333 [mm^4]$$

Schweißnahtspannungen aus Querkraft:

Schweißnahtspannungen aus Biegemoment:

## Aufgabe Wiederholung 1:

b) Einwirkung schräg zur Anschlussebene ( $\alpha = 45^\circ$ )

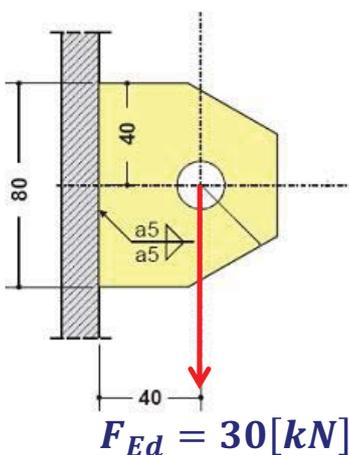


Schweißnahtspannungen:

Vergleichsspannungen und Nachweise:

## Aufgabe Wiederholung 1:

c) Einwirkung parallel zur Anschlussebene ( $\alpha = 90^\circ$ )



Einwirkung je Naht:

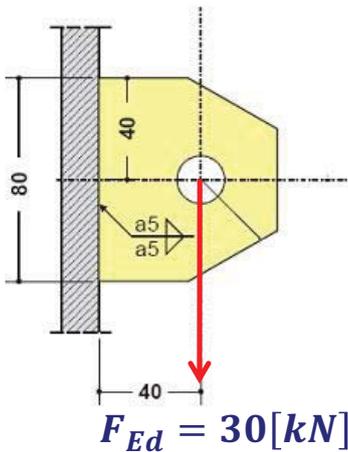
Querschnittswerte je Schweißnaht:

Schweißnahtspannungen aus Querkraft:

Schweißnahtspannungen aus Biegemoment:

## Aufgabe Wiederholung 1:

c) Einwirkung parallel zur Anschlussebene ( $\alpha = 90^\circ$ )



Schweißnahtspannungen:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 79,5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\tau_{\parallel} = 37,5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Vergleichsspannungen und Nachweise:

## Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

### Berechnung der Spannungen nach DIN EN 1993-1-9

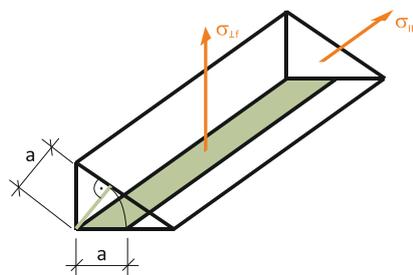
Die maßgebenden Spannungen in den Schweißnähten sind:

die Längsspannungen  $\sigma_{wf}$  quer zur Nahtachse

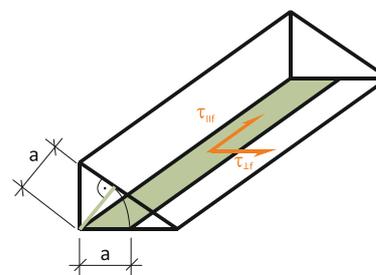
$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2}$$

die Schubspannungen  $\tau_{wf}$  längs der Nahtachse

$$\tau_{wf} = \tau_{\parallel f}$$



maßgebende Spannungen  $\sigma$



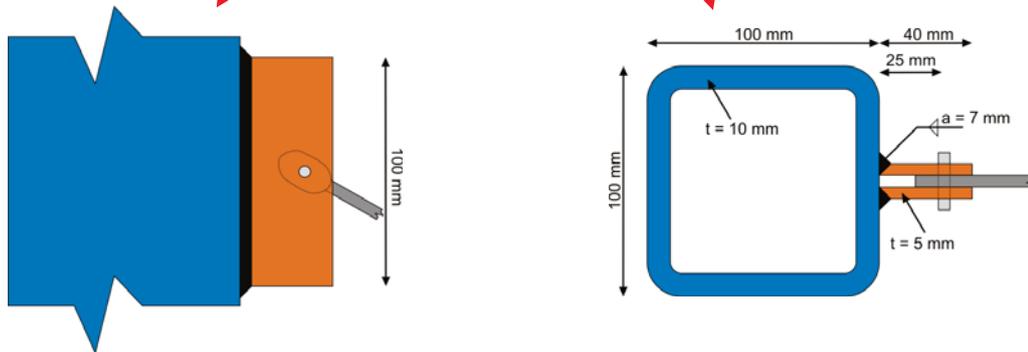
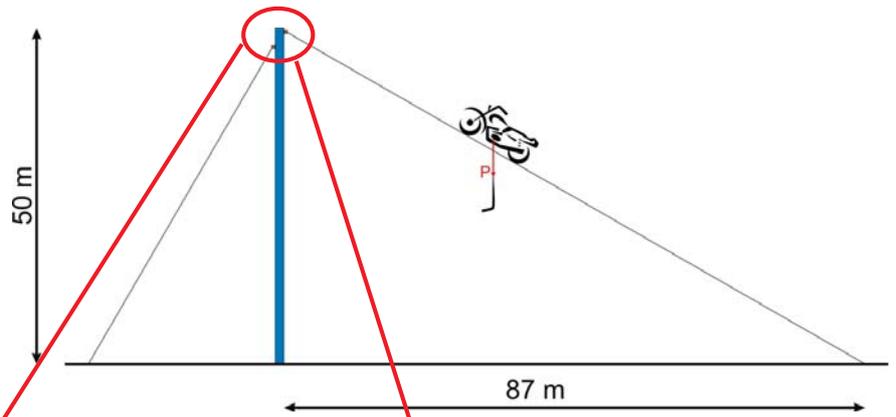
maßgebende Spannungen  $\tau$

Bild 5.1 aus DIN EN 1993-1-9: maßgebende Spannungen in Kehlnähten

Diese Vorgehensweise unterscheidet sich von den Tragsicherheitsnachweisen von Kehlnähten nach EN 1993-1-8.

**Aufgabe 4:**

System:



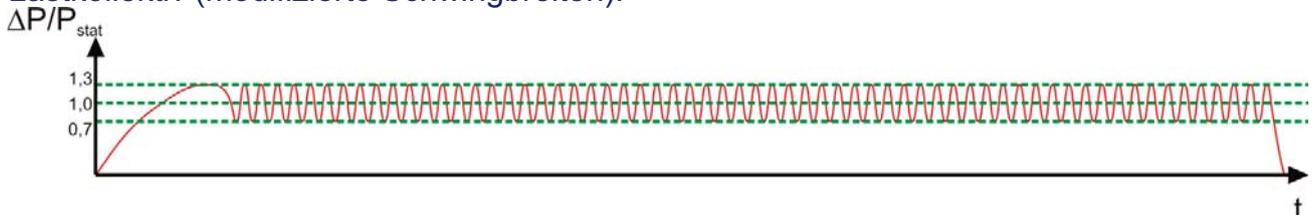
**Aufgabe 4:**

gegeben:

- Last:
  - $P_{\text{Motorrad}} = 1,4 \text{ kN}$
  - $P_{\text{Fahrer}} = 0,8 \text{ kN}$
  - $P_{\text{Beifahrer}} = 0,8 \text{ kN}$
- Seilkraft  $S = 11,5 \times P$
- Sicherheitsbeiwerte:
  - $\gamma_{Ff} = 1,0 ; \gamma_{Mf} = 1,15$
  - (schadenstolerant + Schadensfolgen: hoch)
- Verbindungsmittel: Schraube M 16
- Lastkollektiv (modifizierte Schwingbreiten):

gesucht:

Lebensdauer des dargestellten Anschlusses inkl. des Verbindungsmittels



## Aufgabe 4:

### Vorgehen:

1. Identifikation / Klassifizierung der Kerbdetails

Folgendes für jedes Kerbdetail:

2. Einwirkung:

Ermittlung der Spannungsschwingspiele am Kerbdetail ( $\Delta\sigma, n$ )

a. Schnittgrößen-Zeitverläufe am Kerbdetail

$M(t)$

b. Spannungs-Zeitverläufe (hierzu: Ermittlung der Querschnittswerte)

$\sigma(t)$

c. Rainflow-Analyse (Spektrum der Spannungsschwingbreiten)

$\Delta\sigma_i, n_i$

3. Widerstand:

Ermittlung der max. zulässigen Schwingspiele  $N_i$  je Schwingbreite  $\Delta\sigma_i$

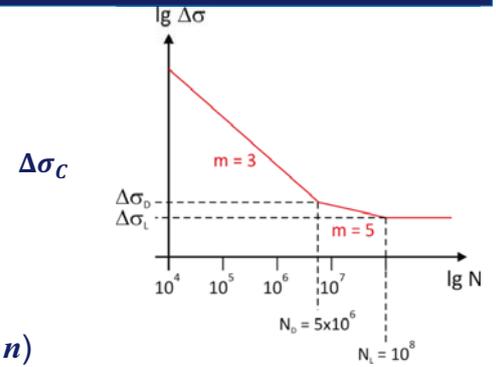
a. Ermittlung der Wöhlerlinien

$\Delta\sigma_D, \Delta\sigma_L$

b. Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen

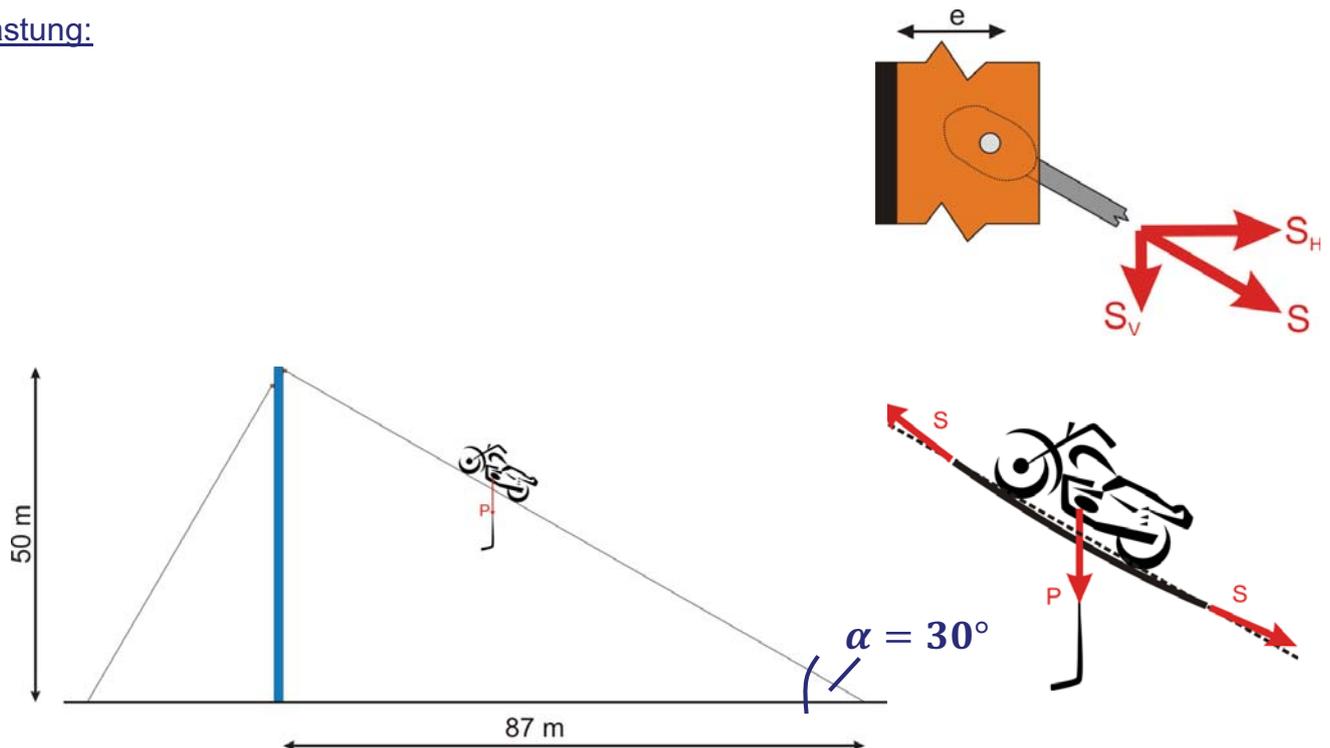
$N_i$

4. Nachweis: Schadensakkumulation  $D$



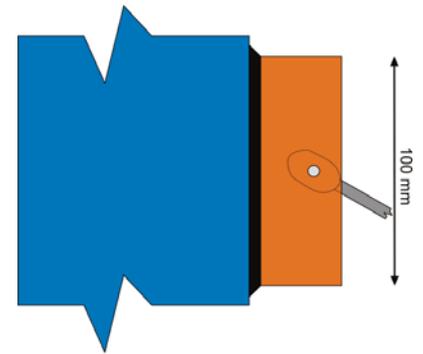
## Aufgabe 4:

### Belastung:

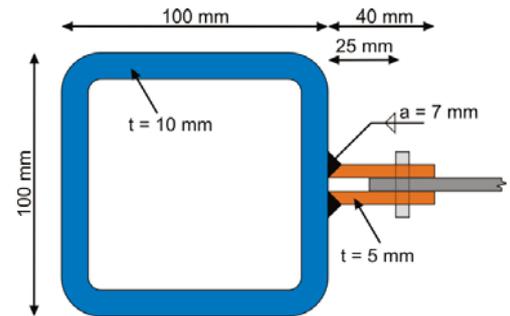


**Aufgabe 4:**

Querschnittswerte, Blech:



Querschnittswerte, Schweißnaht:



**Aufgabe 4:**

Kerbdetail, Schweißnaht:

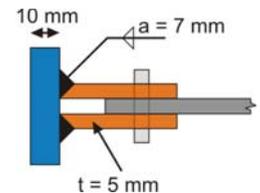
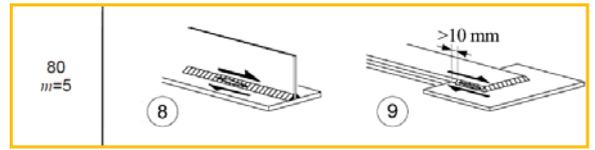
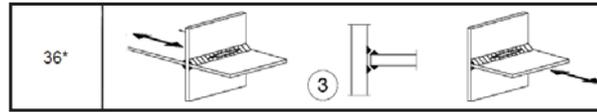


Tabelle 8.5 nach DIN EN 1993-1-9

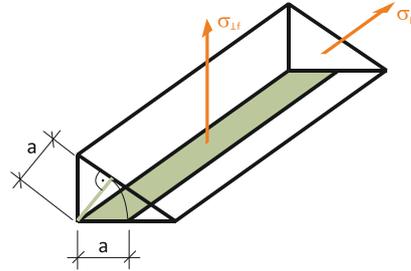
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
80	$l < 50$ alle $t$		<p><b>Kreuz- und T-Stöße:</b></p> <p>1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten.</p> <p>2) <math>\Delta\sigma</math> ist mit korrigierten Nennspannungsschwingbreiten zu ermitteln.</p> <p>3) Es sind 2 Ermüdungsnachweise erforderlich: zum einen der Nachweis gegen Riss der Schweißnahtwurzel mit Spannungen nach Abschnitt 5 mit Kerbgruppe 36* für <math>\sigma_w</math> und Kerbgruppe 80 für <math>\tau_w</math>, zum anderen der Nachweis des Nahtüberganges mit Bestimmung von <math>\Delta\sigma</math> in den belasteten Blechen.</p> <p><b>Kerbfälle 1) bis 3):</b></p> <p>Die Ausmittigkeit der belasteten Bleche muss <math>\leq 15\%</math> der Dicke des Zwischenblechs sein.</p>
71	$50 < l \leq 80$ alle $t$		
63	$80 < l \leq 100$ alle $t$		
56	$100 < l \leq 120$ alle $t$		
56	$l > 120$ $t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$ $t > 20$ $l > 200$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$ $t > 30$ $l > 300$ $30 < t \leq 50$		
40	$l > 300$ $t > 50$		
wie Kerbfall 1 in Tabelle 8.5	<p>verformbares Anschlussblech</p>	<p>2) Riss am Schweißnahtübergang, ausgehend von der Kante des Anschlussbleches, mit Spannungskonzentrationen an den Schweißnahtenden infolge Blechverformungen.</p>	
36*		<p>3) Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen oder Kehlnähten oder in T-Stößen nach Bild 4.6 in EN 1993-1-8:2005. <b>[4.6]</b></p>	

## Aufgabe 4:

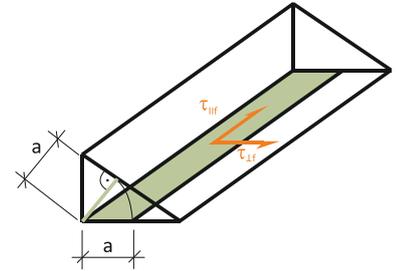
### Kerbdetail, Schweißnaht:



3) Es sind 2 Ermüdungsnachweise erforderlich: zum einen der Nachweis gegen Riss der Schweißnahtwurzel mit Spannungen nach Abschnitt 5 mit Kerbgruppe 36\* für  $\sigma_w$  und Kerbgruppe 80 für  $\tau_w$ , zum anderen der Nachweis des Nahtüberganges mit Bestimmung von  $\Delta\sigma$  in den belasteten Blechen.



maßgebende Spannungen  $\sigma_f$



maßgebende Spannungen  $\tau_f$

Bild 5.1 aus DIN EN 1993-1-9: maßgebende Spannungen in Kehlnähten

Die maßgebenden Spannungen in den Schweißnähten sind:

die Längsspannungen  $\sigma_{wf}$  quer zur Nahtachse

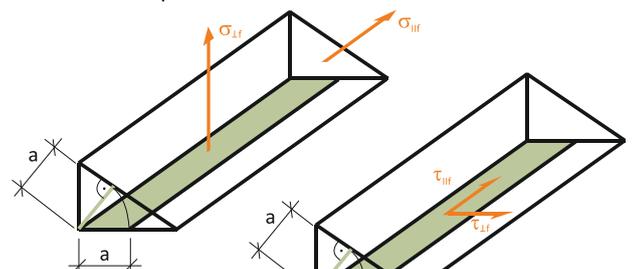
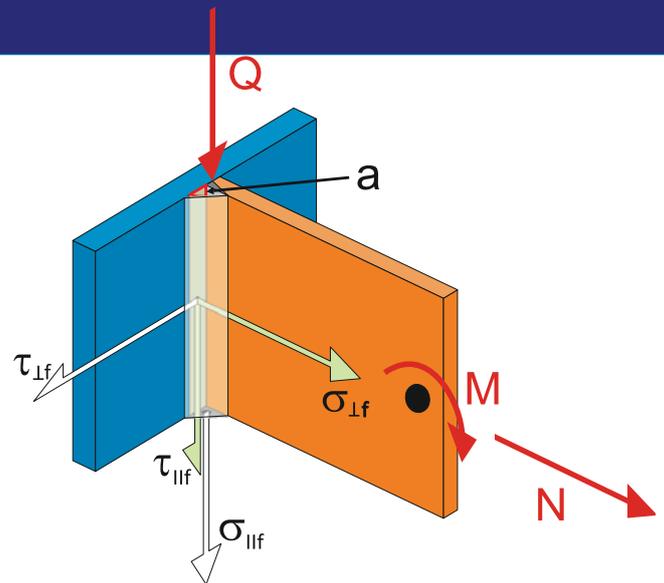
$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2}$$

die Schubspannungen  $\tau_{wf}$  längs der Nahtachse

$$\tau_{wf} = \tau_{\parallel f}$$

## Aufgabe 4:

### Schweißnahtwurzel:



maßgebende Spannungen  $\sigma_f$

maßgebende Spannungen  $\tau_f$

maßgebende Spannungen  $\tau_f$

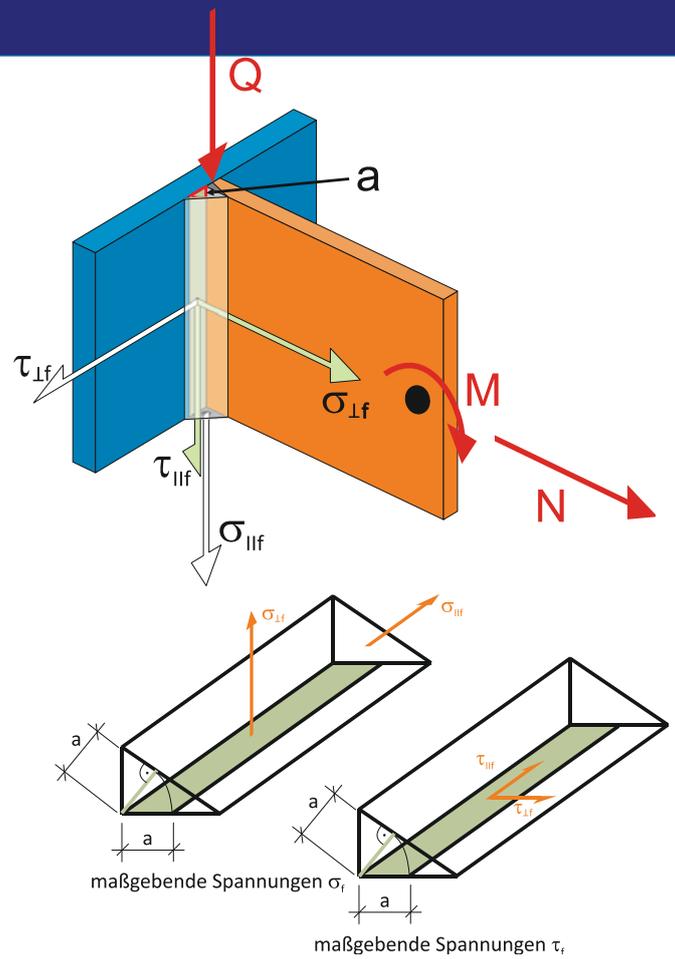
**Aufgabe 4:**

Schweißnahtwurzel:

$$\tau_{\perp f} = 0$$

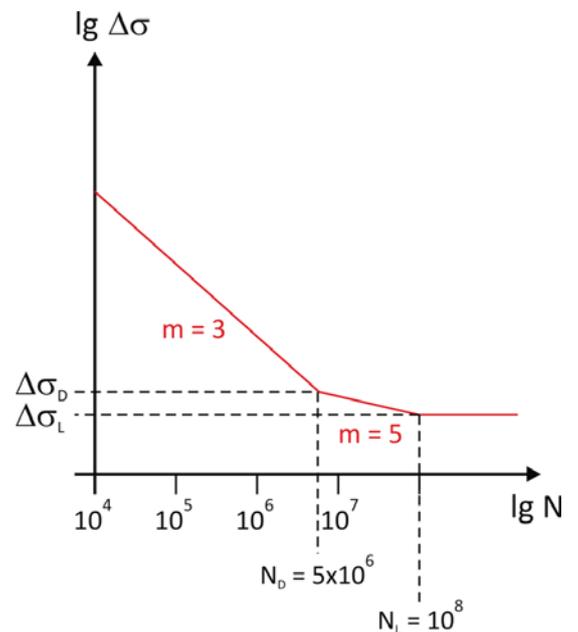
$$\sigma_{\perp f} = 40,0 [N/mm^2]$$

$$\tau_{\parallel f} = 12,4 [N/mm^2]$$



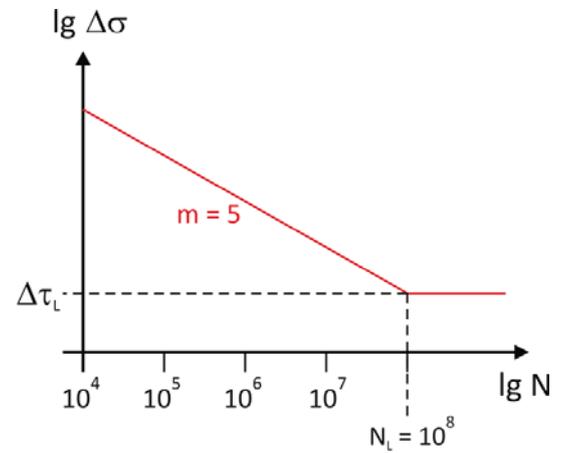
**Aufgabe 4:**

Spannungsschwingbreiten Schweißnahtwurzel (Kerbfall 36 für  $\sigma_w$ ):



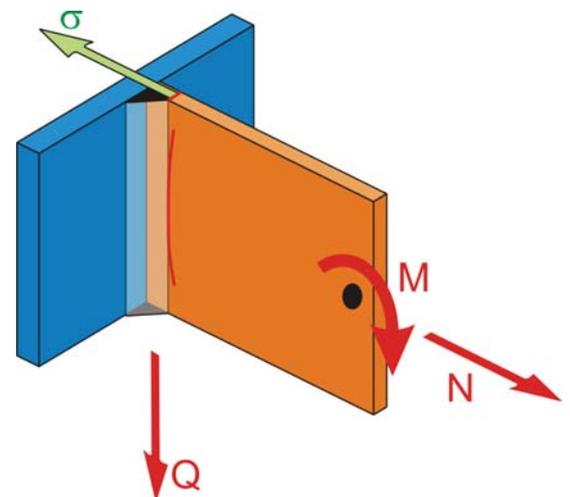
**Aufgabe 4:**

Spannungsschwingbreiten Schweißnahtwurzel (Kerbfall 80 für  $\tau_w$ ):



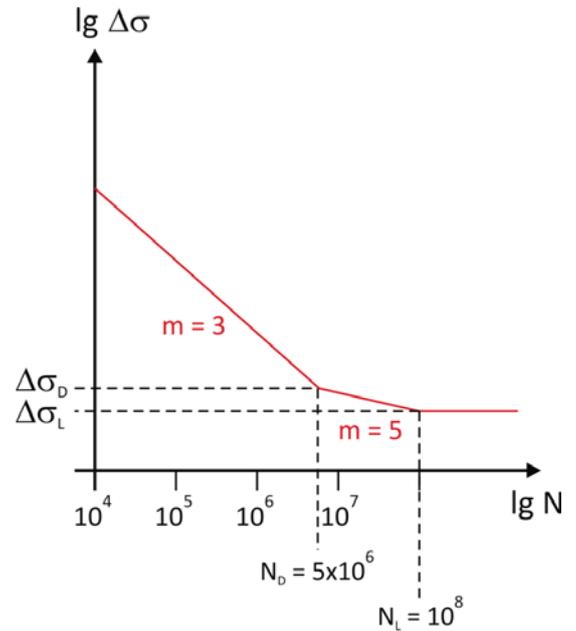
**Aufgabe 4:**

Schweißnahtübergang:



**Aufgabe 4:**

Spannungsschwingbreiten Schweißnahtübergang (Kerbfall 80 für  $\sigma$ ):



**Aufgabe 4:**

Schraube:

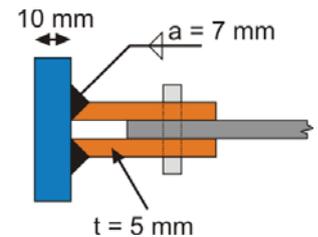
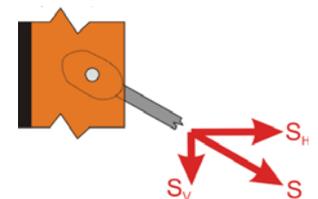


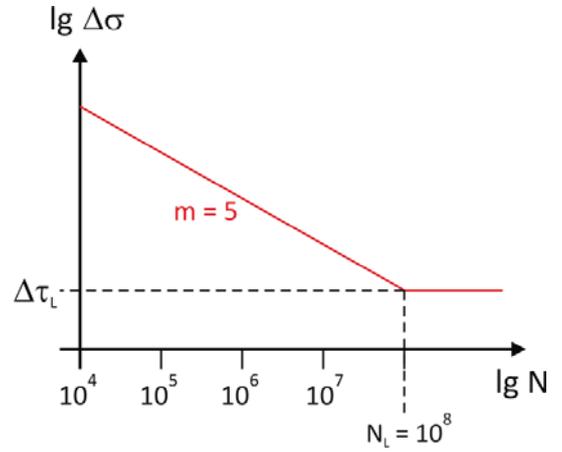
Tabelle 8.1 nach DIN EN 1993-1-9

<p>100 <math>m=5</math></p>		<p>Schrauben in ein- oder zweiseitigen Scher-Lochleibungsverbindungen (Gewinde nicht in der Scherfläche)</p> <p>15)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Passschrauben</li> <li>- Schrauben ohne Lastumkehr (Schraubengüten 5.6, 8.8 oder 10.9)</li> </ul>	<p>15)</p> <p><math>\Delta \tau</math> ist am Schaftquerschnitt zu ermitteln.</p>
---------------------------------	--	--	---



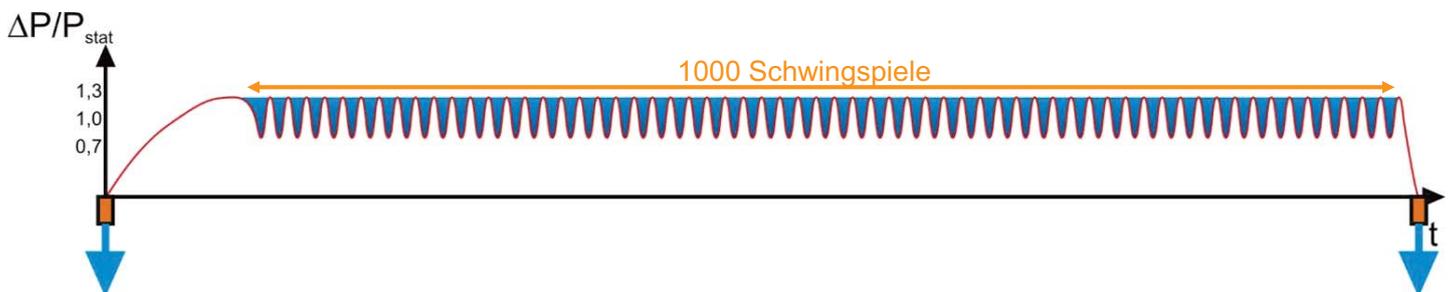
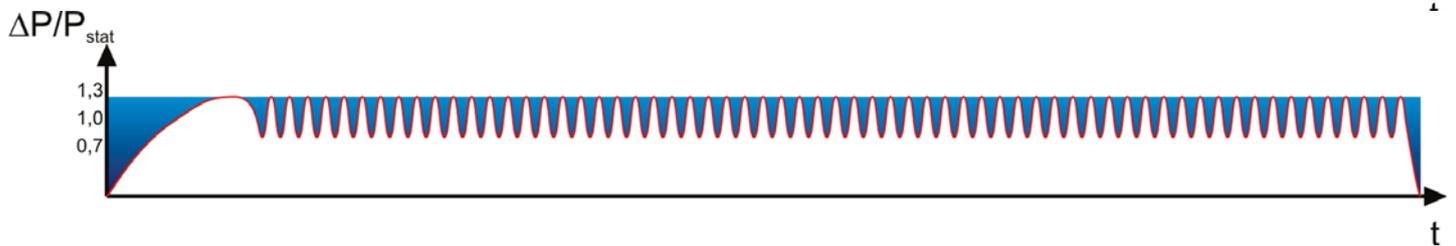
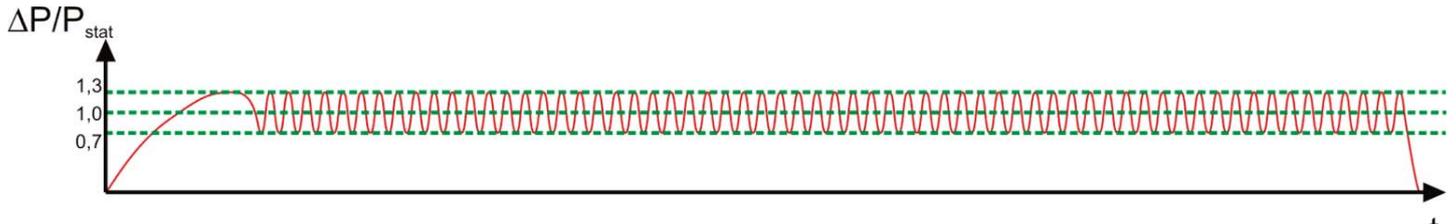
**Aufgabe 4:**

Spannungsschwingbreiten Schraube (Kerbfall 100 für  $\tau$ ):

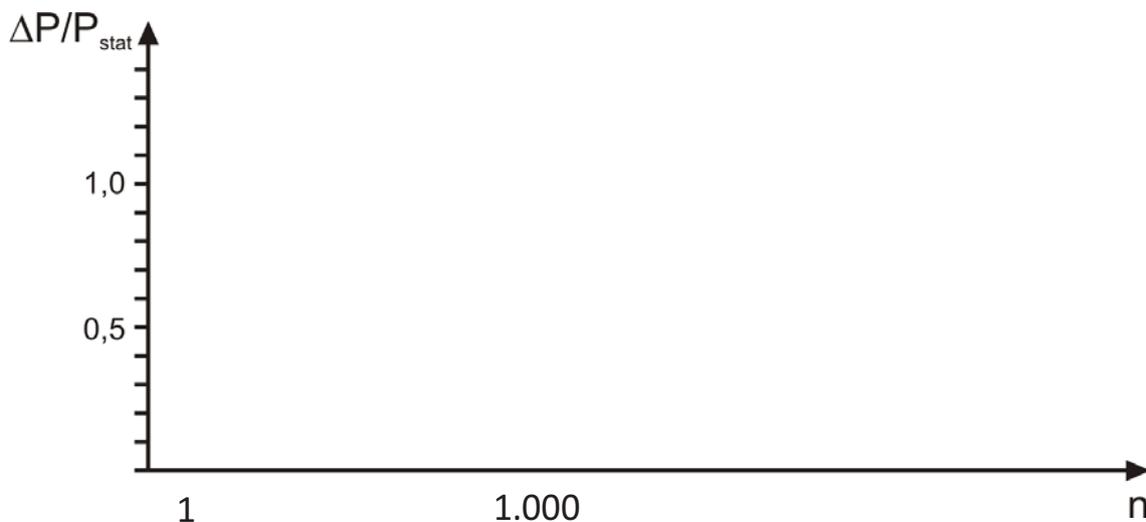


**Aufgabe 4:**

Spannungsschwingbreiten (Reservoir - Methode):



**Aufgabe 4:**  
Lastkollektiv:



**Aufgabe 4: Spannungskollektiv:**

	Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ], $\Delta\tau_i$ [N/mm <sup>2</sup> ],	m
1	<u>Schweißnahtwurzel:</u> $\sigma_{wf} = 40,0$ $\Delta\sigma_D = 23,1$ $\Delta\sigma_L = 12,7$		
	$\tau_{wf} = 12,4$ $\Delta\tau_L = 31,8$		— —
2	<u>Schweißnahtübergang:</u> $\sigma = 56,0$ $\Delta\sigma_D = 51,3$ $\Delta\sigma_L = 28,2$		
3	<u>Schraube:</u> $\tau = 85,8$ $\Delta\tau_L = 39,8$		

**Aufgabe 4:**

Ermüdungsnachweis  
„Schweißnahtwurzel“:

$$N_i = N_D \cdot \left( \frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^m$$

Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	m	$n_i$	$N_i$
Wurzel ( $\Delta\sigma_D = 23,1$ )	$\Delta\sigma_1 = 52$	3	1	
	$\Delta\sigma_2 = 24$	3	1000	
Wurzel ( $\Delta\tau_L = 31,8$ )	$\Delta\tau_1 = 16,12$	-	1	
	$\Delta\tau_2 = 7,4$	-	1000	
Übergang ( $\Delta\sigma_D = 51,3$ )	$\Delta\sigma_1 = 72,8$	3	1	
	$\Delta\sigma_2 = 33,6$	5	1000	
Schraube ( $\Delta\tau_L = 39,8$ )	$\Delta\tau_1 = 111,5$	5	1	
	$\Delta\tau_2 = 51,5$	5	1000	

Lebensdauer:

**Aufgabe 4:**

Ermüdungsnachweis  
„Schweißnahtübergang“:

Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	m	$n_i$	$N_i$
Wurzel ( $\Delta\sigma_D = 23,1$ )	$\Delta\sigma_1 = 52$	3	1	438.325
	$\Delta\sigma_2 = 24$	3	1000	4.458.330
Wurzel ( $\Delta\tau_L = 31,8$ )	$\Delta\tau_1 = 16,12$	-	1	$\infty$
	$\Delta\tau_2 = 7,4$	-	1000	$\infty$
Übergang ( $\Delta\sigma_D = 51,3$ )	$\Delta\sigma_1 = 72,8$	3	1	
	$\Delta\sigma_2 = 33,6$	5	1000	
Schraube ( $\Delta\tau_L = 39,8$ )	$\Delta\tau_1 = 111,5$	5	1	
	$\Delta\tau_2 = 51,5$	5	1000	

Lebensdauer:

**Aufgabe 4:**  
Ermüdungsnachweis  
„Schraube“:

$$N_i = N_L \cdot \left( \frac{\Delta\tau_D}{\Delta\tau_i} \right)^5$$

Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm <sup>2</sup> ]	m	$n_i$	$N_i$
Wurzel ( $\Delta\sigma_D = 23,1$ )	$\Delta\sigma_1 = 52$	3	1	438.325
	$\Delta\sigma_2 = 24$	3	1000	4.458.330
Wurzel ( $\Delta\tau_L = 31,8$ )	$\Delta\tau_1 = 16,12$	-	1	$\infty$
	$\Delta\tau_2 = 7,4$	-	1000	$\infty$
Übergang ( $\Delta\sigma_D = 51,3$ )	$\Delta\sigma_1 = 72,8$	3	1	1.749.556
	$\Delta\sigma_2 = 33,6$	5	1000	41.482.072
Schraube ( $\Delta\tau_L = 39,8$ )	$\Delta\tau_1 = 111,5$	5	1	
	$\Delta\tau_2 = 51,5$	5	1000	

Lebensdauer:

**Nachtrag:**

Nachweis Kranbahnen (nach DIN EN 1991-3):

1. Ermittlung der maximalen ( $\sigma_{max}$ ) und minimalen ( $\sigma_{min}$ ) Spannung für das untersuchte Kerbdetail (Lastgruppe 14)
2. Ermittlung der maximalen Spannungsschwingbreite:

$$\Delta\sigma = |\sigma_{max} - \sigma_{min}|$$

3. Ermittlung eines schadensäquivalenten Beiwertes  $\lambda$  (abhängig von Beanspruchungsklasse)
4. Bestimmung der schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite  $\Delta\sigma_{E,2}$

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Delta\sigma$$

5. Nachweis:

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