

Stahlbau II - SS 2016

9. Vorlesung / Übung

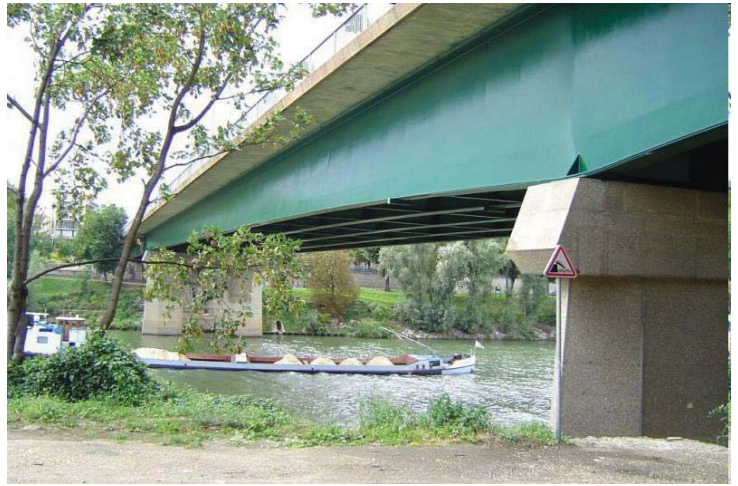
Daniel Pak

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	Biegeknicken von Stabtragwerken, Rahmen Biegedrillknicken
09.06.2016	Sonderfragen der Bemessung	Örtliche Lastenleitung / Rahmenecken
16.06.2016	Ermüdung	Grundlagen, Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
23.06.2016	Ermüdung	Anwendungsverfahren, Berechnungsbeispiele
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
DIN EN 1993-1-9:2010 + **NA**



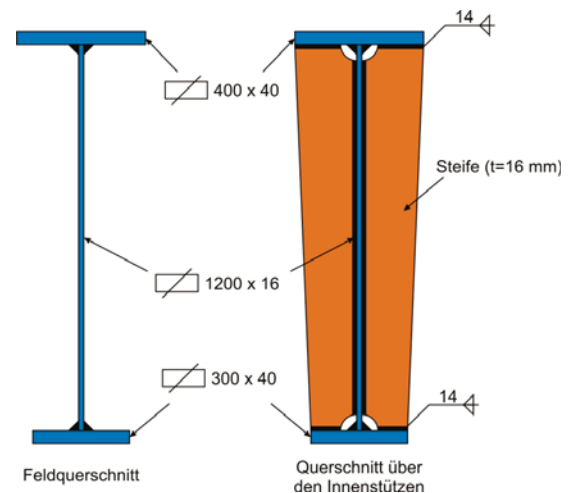
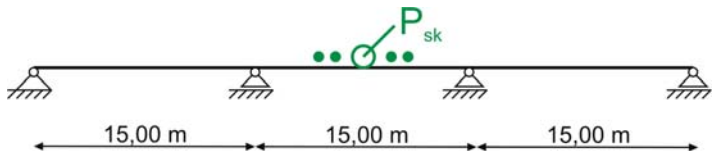
Weitere Literatur

- 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

Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

Aufgabe 3:

Vorgehen:

- Identifikation / Klassifizierung der Kerbdetails

Folgendes für jedes Kerbdetail:

- Einwirkung:

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

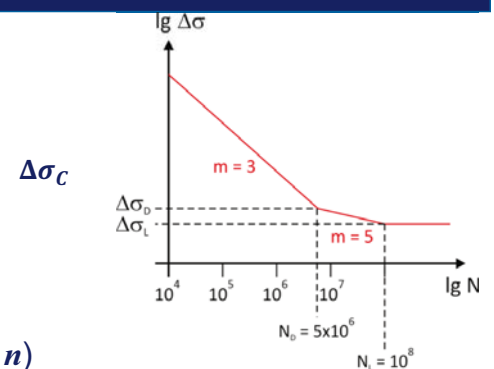
- Schnittgrößen-Zeitverläufe am Kerbdetail
- Spannungs-Zeitverläufe (hierzu: Ermittlung der Querschnittswerte)
- Rainflow-Analyse (Spektrum der Spannungsschwingbreiten)

- Widerstand:

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

- Ermittlung der Wöhlerlinien
- Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen

- Nachweis: Schadensakkumulation D



$M(t)$

$\sigma(t)$

$\Delta\sigma_i, n_i$

$\Delta\sigma_D, \Delta\sigma_L$

N_i

Aufgabe 3 a):

Kerbfallklassifizierung Steife im Stützbereich:

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

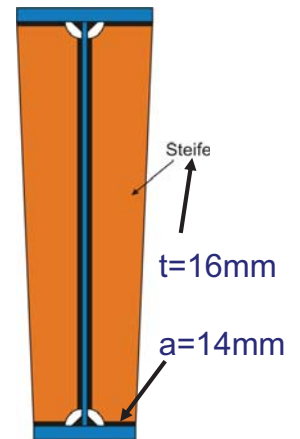
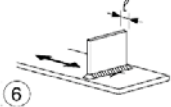
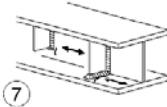
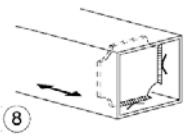
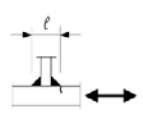
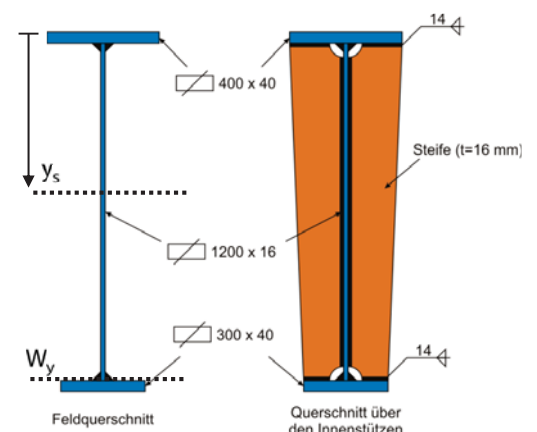


Tabelle 8.4 nach DIN EN 1993-1-9

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

Aufgabe 3 a):

Querschnittswerte (zur Ermittlung von Spannungen aus Momenten)



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



Dreifeldträger

Einflusslinien der Momente
Momentenlinien

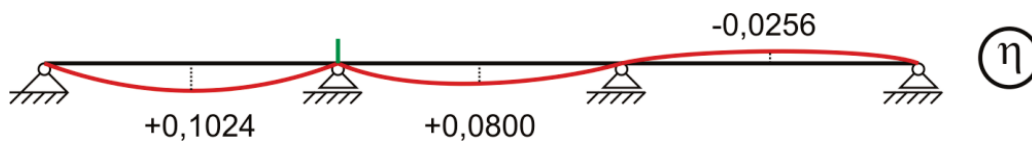
1:1,00:1

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

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

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

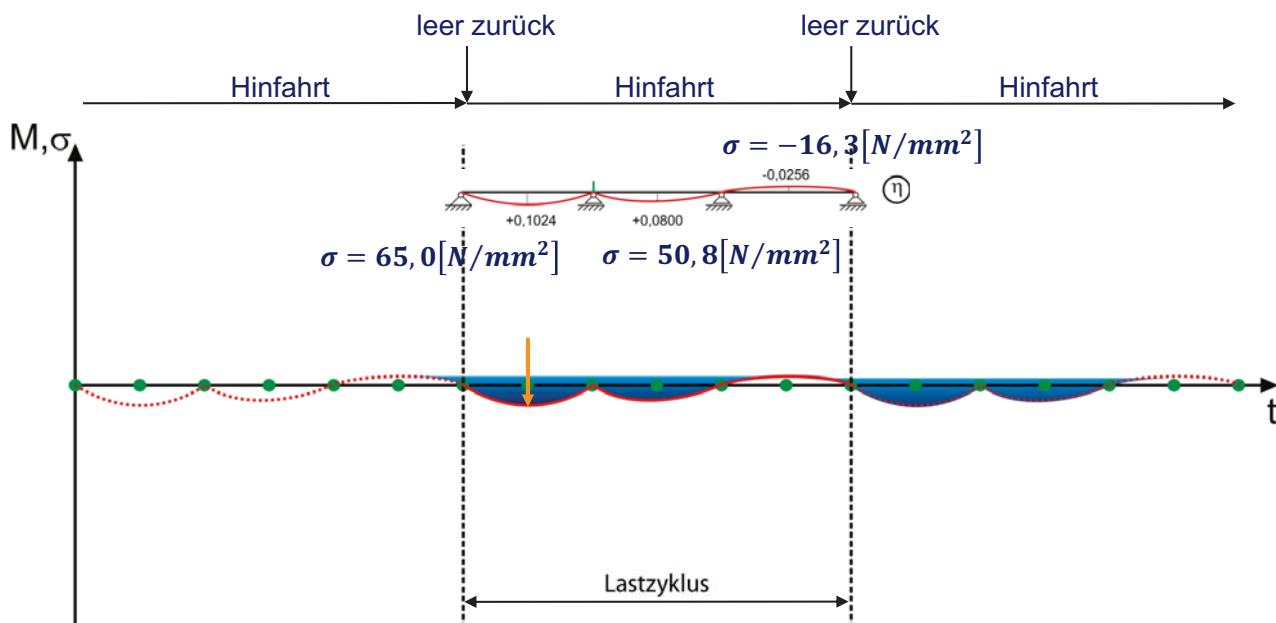
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000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

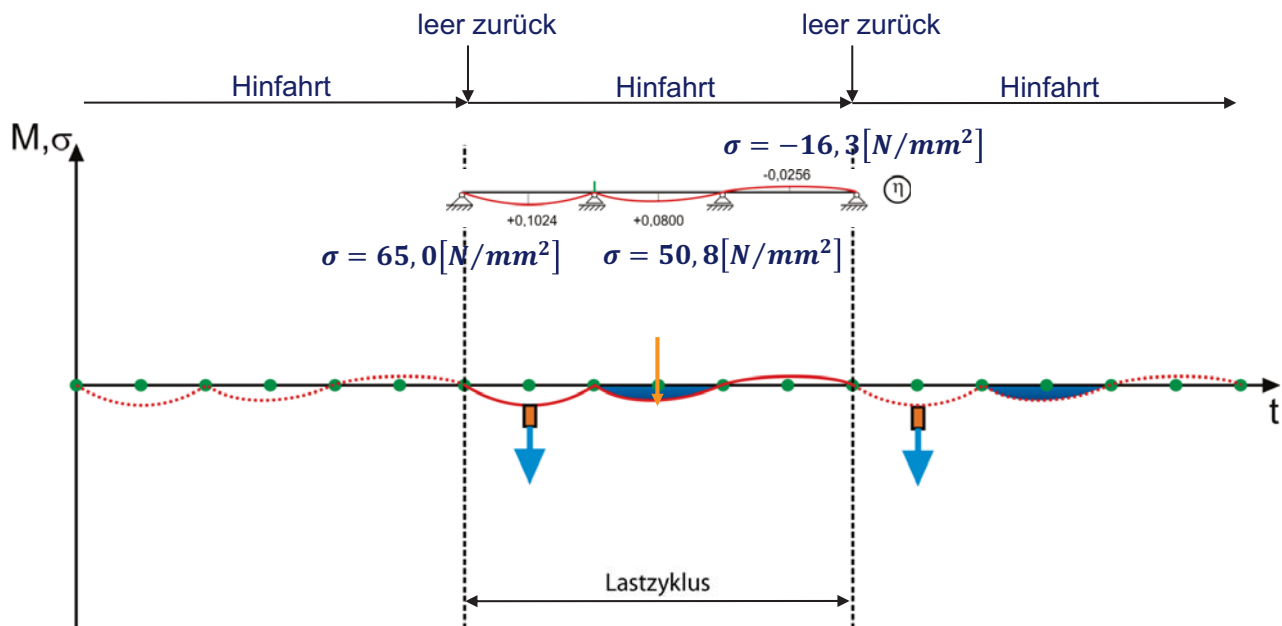
Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

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



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

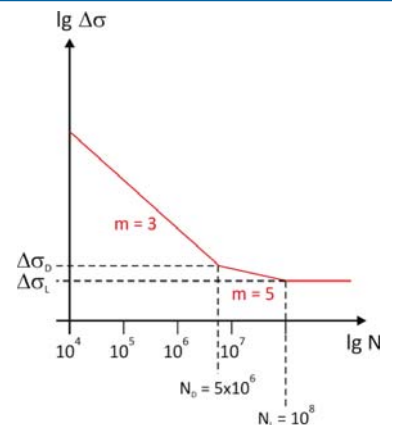
Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten (Stützbereich)



Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

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

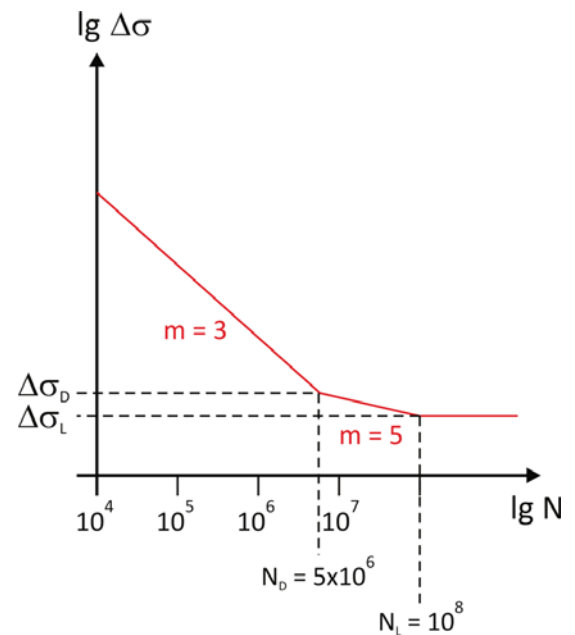
Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten



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)

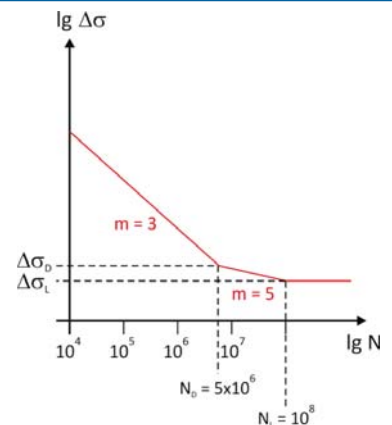
Schadensakkumulation: Anzahl der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen N_i



Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

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

Schadensakkumulation: Anzahl der Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen N_i



Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm ²]	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 ²]	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

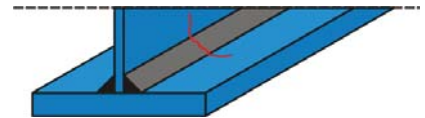


Tabelle 8.2 nach DIN EN 1993-1-9

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
125		Durchgehende Längsnahte: 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.
112		3) Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte Doppelkehlnahte oder beidseitig durchgeschweißte Nähte, beide mit Ansatzstellen. 4) Mit Automaten oder voll mechanisiert einseitig durchgeschweißte Naht mit nicht unterbrochener Schweißbadsicherung, aber ohne Ansatzstellen.	4) Weist dieser Kerbfall Ansatzstellen auf, ist er der Kerbgruppe 100 zuzuordnen.

Kerbfälle 1) und 2):

Es dürfen keine Schweißansatzstellen vorhanden sein, ausgenommen bei Durchführung einer Reparatur mit anschließender Überprüfung der Reparaturschweißung.

3) Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte Doppelkehlnahte oder beidseitig durchgeschweißte Nähte, beide mit Ansatzstellen.

➔ Nachweis über der Stütze und im Feld

17

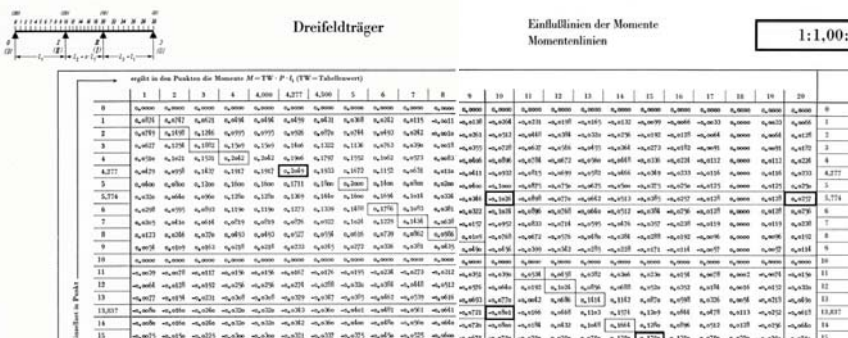
Stahlbau II / Sommersemester 2016



Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

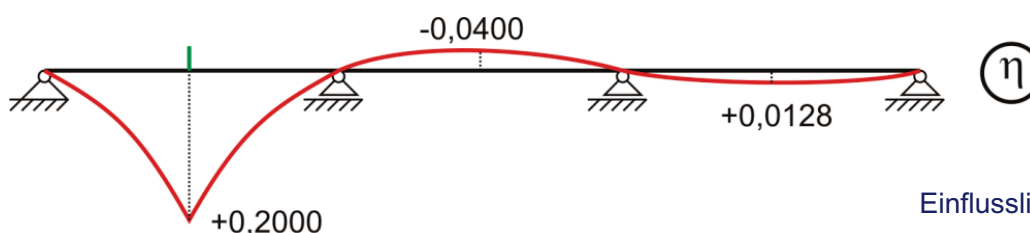
Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Ermittlung des Spannungs-Zeitverlaufs im Feld



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

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



Einflusslinie Endfelder
(Endfeld ungünstiger als Mittelfeld)

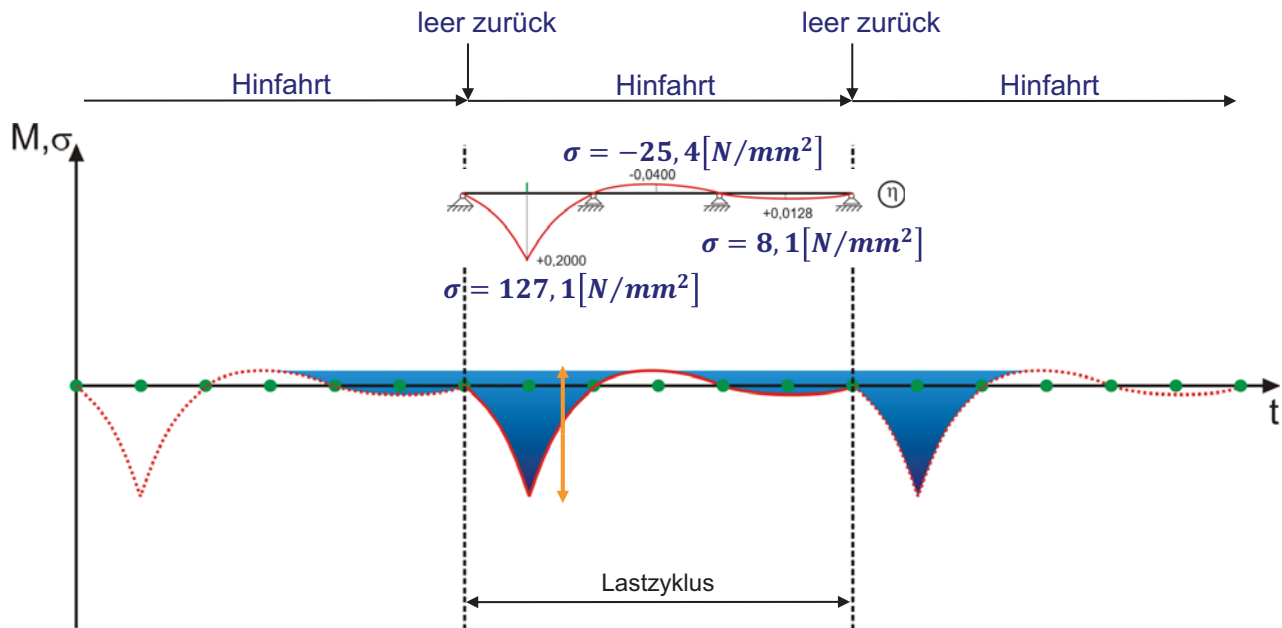
18

Stahlbau II / Sommersemester 2016



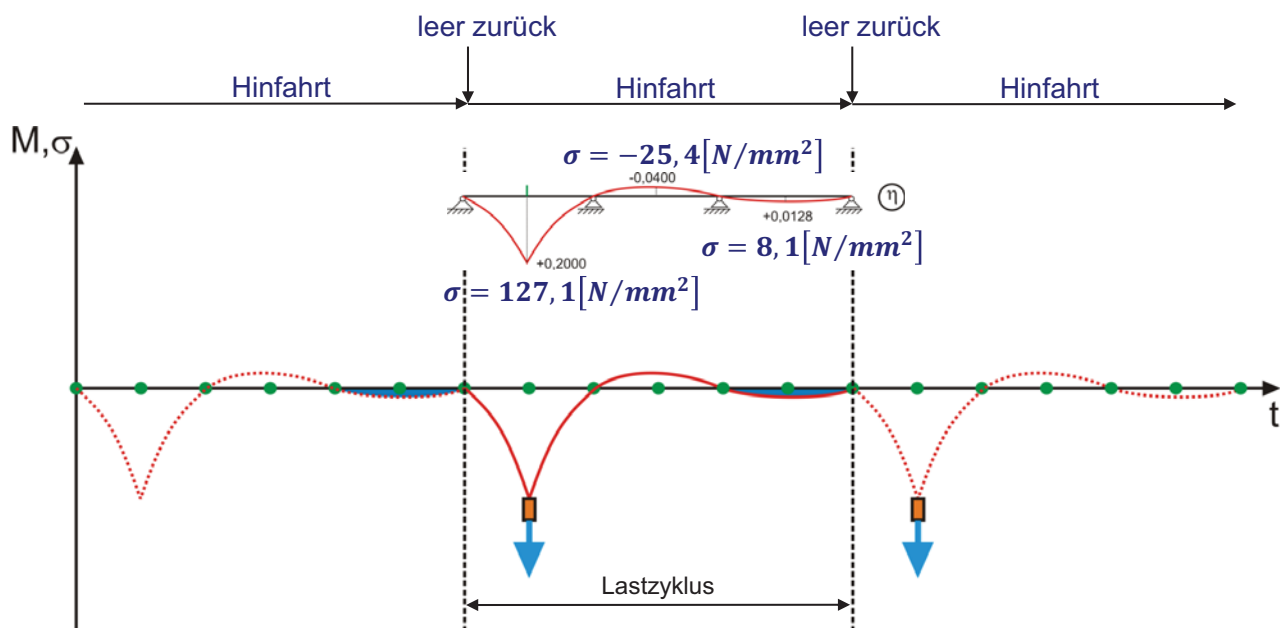
Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten (Feldbereich)



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

Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten (Feldbereich)

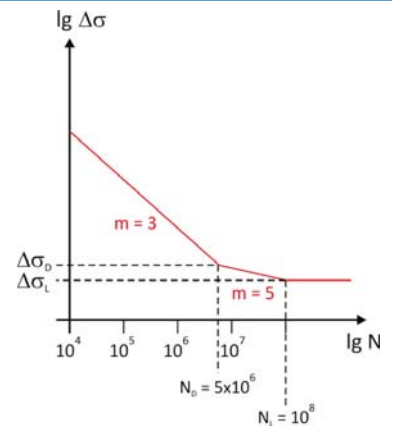


Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

Rainflow-Methode: Spektrum der Spannungsschwingbreiten

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

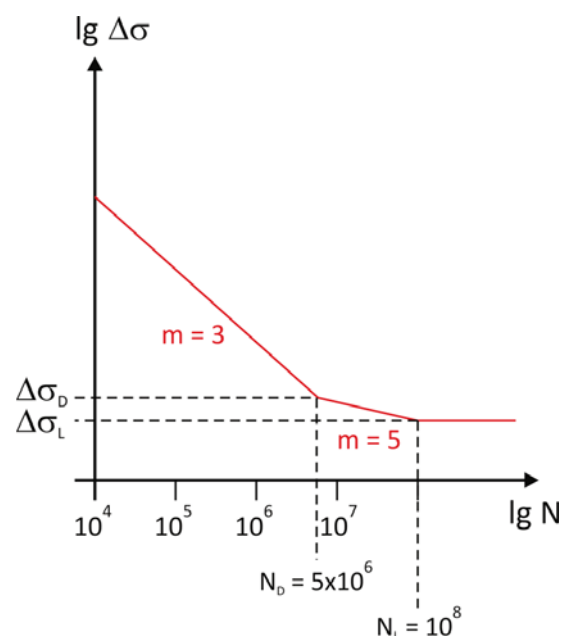
Überfahrten innerhalb von 10 Jahren



Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm ²]	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	$4,38 \cdot 10^5$	

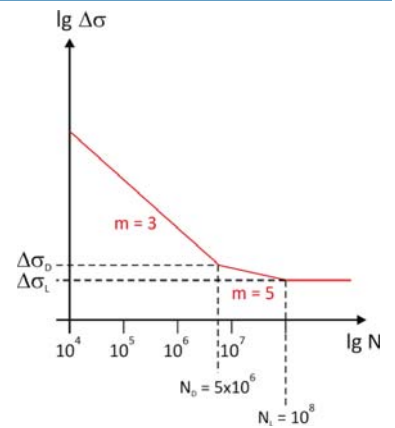
Aufgabe 3 a): (Kerbfall 112, Längsnaht im Feld- und Stützbereich)

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 ²]	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 ²]	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	$4,38 \cdot 10^5$	∞
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:

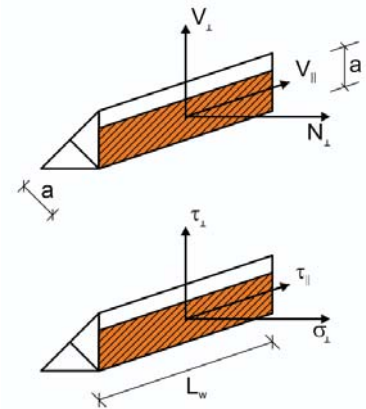
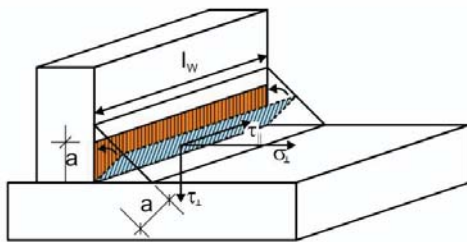
Aufgabe 3 b):

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

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

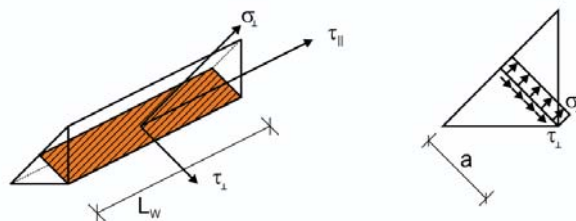
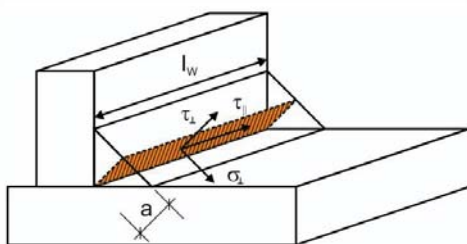
Es werden im EC 3 zwei Nachweisverfahren unterschieden:

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



- 2. Richtungsbezogenes Verfahren** (genauere Methode)

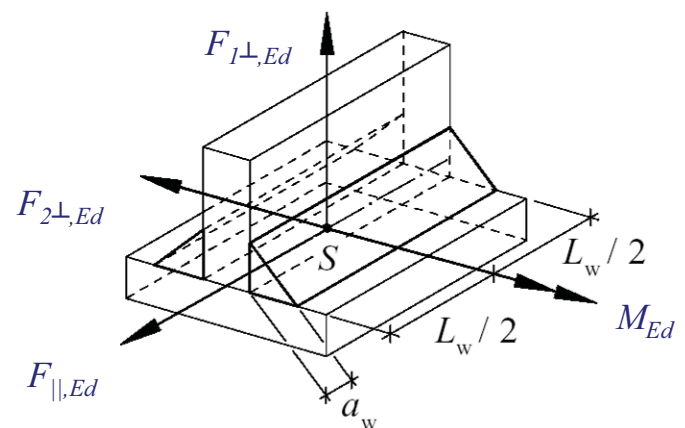
Vergleichsspannungsnachweis, bei dem die Spannungen auf die Kehlnahtfläche (Winkelhalbierende) bezogen werden (vgl. DIN EN 1993-1-8, 4.5.3.2).



Es werden im EC 3 zwei Nachweisverfahren unterschieden:

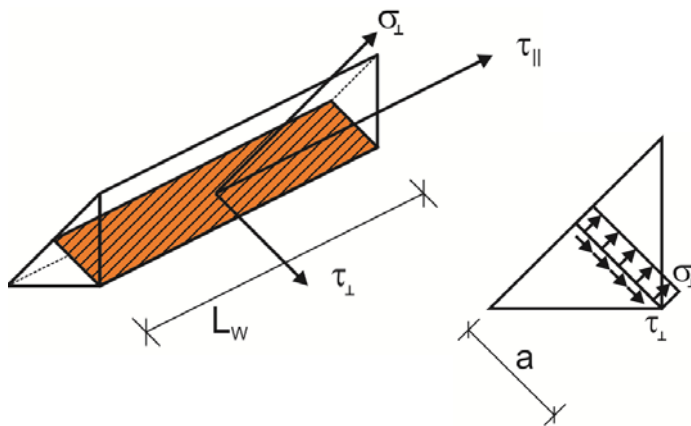
- 1. Grenzkraft pro Längeneinheit** (vereinfachter Nachweis), vgl. DIN EN 1993-1-8, 4.5.3.3.

- 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



- τ_{\perp} Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche \perp zur Längsachse der Naht
- τ_{\parallel} Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche \parallel zur Längsachse der Naht
- σ_{\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:

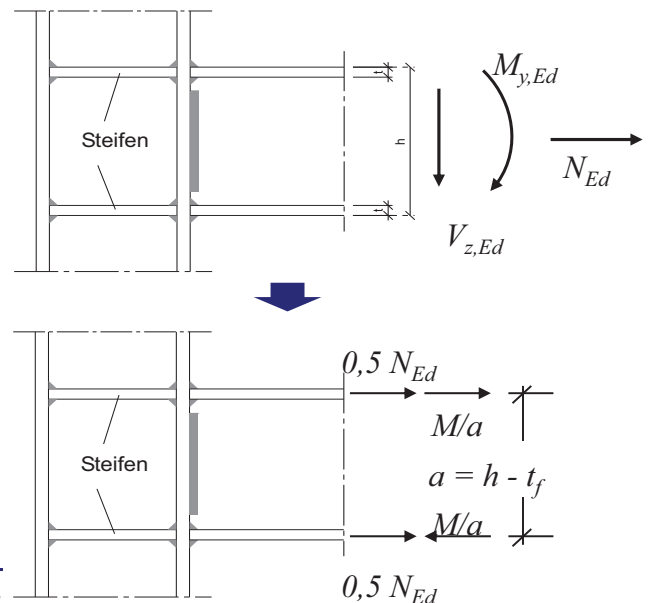
$$F_{\parallel,Ed} = V_{z,Ed} \quad \tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{A_{w,Steg}}$$

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

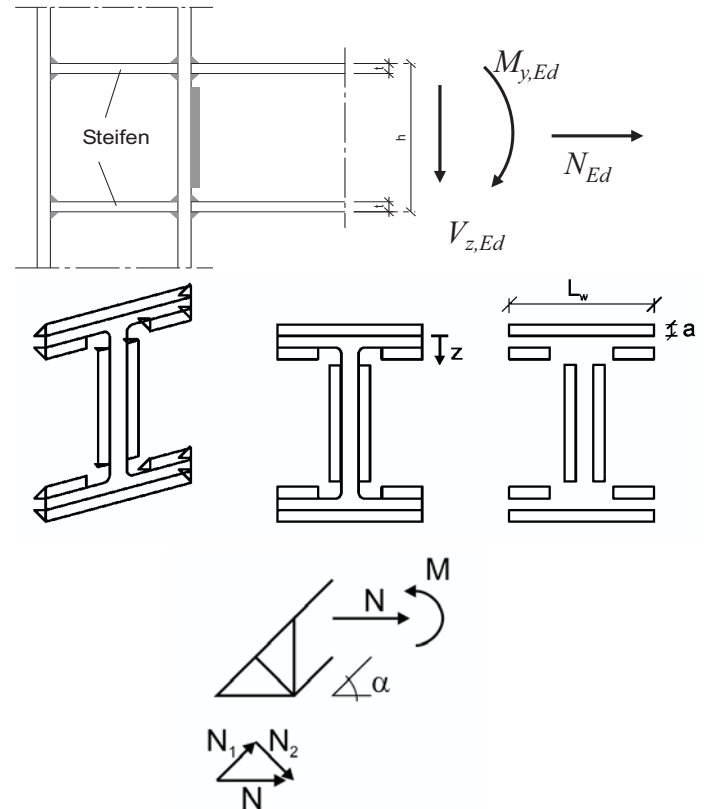
$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{w,Steg}}$$

$M_{Ed} \rightarrow$ entsprechend Normalspannungsverteilung

$N_{Ed} \rightarrow$ entsprechend Normalspannungsverteilung

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

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



Wiederholung: Schweißnahtberechnung

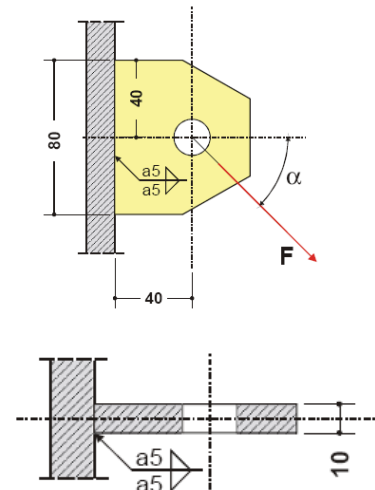
Aufgabe Wiederholung 1:

gegeben:

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

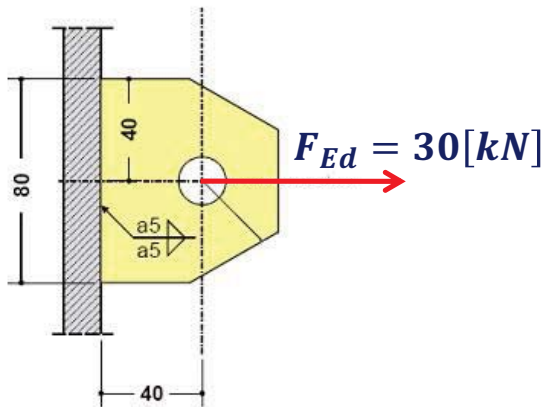
gesucht:

- 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:

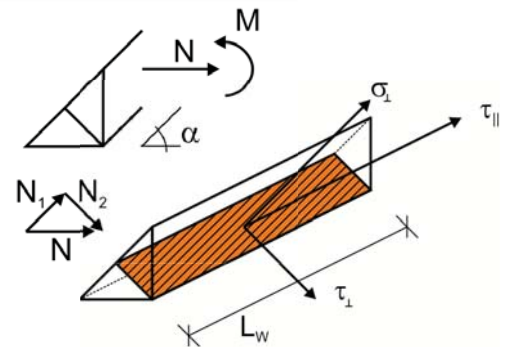
a) Einwirkung senkrecht zur Anschlussebene ($\alpha = 0^\circ$)



Einwirkung je Naht:

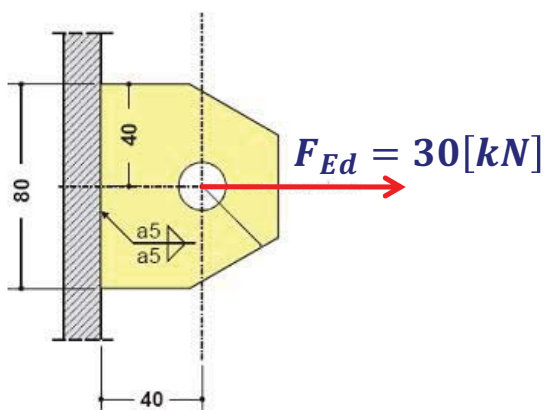
Nahtfläche je Schweißnaht:

Schweißnahtspannungen:



Aufgabe Wiederholung 1:

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



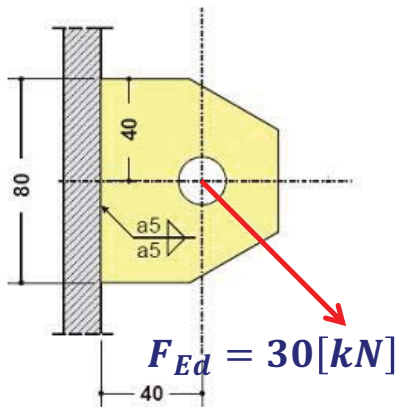
Schweißnahtspannungen:

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

Vergleichsspannungen und Nachweise:

Aufgabe Wiederholung 1:

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



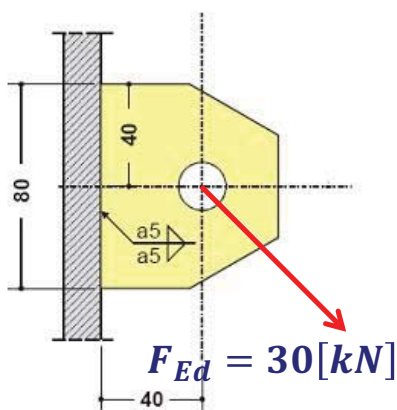
Einwirkung je Naht:

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:

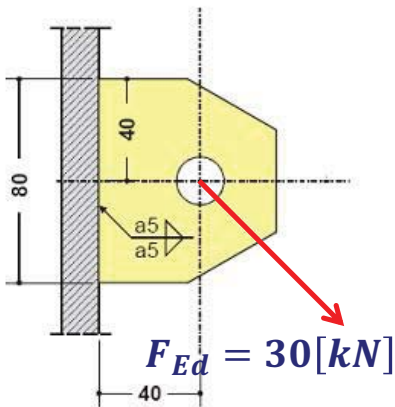
$$A_w = 400[mm^2], I_w = 213.333[mm^4]$$

Schweißnahtspannungen aus Querkraft:

Schweißnahtspannungen aus Biegemoment:

Aufgabe Wiederholung 1:

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

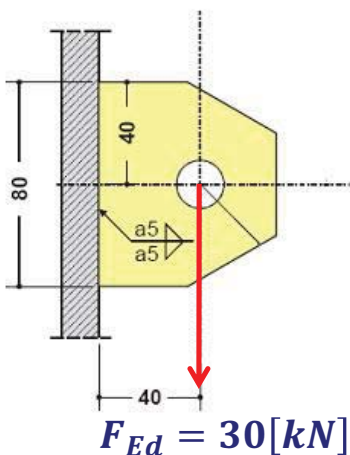


Schweißnahtspannungen:

Vergleichsspannungen und Nachweise:

Aufgabe Wiederholung 1:

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



Einwirkung je Naht:

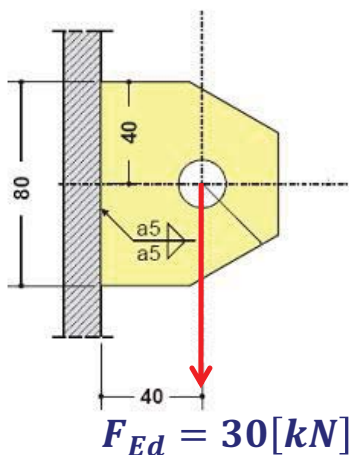
Querschnittswerte je Schweißnaht:

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

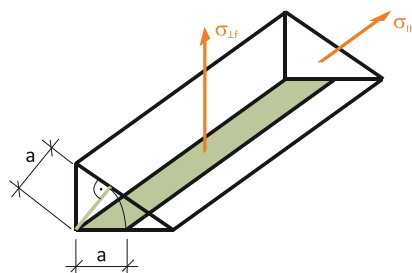
Die maßgebenden Spannungen in den Schweißnähten sind:

die Längsspannungen σ_{wf} quer zur Nahtachse

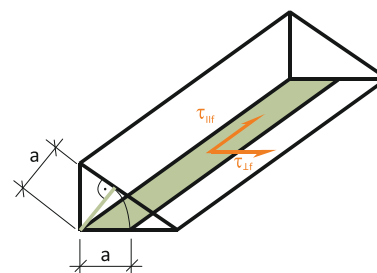
$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2}$$

die Schubspannungen τ_{wf} längs der Nahtachse

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



maßgebende Spannungen σ_i



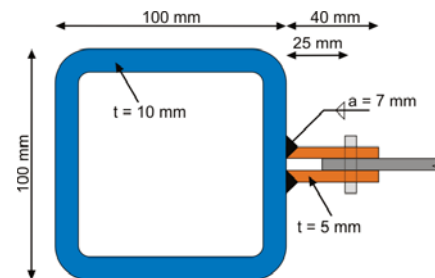
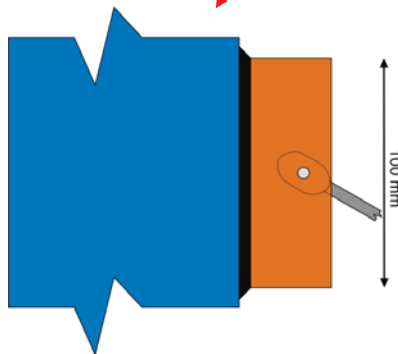
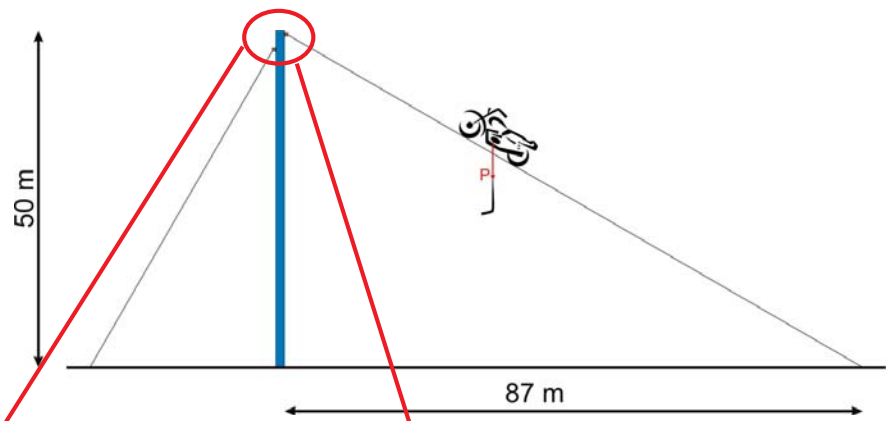
maßgebende Spannungen τ_i

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:



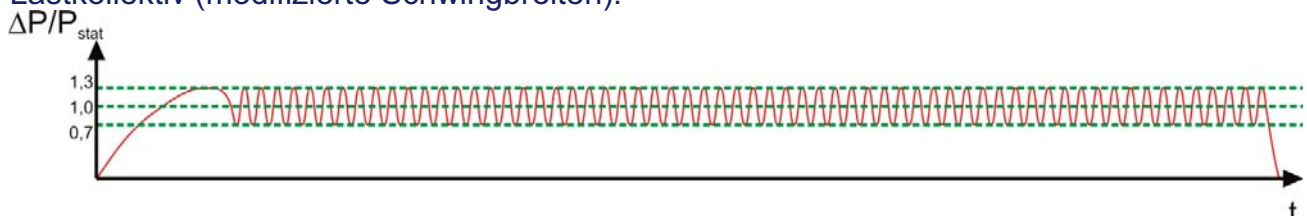
Aufgabe 4:

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 $\Delta\sigma_i$

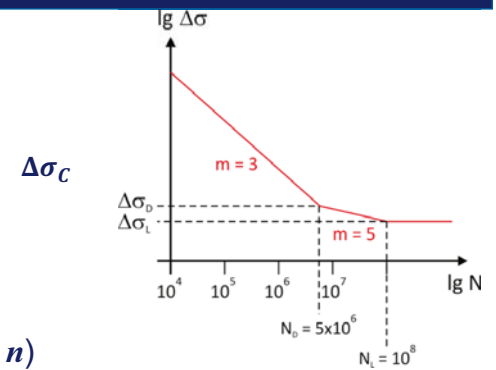
a. Ermittlung der Wöhlerlinien

$\Delta\sigma_D, \Delta\sigma_L$

b. Spannungsschwingbreiten bis zum Versagen

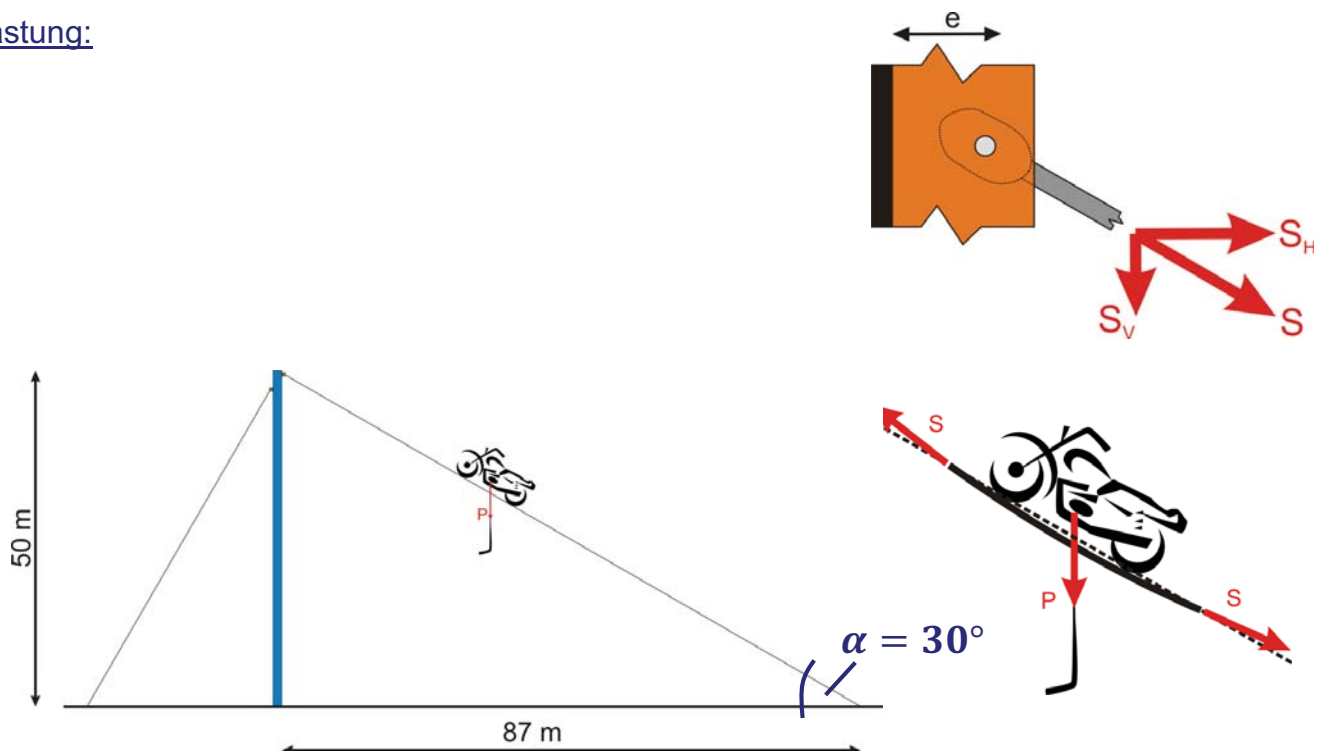
N_i

4. Nachweis: Schadensakkumulation D



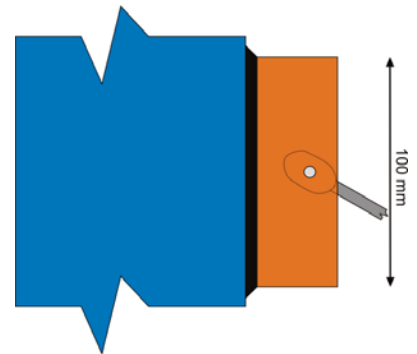
Aufgabe 4:

Belastung:

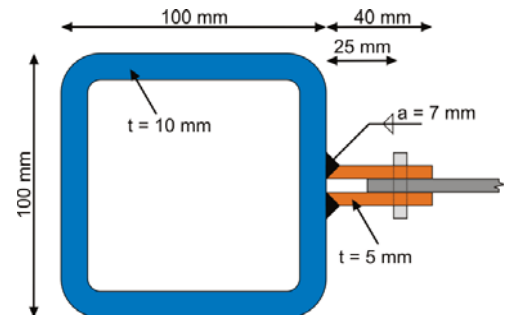


Aufgabe 4:

Querschnittswerte, Blech:



Querschnittswerte, Schweißnaht:



Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

Aufgabe 4:

Kerbdetail, Schweißnaht:

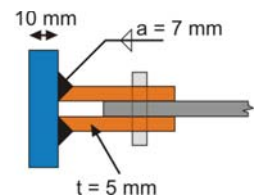
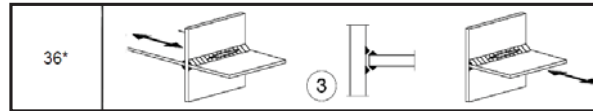


Tabelle 8.5 nach DIN EN 1993-1-9

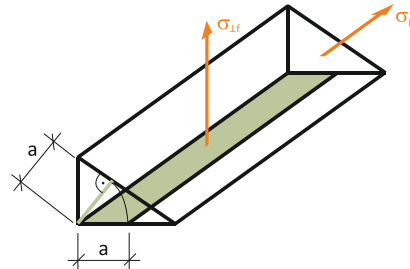
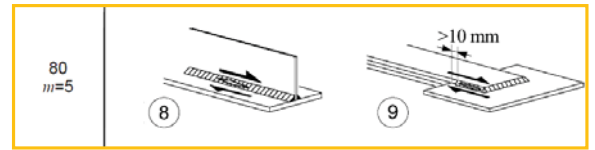
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
80	$\ell < 50$ alle r	Kreuz- und T-Stöße: 1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten.	1) Nach Prüfung frei von Diskontinuitäten und Exzentrizitäten außerhalb der Toleranzen nach EN 1090. 2) $\Delta\sigma$ ist mit korrigierten Nennspannungsschwingbreiten zu ermitteln. 3) Es sind 2 Ermüdungsnachweise erforderlich: zum einen der Nachweis gegen Riss der Schweißnahtwurzel mit Spannungen nach Abschnitt 5 mit Kerbgruppe 36* für σ_w und Kerbgruppe 80 für σ_m , zum anderen der Nachweis des Nahtüberganges mit Bestimmung von $\Delta\sigma$ in den belasteten Blechen.
71	$50 < \ell \leq 80$ alle r		
63	$80 < \ell \leq 100$ alle r		
56	$100 < \ell \leq 120$ alle r		
56	$\ell > 120$ $r \leq 20$		
50	$120 < \ell \leq 200$ $r > 20$ $\ell > 200$ $20 < r \leq 30$		
45	$200 < \ell \leq 300$ $r > 30$ $\ell > 300$ $30 < r \leq 50$		
40	$\ell > 300$ $r > 50$		
wie Kerbfall 1 in Tabelle 8.5	verformbares Anschlussblech	2) Riss am Schweißnahtübergang, ausgehend von der Kante des Anschlussbleches, mit Spannungskonzentrationen an den Schweißnahtenden infolge Blechverformungen.	Kerbfälle 1) bis 3): Die Ausmittigkeit der belasteten Bleche muss $\leq 15\%$ der Dicke des Zwischenblechs sein.
36*		3) Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen oder Kehlnähten oder in T-Stößen nach Bild 4.6 in EN 1993-1-8:2005.	

Aufgabe 4:

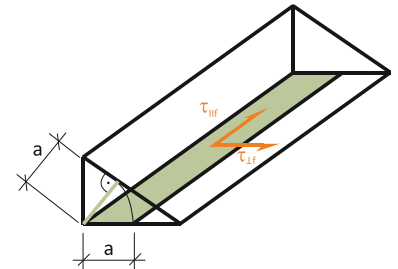
Kerbdetail, Schweißnaht:



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



maßgebende Spannungen σ_f



maßgebende Spannungen τ_f

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

Die maßgebenden Spannungen in den Schweißnähten sind:

die Längsspannungen σ_{wf} quer zur Nahtachse

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

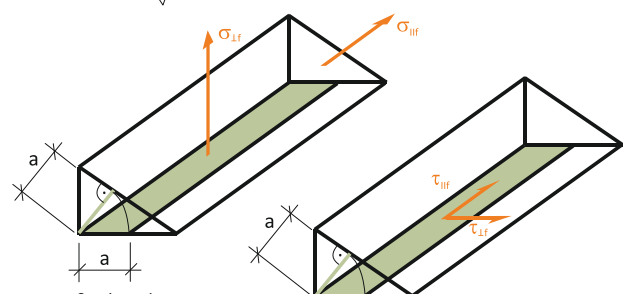
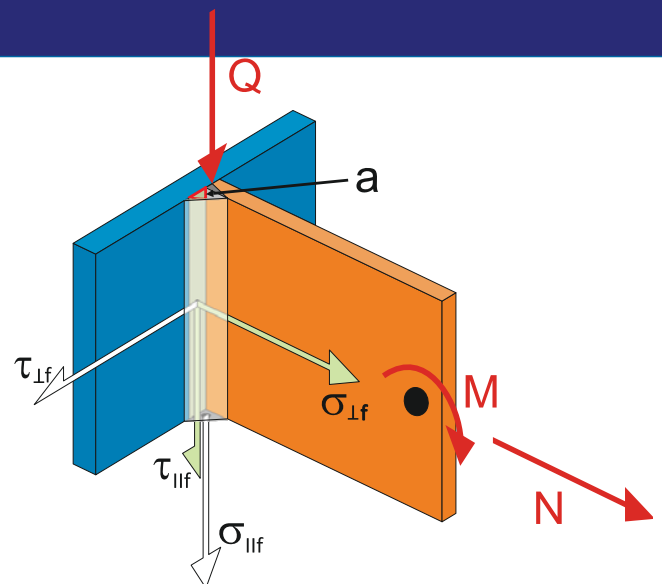
die Schubspannungen τ_{wf} längs der Nahtachse

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

Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

Aufgabe 4:

Schweißnahtwurzel:



maßgebende Spannungen σ_f

maßgebende Spannungen τ_f

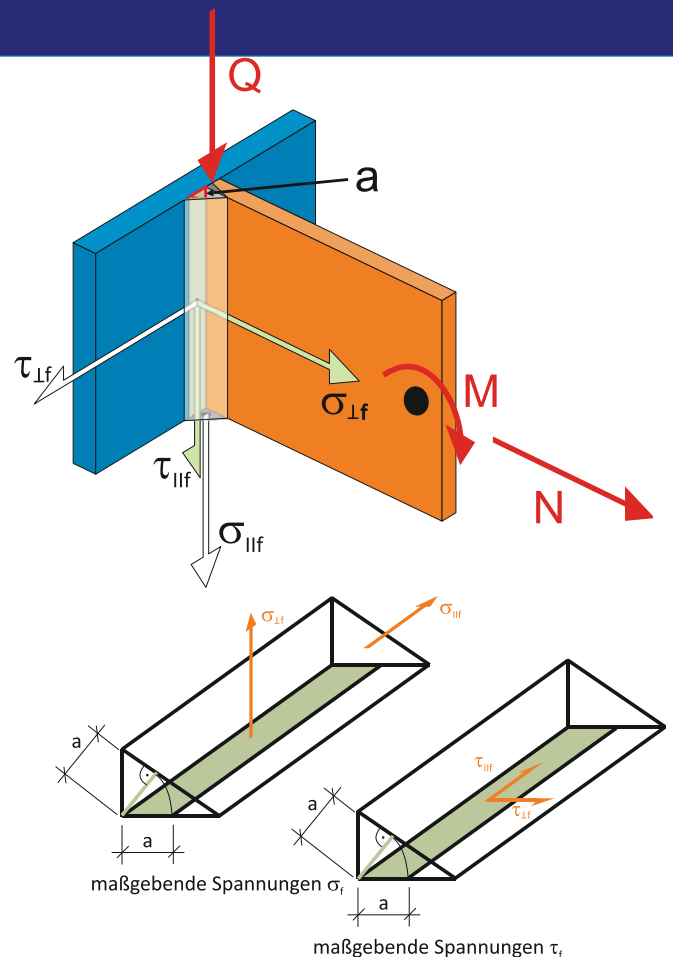
Aufgabe 4:

Schweißnahtwurzel:

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

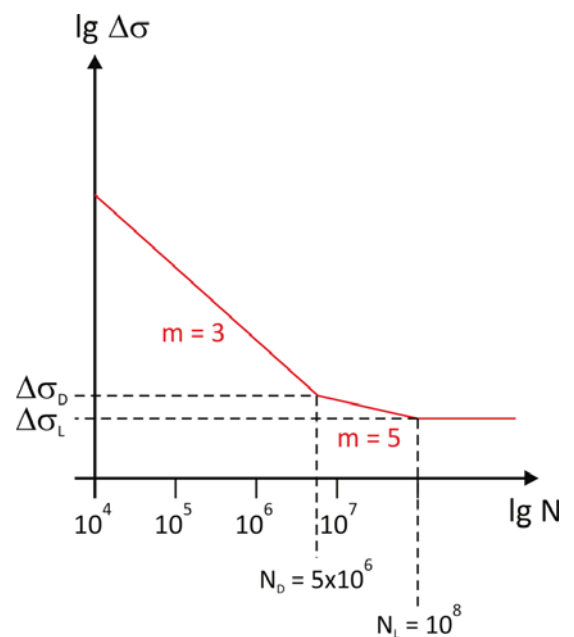
$$\sigma_{\perp f} = 40,0 [N/mm^2]$$

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



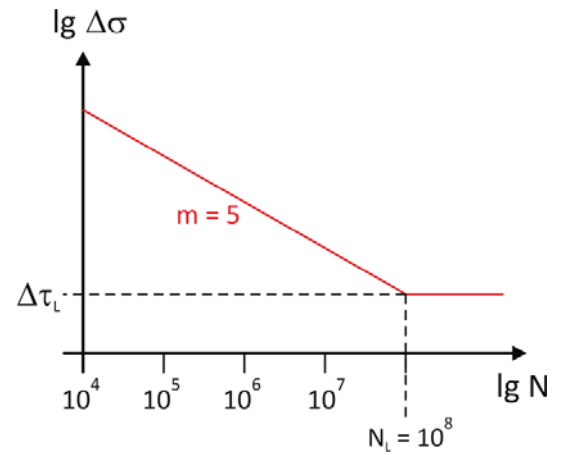
Aufgabe 4:

Spannungsschwingbreiten Schweißnahtwurzel (Kerbfall 36 für σ_w):



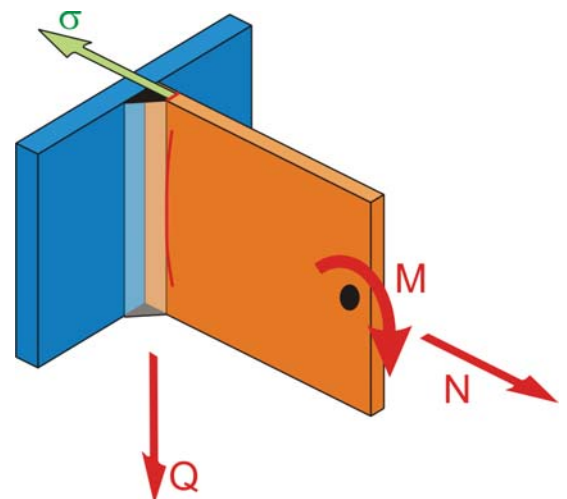
Aufgabe 4:

Spannungsschwingbreiten Schweißnahtwurzel (Kerbfall 80 für τ_w):



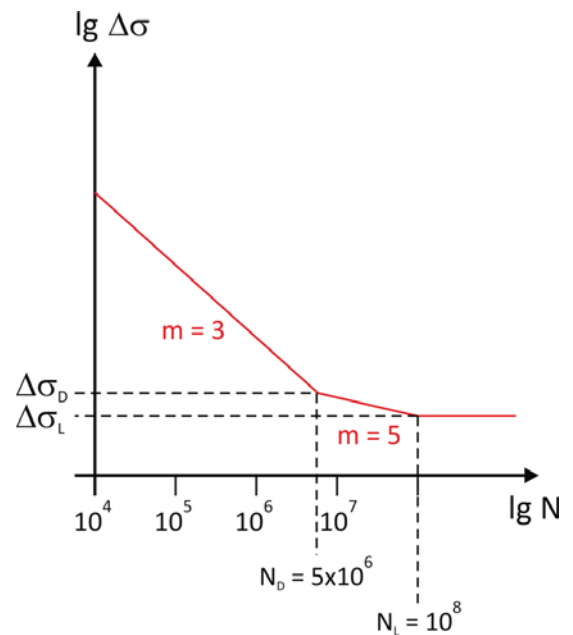
Aufgabe 4:

Schweißnahtübergang:



Aufgabe 4:

Spannungsschwingbreiten Schweißnahtübergang (Kerbfall 80 für σ):



Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

Aufgabe 4:

Schraube:

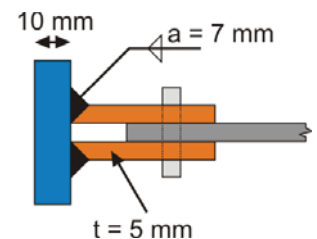
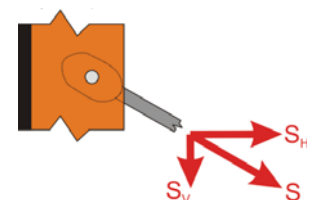


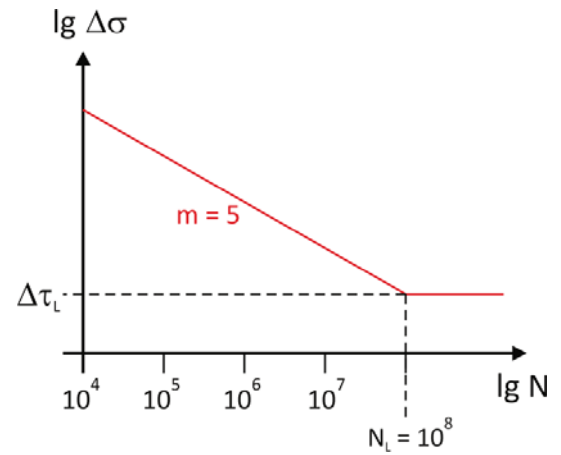
Tabelle 8.1 nach DIN EN 1993-1-9

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



Aufgabe 4:

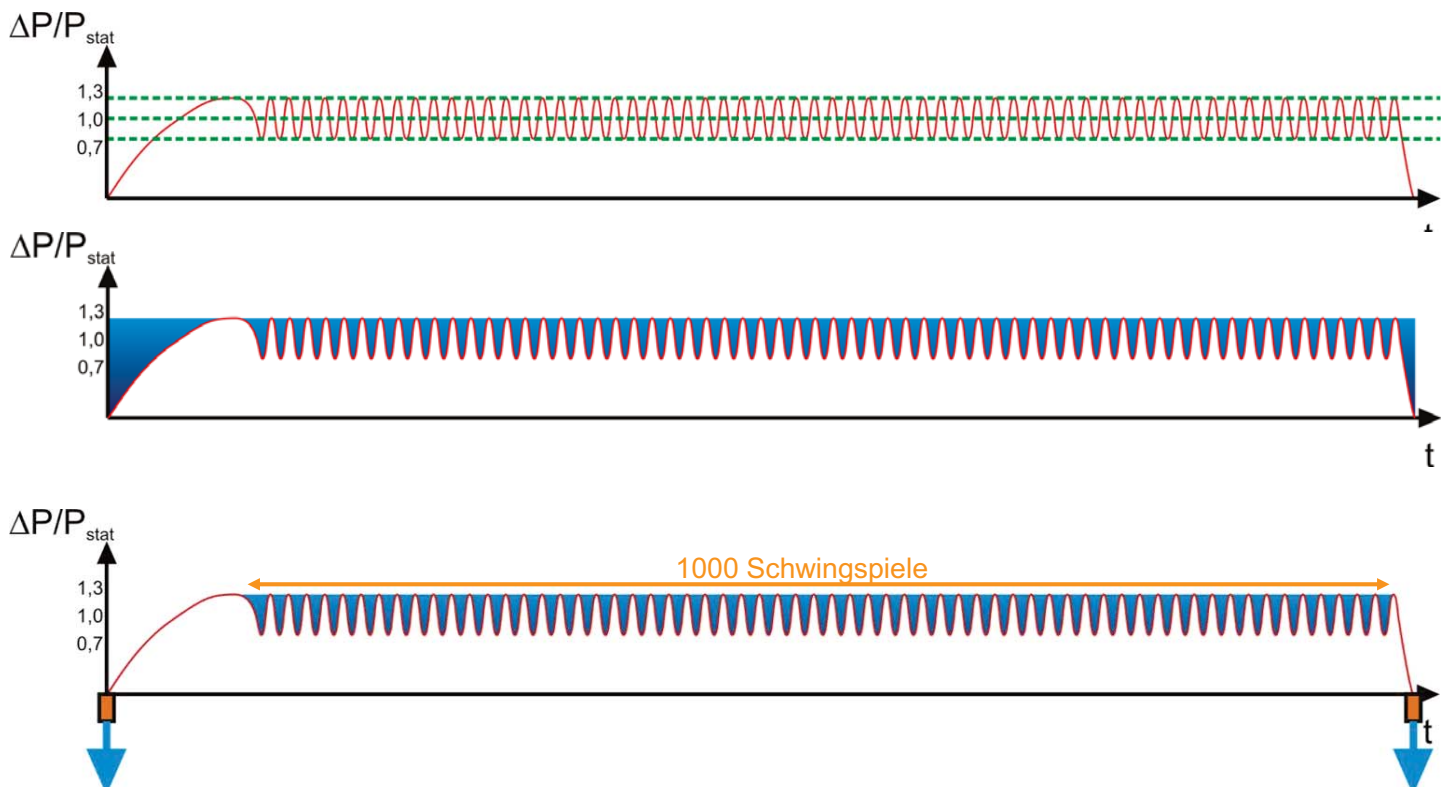
Spannungsschwingbreiten Schraube (Kerbfall 100 für τ):



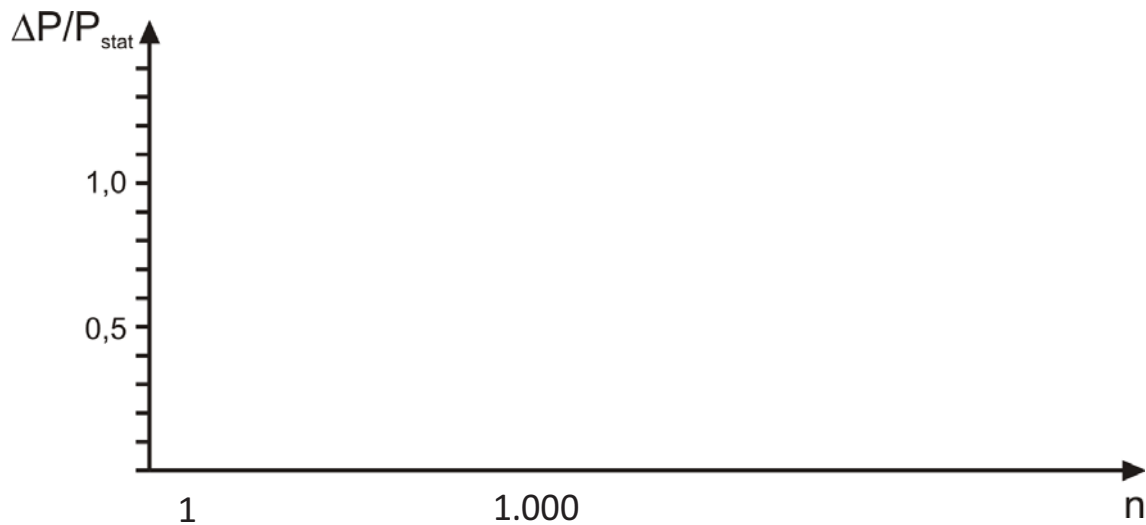
Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

Aufgabe 4:

Spannungsschwingbreiten (Reservoir - Methode):



Aufgabe 4:
Lastkollektiv:



Aufgabe 4: Spannungskollektiv:

	Position	$\Delta\sigma_i$ [N/mm ²], $\Delta\tau_i$ [N/mm ²],	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 ²]	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 ²]	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	∞
	$\Delta \tau_2 = 7,4$	-	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
„Schraube“:

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

Position	$\Delta \sigma_i$ [N/mm ²]	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	∞
	$\Delta \tau_2 = 7,4$	-	1000	∞
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:

Ermüdungsnachweis nach DIN EN 1993-1-9

Nachtrag:

Nachweis Kranbahnen (nach DIN EN 1991-3):

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

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

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

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

5. Nachweis:

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