



DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG

Stahlbau

25. Juli 2008

Name:

Matrikelnummer:

Prüfungszeit: 120 min

Aufgabe:	1	2	3	4
Erreichte Punktzahl:				

Abgegebene Blätter:	
---------------------	--

Aufgabe 1**35 min**

Gegeben ist die unten dargestellte Konstruktion aus Stützen HE 400 B und einem Träger aus einem warmgefertigten Hohlprofil RHP 260 x 260 x 10 mm.

- Weisen Sie die Trägfähigkeit des Trägers RHP 260 x 260 x 10 mm nach.
- Konstruieren und bemessen Sie den biege- und torsionssteifen Anschluss des Trägers RHP 260 x 260 x 10 mm an die Stütze HE 400 B. Diese Verbindung soll lösbar ausgeführt werden.
- Fertigen Sie eine maßstäbliche Zeichnung der Konstruktion in Anlage 1 an.

Angaben:

Werkstoff: S355

$F_d = 150 \text{ kN}$

Stütze: HE 400 B

Träger: warmgefertigtes Quadrathohlprofil 260 x 260 x 10 mm, $W_T = C_T$

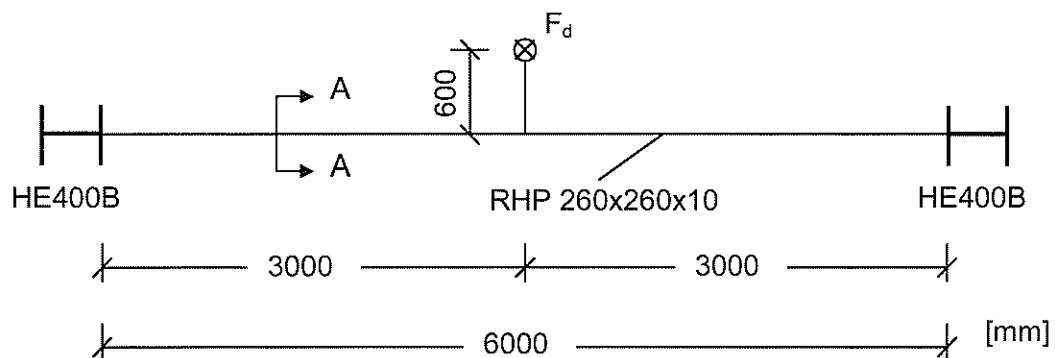
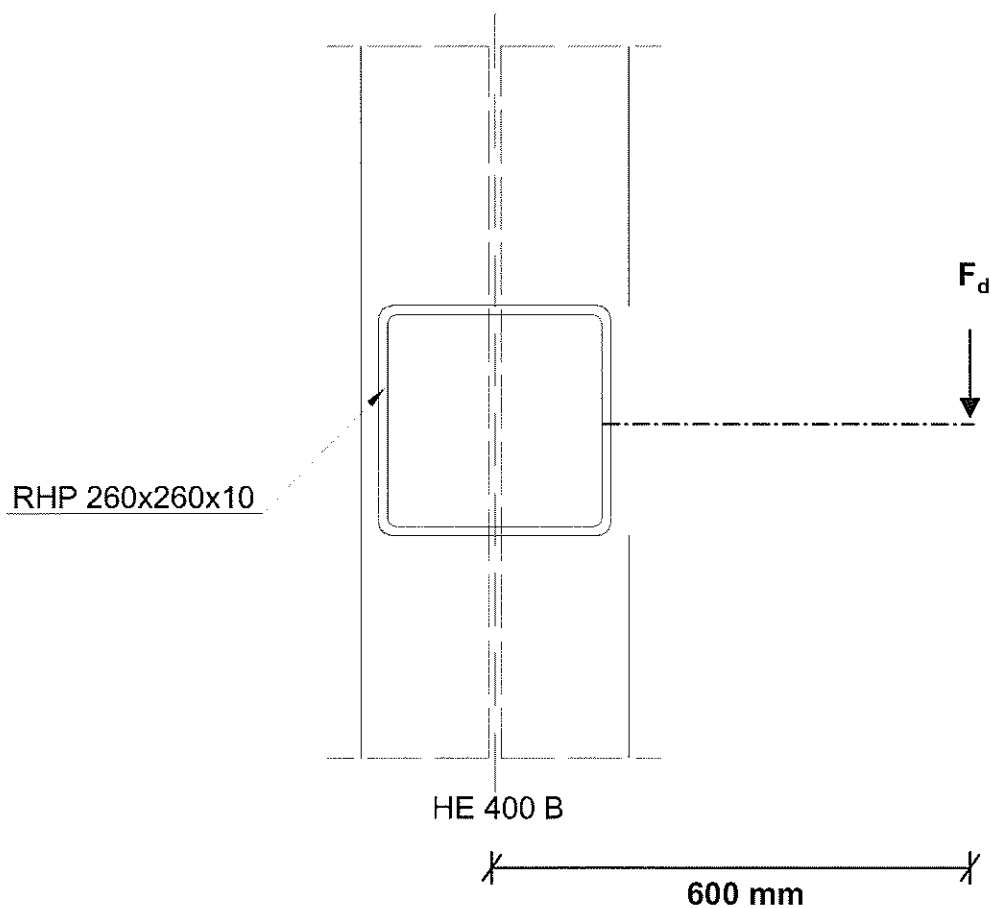


Abbildung 1.1: Draufsicht auf die Konstruktion

Hinweise:

- Die Lasteinleitungsstelle der Kraft F_d ist NICHT nachzuweisen.
- Für die Bemessung des biegesteifen Anschlusses des quadratischen Hohlprofils an die Stütze soll auf der sicheren Seite liegend von einer starren Einspannung ausgegangen werden.
- Für den Nachweis des Trägers darf ebenfalls von einer starren Einspannung ausgegangen werden.
- Schweißnähte können mit $a = 1,1 \cdot t$ ohne weitere Nachweise ausgeführt werden.
- Das Eigengewicht darf vernachlässigt werden.
- Die Stützen sind NICHT nachzuweisen.
- Das Schubfeld im Anschlussbereich ist NICHT nachzuweisen.

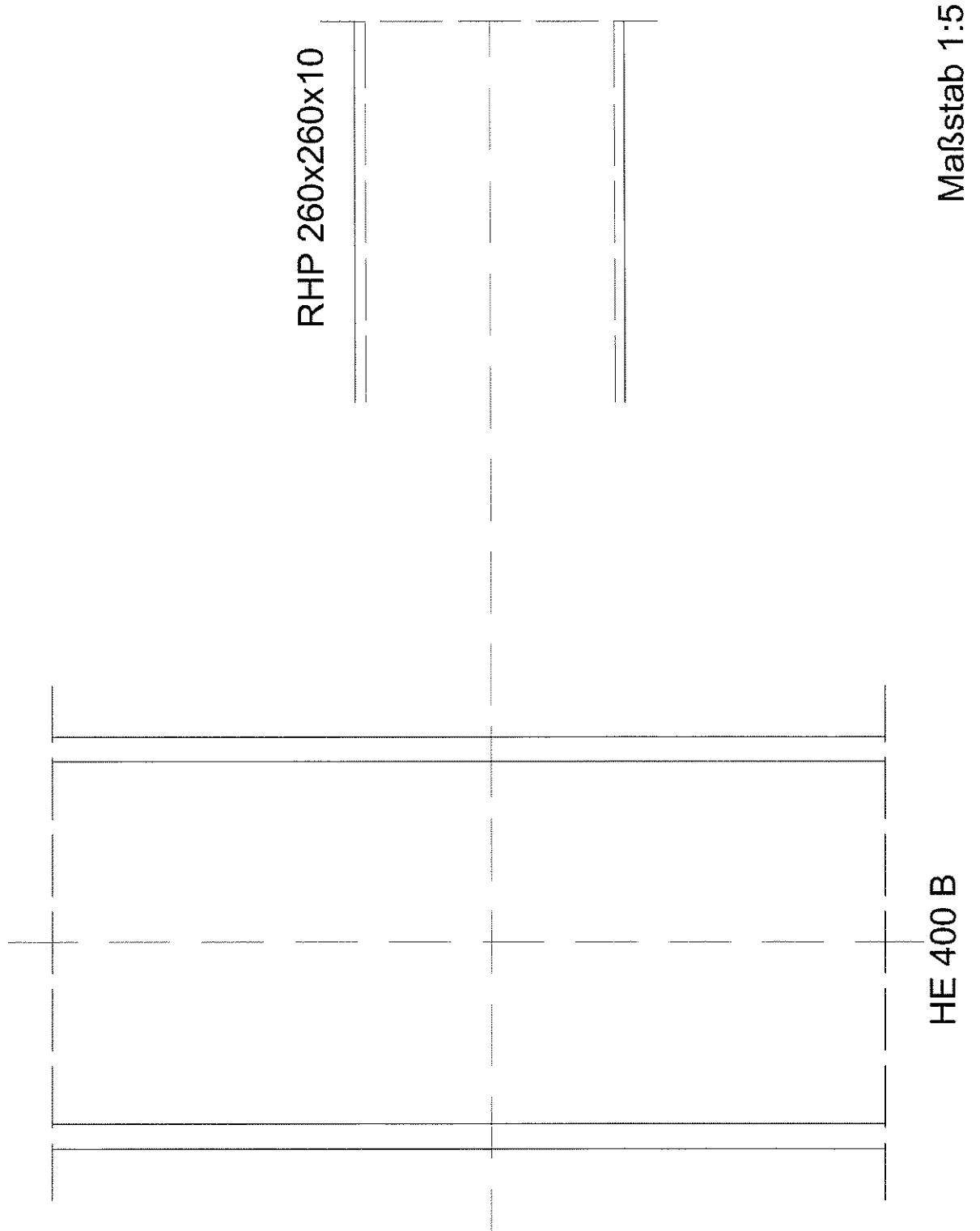
**Abbildung 1.2: Schnitt A-A**

EN 10210-2:2006 (D)

Tabelle B.2 (fortgesetzt)

Nenn- größe	Nenn- wand- dicke	Längen- bezogene Masse	Quer- schnitts- fläche	Flächen- moment 2. Grades	Träg- heits- radius	Elas- tisches Wider- stands- moment	Plas- tisches Wider- stands- moment	Torsions- träg- heits- konstante	Kon- stante des Tor- sions- moduls	Man- tel- fläche je m Länge	Nenn- länge je t
B mm	T mm	M kg/m	A cm ²	I cm ⁴	i cm	W_{el} cm ³	W_{pl} cm ³	I_t cm ⁴	C_t cm ⁵	F_t m ² /m	m
180	5,0	27,3	34,7	1765	7,13	195	227	2718	290	0,707	36,7
180	6,3	34,0	43,3	2168	7,07	241	281	3361	355	0,704	29,4
180	8,0	42,7	54,4	2661	7,00	295	349	4162	434	0,699	23,4
180	10,0	52,5	66,9	3193	6,91	355	424	5048	518	0,694	19,0
180	12,5	64,4	82,1	3790	6,80	421	511	6070	613	0,688	15,5
180	14,2	72,2	92,0	4154	6,72	462	566	6711	670	0,683	13,8
180	16,0	80,2	102	4504	6,64	500	621	7343	724	0,679	12,5
200	5,0	30,4	39,7	2445	7,95	245	283	3755	352	0,787	32,9
200	6,3	38,0	48,4	3011	7,89	301	350	4653	444	0,784	26,3
200	8,0	47,7	60,8	3709	7,81	371	436	5778	545	0,779	21,0
200	10,0	58,8	74,9	4471	7,72	447	531	7031	655	0,774	17,0
200	12,5	72,3	92,1	5335	7,61	534	643	8491	778	0,768	13,8
200	14,2	81,1	103	5872	7,54	587	714	9417	854	0,763	12,3
200	16,0	90,3	115	6394	7,46	639	785	10343	927	0,759	11,1
220	6,3	41,9	53,4	4049	8,71	368	427	6240	544	0,864	23,8
220	8,0	52,7	67,2	5002	8,63	455	532	7765	669	0,859	19,0
220	10,0	65,1	82,9	6050	8,54	550	650	9473	807	0,854	15,4
220	12,5	80,1	102	7254	8,43	659	789	11483	953	0,848	12,5
220	14,2	90,1	115	8007	8,35	728	879	12770	1060	0,843	11,1
220	16,0	100	128	8749	8,27	795	969	14050	1156	0,839	10,0
250	6,3	47,9	61,0	6014	9,93	481	556	9238	712	0,984	20,9
250	8,0	60,3	76,8	7455	9,86	595	694	11530	880	0,979	16,6
250	10,0	74,5	94,9	9055	9,77	724	851	14110	1065	0,974	13,4
250	12,5	91,9	117	10920	9,66	873	1037	17160	1279	0,968	10,9
250	14,2	103	132	12090	9,58	967	1158	19140	1413	0,963	9,67
250	16,0	115	147	13270	9,50	1061	1283	21140	1546	0,959	8,67
260	6,3	49,9	63,5	6788	10,3	522	603	10420	773	1,02	20,1
260	8,0	62,8	80,0	8423	10,3	648	753	13010	956	1,02	15,9
260	10,0	77,7	98,9	10240	10,2	788	924	15930	1159	1,01	12,9
260	12,5	95,8	122	12370	10,1	951	1127	19410	1394	1,01	10,4
260	14,2	108	137	13710	10,0	1055	1259	21660	1542	1,00	9,27
260	16,0	120	153	15060	9,9	1159	1394	23940	1689	1,00	8,30
300	6,3	57,8	74	10550	12,0	703	809	16140	1043	1,18	17,3
300	8,0	72,8	93	13130	11,9	875	1013	20190	1294	1,18	13,7
300	10,0	90,2	115	16030	11,8	1068	1246	24810	1575	1,17	11,1
300	12,5	112	142	19440	11,7	1296	1525	30330	1904	1,17	8,97
300	14,2	126	160	21640	11,6	1442	1708	33940	2114	1,16	7,95
300	16,0	141	179	23850	11,5	1590	1895	37620	2325	1,16	7,12
350	8,0	85,4	109	21130	13,9	1207	1392	32380	1789	1,38	11,7
350	10,0	106	135	25880	13,9	1479	1715	39890	2185	1,37	9,44
350	12,5	131	167	31540	13,7	1802	2107	48930	2654	1,37	7,62
350	14,2	148	189	35210	13,7	2012	2364	54880	2957	1,36	6,76
350	16,0	166	211	38940	13,6	2225	2633	60990	3264	1,36	6,04
400	10,0	122	155	39130	15,9	1956	2260	60090	2895	1,57	8,22
400	12,5	151	192	47840	15,8	2392	2782	73910	3530	1,57	6,63
400	14,2	170	217	53530	15,7	2676	3127	83030	3942	1,56	5,87
400	16,0	191	243	59340	15,6	2967	3484	92440	4362	1,56	5,24
400	20,0	235	300	71540	15,4	3577	4247	112500	5237	1,55	4,25

Anlage 1 zu Aufgabe 1



Biegesteifer lösbarer Anschluss des Hohlprofils an die Stütze

Aufgabe 2**15 min**

Gegeben ist der in Abbildung 2.1 dargestellte Querschnitt eines Verbundträgers.

Berechnen Sie für den Lastfall Schwinden im Punkt P die Spannung $\sigma_{a,P}$ im Stahlprofil sowie die Spannung $\sigma_{c,P}$ im Betongurt.

Zeichnen Sie die Spannungsverteilung, die sich für den Lastfall Schwinden ergibt, qualitativ in Abbildung 2.1 ein.

Verwenden Sie zur Bestimmung der Kriechzahl das Diagramm in Abbildung 2.2.

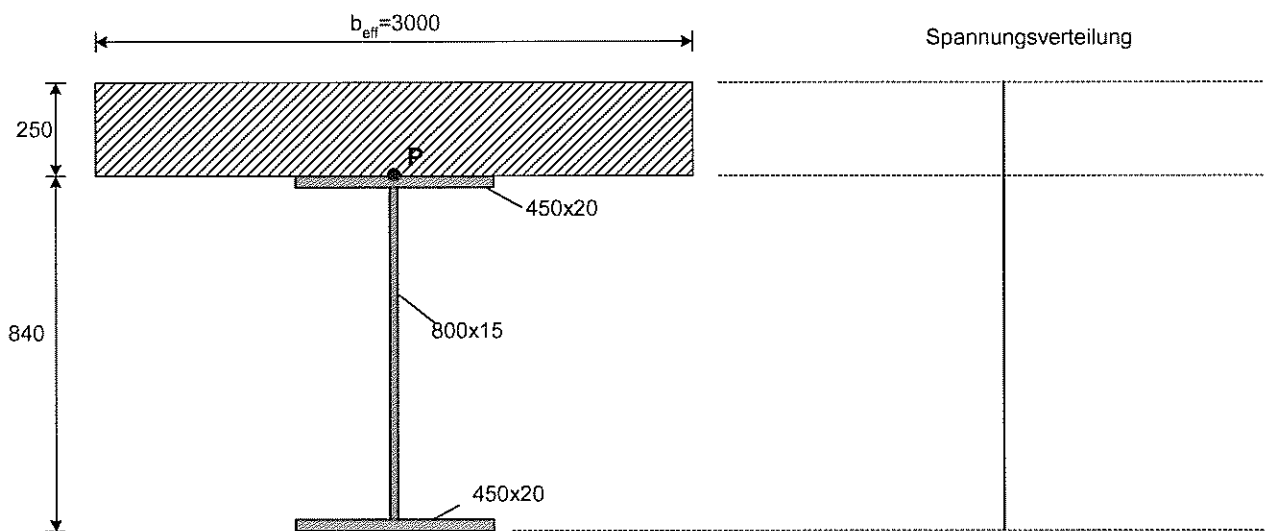


Abbildung 2.1: Querschnitt des Verbundträgers

Baustahlprofil: S235

$$A_a = 300 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,a} = 366.640 \text{ cm}^4$$

Beton:

C35/45

$$E_{cm} = 2990 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_c = 7500 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,c} = 390.625 \text{ cm}^4$$

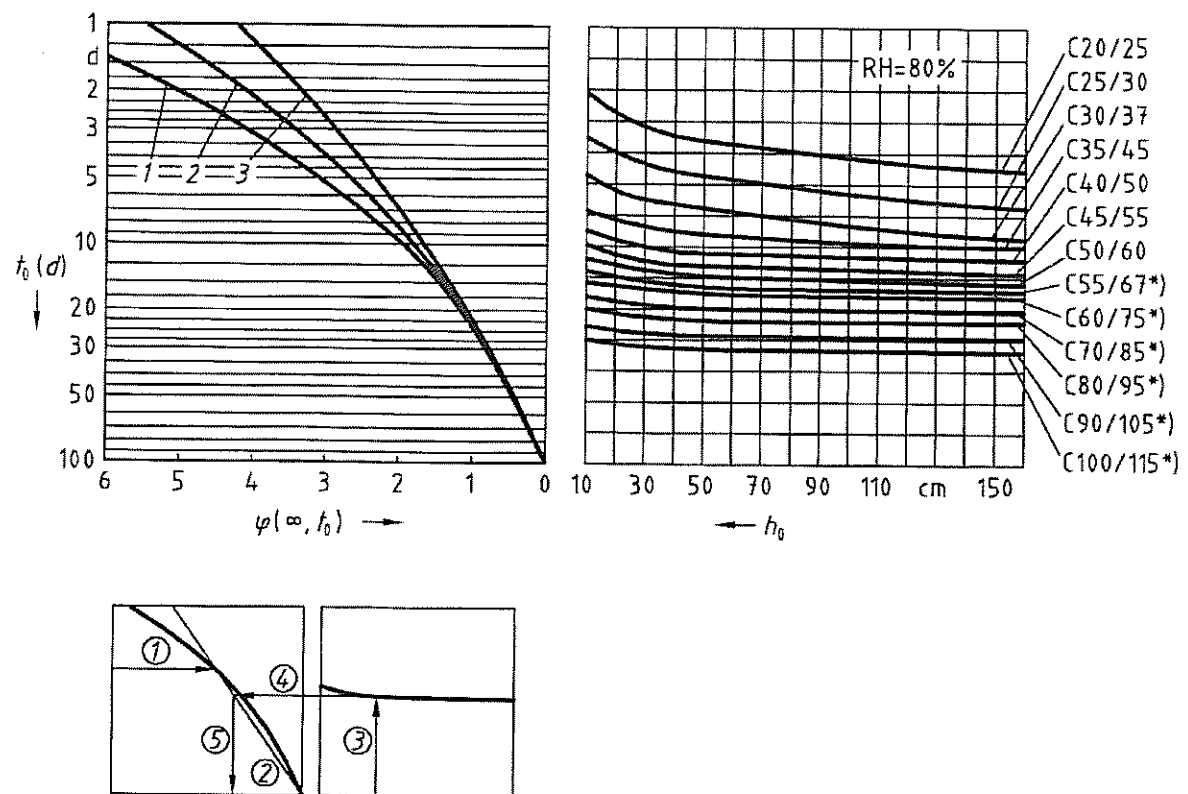
Zement: 32,5R

Belastungsbeginn für Schwinden: $t_0 = 1 \text{ d}$

Umgebungsbedingungen: Außenluft, relative Luftfeuchte $RH = 80\%$

Kriechbeiwert für den Lastfall Schwinden: $\psi_s = 0,55$

Schwinddehnung des Betons: $\varepsilon_{cs\infty} = -0,45 \text{ ‰}$



- „1 Zementfestigkeitsklasse: 32,5 N¹⁾
 2 Zementfestigkeitsklassen: 32,5 R, 42,5 N¹⁾
 3 Zementfestigkeitsklassen: 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R¹⁾

Dabei ist

h_0 die wirksame Querschnittsdicke

$$= \frac{2A_c}{u} \quad \text{in cm}$$

A_c die Querschnittsfläche

u der Umfang des Querschnitts (bei Kastenträgern einschließlich des inneren Umfangs)“

Bild 19 – Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und feuchte Umgebungsbedingungen (Außenluft, relative Luftfeuchte = 80%)

Abbildung 2.2: Diagramm zur Bestimmung der Kriechzahl

Aufgabe 3**35 min**

Die Quertraverse einer Säge besteht aus zwei C-Profilen, die symmetrisch zueinander angeordnet sind. Eine Skizze des Querschnitts der Traverse ist in Abbildung 3.2 abgebildet. Die Quertraverse ist an beiden Enden gelenkig gelagert und wird während des Sägens in Feldmitte durch eine Einzellast P „nicht vorwiegend ruhend“ beansprucht. Das statische System der Traverse ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Der Verlauf der Belastung P während eines Sägevorgangs ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

- Zeichnen Sie in Abbildung 3.3 mit Hilfe der Reservoir-Methode die Lastschwingbreiten ΔP_i für einen Sägevorgang ein.
- Berechnen Sie aus den Lastschwingbreiten ΔP_i Spannungsschwingbreiten $\Delta \sigma_i$ am Punkt a im Schnitt A-A und am Punkt b im Schnitt B-B (siehe Abbildung 3.1). Hierbei dürfen Sie die Querschnittsschwächung durch die Bohrungen (siehe Abbildung 3.2) vernachlässigen.
- Berechnen Sie mit der linearen Schadensakkumulationshypothese von Palmgren-Miner die Lebensdauer (Anzahl der Sägevorgänge), indem Sie einen Ermüdungsnachweis im Schnitt A-A mit der Kerbfallklasse 160 und einen Ermüdungsnachweis im Schnitt B-B mit der Kerbfallklasse 90 führen ($\gamma_{Mf} = \gamma_{Ff} = 1,0$). Verwenden Sie hierzu die Ermüdungsfestigkeitskurven aus EC3:

$$\Delta \sigma_R^m N_R = \Delta \sigma_C^m 2 \times 10^6 \quad \text{mit } m = 3 \text{ für } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta \sigma_R^m N_R = \Delta \sigma_D^m 5 \times 10^6 \quad \text{mit } m = 5 \text{ für } 5 \times 10^6 \leq N \leq 10^8$$

- Abbildung 3.4 zeigt die Bruchfläche nach dem Ermüdungsversagen der Quertraverse. Zeichnen Sie den Ort der Anrissbildung ein, benennen sie die unterschiedlichen Bereiche der Bruchfläche durch Eintrag in das Bild und schätzen sie anhand der Abmessungen der Restbruchfläche die Ausnutzung ab.

Hinweise:

- Auf Abbildung 3.4 ist nur die Bruchfläche eines der beiden C-Profile abgebildet; es kann vereinfachend angenommen werden, dass das Versagensbild des zweiten Profils gleich aussieht.
- Ausnutzung = (Betriebslast P_{\max} bei Versagen) / (Grenzlast P bei einmaliger Beanspruchung)

[illegible]

Abbildung 3.2: Unmaßstäbliche Skizze des Querschnitts der Traverse (Schnitt B-B)

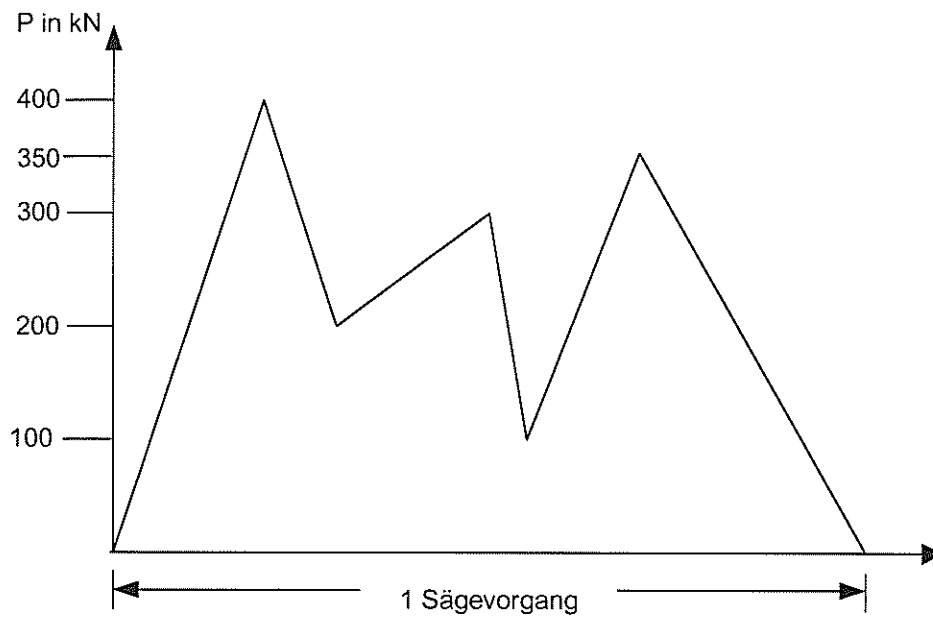


Abbildung 3.3: Belastung P während eines Sägevorgangs

Die Bruchfläche durch den
2. Teil der Quertraverse
sieht nahezu deckungsgleich
aus.

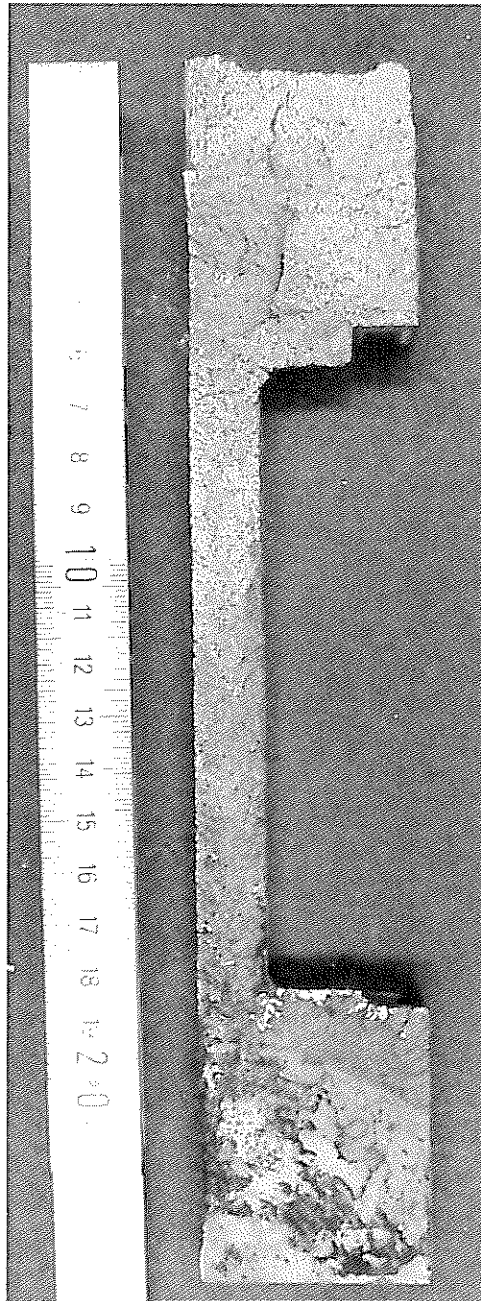
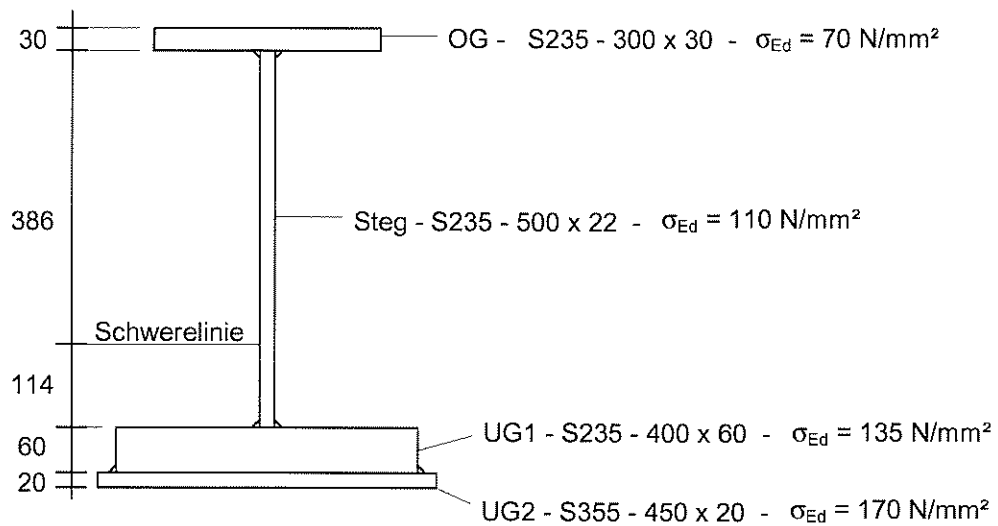


Abbildung 3.4: Maßstabsgetreues Bild der Bruchfläche

Aufgabe 4**35 min**

Für Verbundträger in einem offenen Parkhaus (Außenbauteile) werden geschweißte Doppel – T – Träger (I-Profile) der Länge $L = 30 \text{ m}$ aus dem Werkstoff S235 hergestellt. Aus statischen Gründen muss am Untergurt nachträglich ein Verstärkungsblech aus S355 ($t = 20 \text{ mm}$) aufgeschweißt werden. Abbildung 4.1 zeigt den bereits verstärkten Träger, das Verstärkungsblech ist mit UG2 bezeichnet. Die für den außergewöhnlichen Lastfall ermittelten Spannungen σ_{Ed} für die einzelnen Querschnittsteile des Trägers sind in der Abbildung 4.1 angegeben. Die Beanspruchungsgeschwindigkeit ist quasistatisch (≈ 0).

- a) Bestimmen Sie für die 4 Querschnittsteile des Trägers (OG, Steg, UG1, UG2) die mindestens erforderliche Stahlgüte nach DAST-Richtlinie 009:2005. Bestimmen Sie dazu vorab jeweils:
 - den Spannungszustand $\sigma_{Ed} / f_y(t)$ mit $f_y(t) = R_{eH}(t)$
 - die Referenztemperatur T_{Ed}
- b) Welche Stahlgüten würden Sie einsetzen? Begründen Sie kurz!
- c) Schätzen Sie ab, wie stark sich die Träger infolge der nachträglich aufgeschweißten Untergurtplatte UG2 näherungsweise verformen, indem Sie das Maß f in der Abbildung 4.2 bestimmen. Gehen Sie hierbei davon aus, dass die Kehlnähte $a=5$ durchgehend sind und jeweils mit einer Einzelraupe geschweißt werden. Was würden Sie in diesem Falle tun?
- d) Die Träger liegen an einem Ende auf Einbauteilen auf, an die Betonstähle $\varnothing 28$ mit umlaufenden Kehlnähten $a = 7 \text{ mm}$ angeschweißt sind (siehe Abbildung 4.3). Die beiden Bleche sind mit einer HV-Naht mit einem Öffnungswinkel von $\alpha = 45^\circ$ verbunden. Welche Z-Güte ist für das auf Querkraft beanspruchte Blech $t = 60 \text{ mm}$ erforderlich? Welche Maßnahmen schlagen Sie vor, um die Situation zu verbessern?



alle Schweißnähte: einlagig, $a = 5 \text{ mm}$

Länge des Trägers: $L = 30 \text{ m}$

$$I_y = 2,69 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

Abbildung 4.1: Geschweißtes Doppel-T-Profil eines Verbundträgers

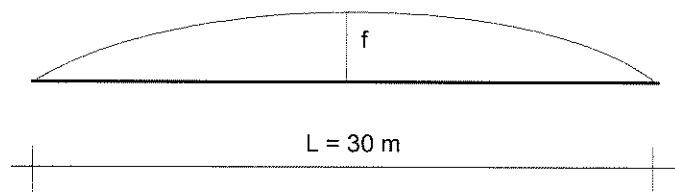


Abbildung 4.2: Stich der Verformung f

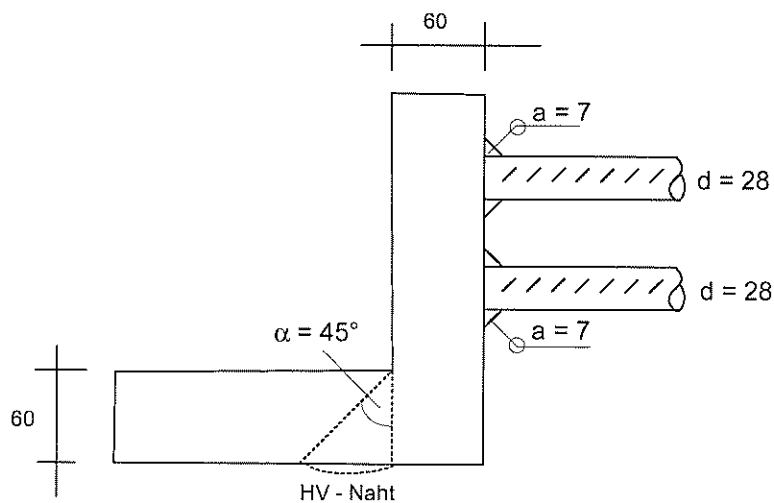


Abbildung 4.3: Geschweißtes Einbauteil

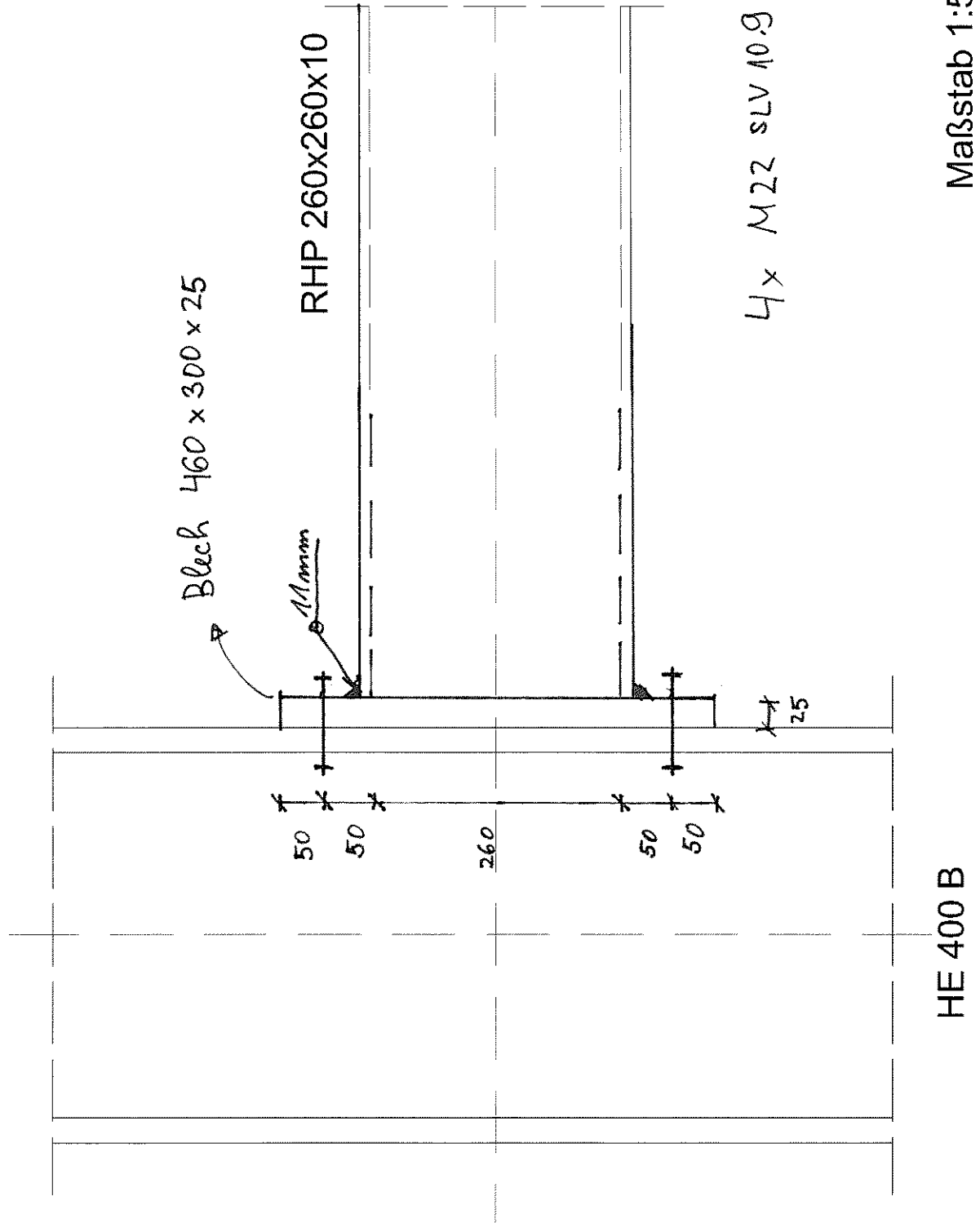
EN 10025-2:2004 (D)

Tabelle 7 — Mechanische Eigenschaften für Flach- und Langerzeugnisse aus Stahlsorten mit Werten für die Kerbschlagarbeit

Bezeichnung		Mindeststreckgrenze R_{eH}^a MPa ^b Nennweiten mm										Zugfestigkeit R_m^a MPa ^b Nennweiten mm			
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c
S235JR	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	—	360 bis 510	360 bis 510	350 bis 500	340 bis 490	—
S235J0	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	—	360 bis 510	360 bis 510	350 bis 500	340 bis 490	—
S235J2	1.0117	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360 bis 510	360 bis 510	350 bis 500	340 bis 490	330 bis 480
S275JR	1.0044	275	265	255	245	235	225	215	205	—	430 bis 580	410 bis 560	400 bis 540	380 bis 540	—
S275J0	1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	—	430 bis 580	410 bis 560	400 bis 540	380 bis 540	—
S275J2	1.0145	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430 bis 580	410 bis 560	400 bis 540	380 bis 540	380 bis 540
S355JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	275	—	510 bis 680	470 bis 630	450 bis 600	450 bis 600	—
S355J0	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	275	—	510 bis 680	470 bis 630	450 bis 600	450 bis 600	—
S355J2	1.0577	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 bis 680	470 bis 630	450 bis 600	450 bis 600	450 bis 600
S355K2	1.0596	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 bis 680	470 bis 630	450 bis 600	450 bis 600	450 bis 600
S450J0 ^d	1.0590	450	430	410	390	380	380	—	—	—	—	550 bis 720	530 bis 700	—	—

^a Für Blech, Band und Breitflachstahl in Breiten ≥ 600 mm gilt die Richtung quer (t) zur Walzrichtung. Für alle anderen Erzeugnisse gelten die Werte in Walzrichtung (l).^b 1 MPa = 1 N/mm².^c Die Werte gelten für Flacherzeugnisse.^d Nur für Langerzeugnisse.

Anlage 1 zu Aufgabe 1



Biegesteifer lösbarer Anschluss des Hohlprofils an die Stütze

Aufgabe 4

a) Tragfähigkeitsnachweis

$$\bullet M_y = \frac{F \ell}{8} \text{ (Schneider S. 4.8)} = \frac{150 \cdot 0,6 \text{ m}}{8} = 112,5 \text{ kNm}$$

$$\bullet V_z = \frac{1}{2} F = \frac{1}{2} \cdot 150 = 75 \text{ kN}$$

$$\bullet M_t = \frac{1}{2} \cdot F \ell = \frac{1}{2} \cdot 150 \cdot 0,6 \text{ m} = 45 \text{ kNm}$$

$$\bullet \sigma_{R,d} = \frac{360 \text{ N}}{1,14 \text{ mm}^2} = 327 \text{ N/mm}^2$$

$$\bullet \tau_{R,d} = \frac{360}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 189 \text{ N/mm}^2$$

⇒ Nachweis:

$$\bullet \sigma = \frac{M_y}{W_y} = \frac{112,5 \text{ kNm}}{788 \text{ cm}^3} = 14,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 32,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \checkmark$$

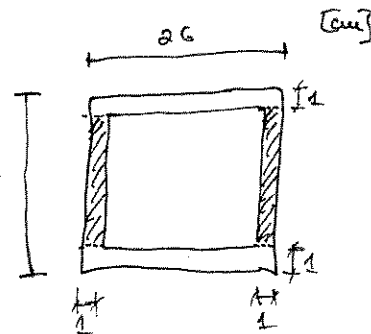
aus Tabelle

Elastisches Widerstandsmoment

$$\bullet \tau_v = \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}} = \frac{V_z}{2 \cdot (26 \text{ cm} - 2 \text{ cm}) \cdot 1 \text{ cm}} = \frac{75}{48} = 1,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\bullet \tau_t = \frac{M_t}{G_y} = \frac{4500}{1159} = 3,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

aus Tabelle



$$\Rightarrow \tau_{\text{ges}} = 1,6 + 3,9 = 5,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{1}{2} \cdot 189 = 94,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \checkmark$$

⇒ kein Vergleichspannungsnachweis erforderlich

b) Ausschluss:

→ Stirnplatte - Anschluss, $t = 25 \text{ mm}$, S355

→ Schweißnaht $a_w = 1,1 \cdot t \rightarrow$ ohne weitere NW

→ 4 x M22 SLV 10.9

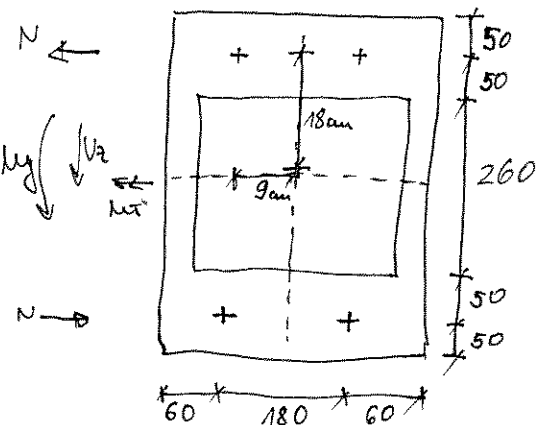
$$d_t = 23 \text{ mm} \quad | \quad V_{a,R,d} = 190 \text{ kN}$$

$$e \geq 2,5 d_t = 57,5 \text{ mm} \quad | \quad V_{e,R,d} = 144 \cdot 1,5 = 216 \text{ kN}$$

$$e_1 \geq 2 p d_t = 46 \text{ mm} \quad | \quad N_{R,d} = 220 \text{ kN}$$

$$e_2 \geq 1,5 d_t = 34,5 \text{ mm}$$

$$e_3 \geq 3 d_t = 69 \text{ mm}$$



→ Belastungen der Schraube

• aus M_y : $N_{a,d} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{11250 \text{ kNm}}{26 + 5 \text{ cm}} = 181,45 \text{ kN} \leq N_{R,d} \quad \checkmark$

• aus V_z : $V_{a,d}^Q = \frac{V_z}{n_{\text{Schrauben}}} = \frac{75}{4} = 18,8 \text{ kN}$

• aus M_x : $V_{a,d}^T = \frac{M_x}{n_{\text{SCH}} \cdot r} \Rightarrow r = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{8^2 + 18^2} = 20,1 \text{ cm}$

$\Rightarrow V_{a,d}^T = \frac{4500 \text{ kNm}}{4 \cdot 20,1} = 55,97 \text{ kN}$

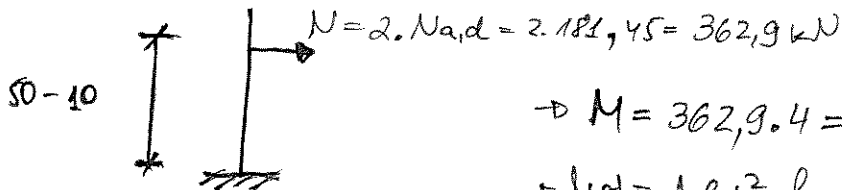
$\Rightarrow V_{a,d} = 18,8 + 55,97 = \underline{74,77 \text{ kN}}$

→ NW Schraube:

$\left(\frac{V_{a,d}}{V_{R,d}} \right)^2 + \left(\frac{N_{a,d}}{N_{R,d}} \right)^2 = \left(\frac{74,77}{190} \right)^2 + \left(\frac{181,45}{220} \right)^2 = 0,835 \leq 1 \quad \checkmark$

$0,155 \quad 0,68$

→ NW Stimplatte: $t = 25 \text{ mm}$, S355



$\Rightarrow M = 362,9 \cdot 4 = 1451,6 \text{ kNm}$

$\Rightarrow I_{\text{eff}} = \frac{1}{4} b t^3 \cdot f_{yk} = \frac{1}{4} \cdot 30 \cdot 2,5^3 \cdot \frac{36 \text{ kN}}{1,2 \text{ cm}^2} = 1534,1 \text{ kNm}$

$\Rightarrow \frac{M}{I_{\text{eff}}} = \frac{1451,6}{1534,1} = 0,95 < 1 \quad \checkmark$

Aufgabe 2

→ Plastische Nulllinie

$$Z_a = A_a \cdot f_{yd} = 300 \text{ cm}^2 \cdot \frac{24}{1,1} = 6545,45 \text{ kN}$$

$$Z_c = \text{beff} \cdot z_{pl} \cdot f_{cd} \stackrel{!}{=} Z_a \Rightarrow \text{beff} \cdot z_{pl} \cdot f_{cd} = 6545,45 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow z_{pl} = \frac{6545,45}{\text{beff} \cdot f_{cd}} = \frac{6545,45}{300 \cdot \frac{985,35}{1,5}} = 11 \text{ cm} < h_c = 25$$

⇒ Plastische Nulllinie im Betonquerschnitt!

$$M_{pl,Rd} = Z_a \cdot e = A_a \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{h_a}{2} + h_c - \frac{z_{pl}}{2} \right) = 300 \text{ cm}^2 \cdot \frac{24 \text{ kN}}{1,1 \text{ cm}^2} \cdot \left(\frac{84 \text{ cm}}{2} + 25 \text{ cm} - \frac{11 \text{ cm}}{2} \right) = 402545,45 \text{ kN}$$

→ Kriechbeiwerte und Reduktionszahlen

$$\bullet M_0 = \frac{E_a}{E_{cm}} = \frac{21000 \text{ N/mm}^2}{2990 \text{ N/mm}^2} = 7,023$$

$$\bullet M_{NS} = M_0 (1 + \psi_t \cdot \psi_s)$$

$$\rightarrow \psi_s = 0,55 \text{ (gegeben)}$$

$$\rightarrow \psi_t = 3 \text{ (aus Diagramm)}$$

$$\Rightarrow M_{NS} = 7,023 (1 + 3 \cdot 0,55) = 18,61$$

$$\uparrow h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 7500 \text{ cm}^2}{225 + 2300 - 45} =$$

\downarrow \downarrow \downarrow
 h_c beff flanschlänge

Abstand zw. Beton NL und St. NL

→ Ideelle Querschnittswerte

$$\bullet A_{c,s} = \frac{A_c}{M_S} = \frac{7500 \text{ cm}^2}{18,61} = 403 \text{ cm}^2$$

$$\bullet I_{c,s} = \frac{I_c}{M_S} = \frac{390625 \text{ cm}^4}{18,61} = 20990 \text{ cm}^4$$

$$\bullet A_{i,s} = A_a + A_{c,s} = 300 + 403 = 703 \text{ cm}^2$$

$$\bullet a_{c,s} = \frac{A_a \cdot a}{A_{i,s}} = \frac{300 \cdot 54,5}{703} = 23,3 \text{ cm}$$

$$\bullet a_{a,s} = a - a_{c,s} = 54,5 - 23,3 = 31,2 \text{ cm}$$

$$\bullet I_{i,s} = I_a + A_a \cdot a_{a,s}^2 + A_{c,s} \cdot a_{c,s}^2 + I_{c,s} = 366640 + 300 \cdot 31,2^2 + 403 \cdot 23,3^2 + 20990 = 898447 \text{ cm}^4$$

Schwindkoeff.

$$\bullet N_{sch} = -\epsilon_{s,\infty} \cdot \frac{E_{cm}}{1 + \eta_s \cdot \gamma_s} \cdot A_c = \frac{0,45}{1000} \cdot \frac{2990 \cdot 7500}{1 + 3 \cdot 0,155} = \underline{\underline{3808 \text{ kN}}}$$

$$\bullet M_{sch} = N_{sch} \cdot e = N_{sch} \cdot a_{c,s} = 3808 \cdot 23,3 = 88726,8 \text{ kNm} \\ = \underline{\underline{887,3 \text{ kNm}}}$$

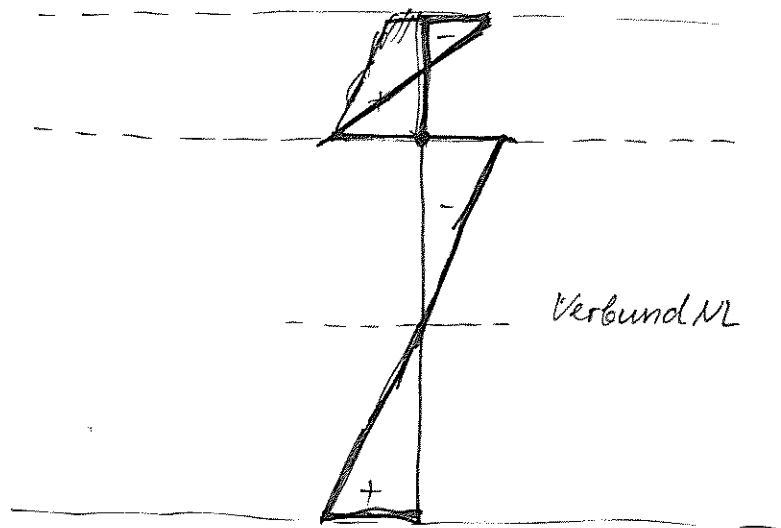
$$\rightarrow \sigma_{a,s} = -\frac{N_{sch}}{A_{i,s}} + \frac{M_{sch}}{I_{i,s}} \cdot z_s \cdot (-1) \\ = -\frac{3808 \text{ kN}}{703 \text{ cm}^2} + \frac{88726,8 \text{ kNm} \cdot (a_{c,s} - \frac{h_c}{2})}{898447} = -\frac{3808}{703} + \frac{88726,8 \cdot (23,3 - 12,5)}{898447} \\ = -\underline{\underline{6,48 \text{ kN/cm}^2}}$$

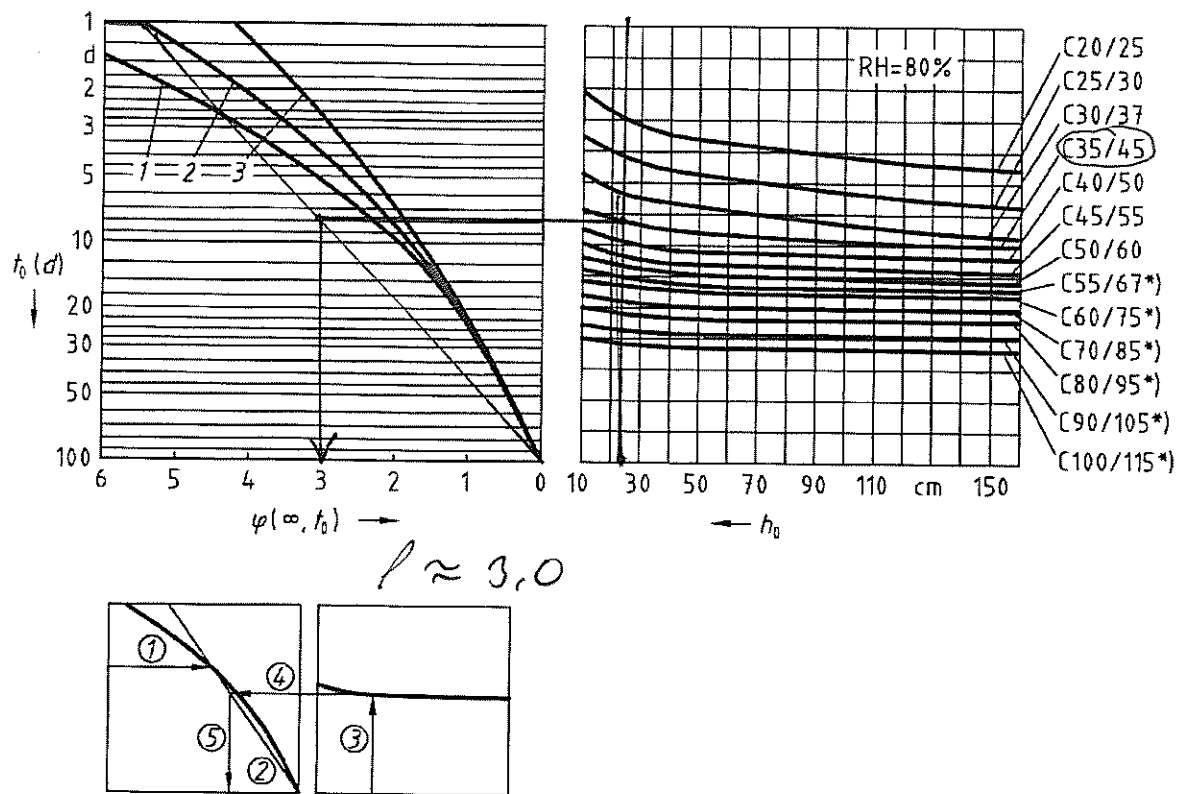
$$\rightarrow \sigma_{c,s} = \frac{N_{sch}}{A_c} - \frac{N_{sch}}{n_s \cdot A_{i,s}} + \frac{M_{sch}}{n_s \cdot I_{i,s}} \cdot z_s \\ = \frac{3808}{7500} - \frac{3808}{18,61 \cdot 703} + \frac{88726,8}{18,61 \cdot 898447} \cdot (-10,8) = \underline{\underline{0,16 \text{ kN/cm}^2}}$$

Spannungsverteilung

Betonquerschnitt

Stahlquerschnitt





- „1 Zementfestigkeitsklasse: 32,5 N¹⁾
 2 Zementfestigkeitsklassen: 32,5 R, 42,5 N¹⁾
 3 Zementfestigkeitsklassen: 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R¹⁾“

Dabei ist

h_0 die wirksame Querschnittsdicke

$$= \frac{2A_c}{u} \quad \text{in cm}$$

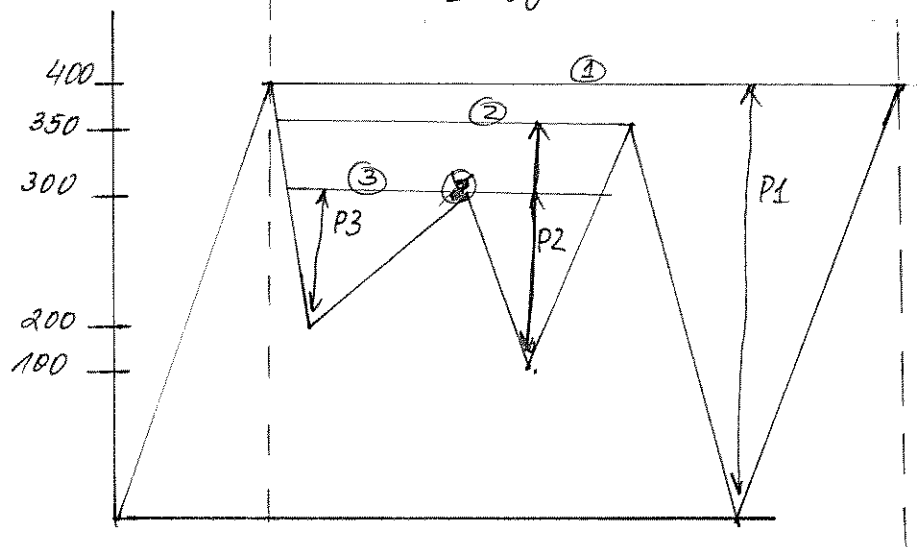
A_c die Querschnittsfläche

u der Umfang des Querschnitts (bei Kastenträgern einschließlich des inneren Umfangs)“

Bild 19 – Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und feuchte Umgebungsbedingungen (Außenluft, relative Luftfeuchte = 80%)

Abbildung 2.2: Diagramm zur Bestimmung der Kriechzahl

Aufgabe 3



$$P_1 = 400 \text{ kN}$$

$$P_2 = 250 \text{ kN}$$

$$P_3 = 100 \text{ kN}$$

⑥ Schnitt A-A

$$M_a = \frac{PL}{4} \rightarrow T_a = \frac{M_a \cdot z_a}{I} = \frac{PL \cdot z_a}{4I}$$

$$\bullet z_a = 12 \text{ cm}$$

$$\bullet L = 170 \text{ cm}$$

$$\bullet I = 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot 13 \cdot 13^3 + \frac{2 \cdot 4 \cdot 5,5^3}{12} + 2 \cdot 4 \cdot 5,5 \cdot (6,5 + 2,75)^2 \right] = 8227,35 \text{ cm}^4$$

$$\Rightarrow \sigma_1 = \frac{P_1 \cdot L \cdot z_a}{4I} = \frac{400 \cdot 170 \cdot 12}{4 \cdot 8227,35} = 248 \text{ N/mm}^2 = 24,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_2 = \frac{P_2 \cdot L \cdot z_a}{4I} = \frac{250}{400} \cdot \sigma_1 = 155 \text{ N/mm}^2 = 15,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_3 = \frac{P_3 \cdot L \cdot z_a}{4I} = \frac{100}{400} \cdot \sigma_1 = 62 \text{ N/mm}^2 = 6,2 \text{ kN/cm}^2$$

Schnitt B-B

$$\bullet z_B = 5,5 \text{ cm}$$

$$\bullet L = 170 \text{ cm}$$

$$\bullet I = 8227,35 \text{ cm}^4$$

$$\bullet l_B = \frac{PL}{42} \cdot \frac{75}{1/2} = \frac{75 \text{ cm} \cdot P}{2} = 37,5 \text{ cm} \cdot P$$

$$\bullet \sigma_B = \frac{l_B}{I} \cdot z_B = \frac{37,5 \cdot P \cdot z_B}{I}$$

$$\Rightarrow \sigma_1 = \frac{37,5 \cdot 400 \cdot 5,5}{8227,35} = 100 \text{ N/mm}^2 = 10,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_2 = \frac{37,5 \cdot 250 \cdot 5,5}{8227,35} = \frac{250}{400} \cdot \sigma_1 = 63 \text{ N/mm}^2 = 6,3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_3 = \frac{37,5 \cdot 100 \cdot 5,5}{8227,35} = \frac{100}{4} \cdot \sigma_2 = 25 \text{ N/mm}^2 = 2,5 \text{ kN/cm}^2$$

④ Schnitt A-A

KG 160 →

$$\begin{aligned} \sigma_{c1} &= 160 \text{ N/mm}^2 \rightarrow N_{c1} = 2 \cdot 10^6 & m=3 \\ \sigma_{c2} &= 117 \text{ N/mm}^2 \rightarrow N_{c2} = 5 \cdot 10^6 & m=3 \\ \sigma_{c3} &= 64 \text{ N/mm}^2 \rightarrow N_{c3} = 10^8 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_1 = N_{c1} \left(\frac{\sigma_{a1}}{\sigma_{c1}} \right)^{-m} = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{248}{160} \right)^{-3} = 5,37 \cdot 10^5$$

$$\Rightarrow N_2 = N_{c2} \left(\frac{\sigma_{a2}}{\sigma_{c2}} \right)^{-m} = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{155}{117} \right)^{-3} = 21,5 \cdot 10^5$$

$$\Rightarrow N_3 = \infty \text{ da } \sigma_{a3} = 62 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c3} = 64 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow D = \sum \frac{N_i}{N_i} \leq 1 \Rightarrow \max n = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{n}{5,37 \cdot 10^5} + \frac{n}{21,5 \cdot 10^5} = 1 \Rightarrow \underline{n = 429680}$$

Schnitt B-B

$$\begin{aligned} \text{KG 90} \rightarrow \sigma_{c1} &= 90 \text{ N/mm}^2 \rightarrow N_{c1} = 2 \cdot 10^6; m=3 \\ \sigma_{c2} &= 66 \text{ N/mm}^2 \rightarrow N_{c2} = 5 \cdot 10^6; m=5 \\ \sigma_{c3} &= 36 \text{ N/mm}^2 \rightarrow N_{c3} = 10^8 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow N_1 = N_{c1} \left(\frac{\sigma_{a1}}{\sigma_{c1}} \right)^{-m} = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{100}{90} \right)^{-3} = 1,458 \cdot 10^6$$

$$\Rightarrow N_2 = N_{c2} \left(\frac{\sigma_{a2}}{\sigma_{c2}} \right)^{-m} = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{63}{66} \right)^{-5} = 6,309 \cdot 10^6$$

$$\Rightarrow N_3 = \infty \text{ da } \sigma_{a3} = 25 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{c3} = 36 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow D = \sum \frac{N_i}{N_i} \leq 1 \Rightarrow \max n = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow n \left[\frac{1}{1,458 \cdot 10^6} + \frac{1}{6,309 \cdot 10^6} \right] = 1 \Rightarrow \underline{n = 1184308}$$

$$\Rightarrow \text{Lebensdauer} \Rightarrow \boxed{n = 429680}$$

- ⑤ Stichwörter:
- Schwingbruchfläche
 - Rastlinie
 - Gewaltbruch
 - Bemessung

• Ausnutzung:

$$\frac{I_{\text{geschwächt}}}{I_{\text{ungeschwächt}}}$$

$$\Rightarrow I_{\text{geschw}} = I_{\text{unge}} - 2 \cdot 4 \cdot 4,5 \cdot (12 - 2,25)^2 = 8227,35 - 3422,25 = 4805,1 \text{ cm}^4$$

$$\Rightarrow \frac{I_{\text{ges}}}{I_{\text{unges}}} = \frac{4805,1}{8227,35} = 58,4\%$$

Aufgabe 4

① Referenztemperatur: Außenbauteil $\Rightarrow T_{ed} = -30^\circ\text{C}$

OG: $\frac{T_{ed}}{f_y(t)} = 0,25$ (Druck); $t = 30\text{ mm} \Rightarrow \boxed{\text{S235JR}}$ (max $t = 75\text{ mm}$)

Steg: $\frac{T_{ed}}{f_y(t)} = \frac{110}{225} = 0,49 \approx 0,5$; $t = 22\text{ mm} \Rightarrow \boxed{\text{S235JR}}$ (max $t = 45\text{ mm}$)

UG1: $\frac{T_{ed}}{f_y(t)} = \frac{135}{215} = 0,63$; $t = 60\text{ mm} \Rightarrow \text{S235J0} - \text{max } t = 0,5 \cdot (65 + 40) = 53\text{ mm} \downarrow$
 $\Rightarrow \text{S235J2} - \text{max } t = 0,5 \cdot (90 + 60) = 75\text{ mm} \checkmark$

UG2: $\frac{T_{ed}}{f_y(t)} = \frac{170}{345} = 0,49 \approx 0,5$; $t = 20\text{ mm} \Rightarrow \boxed{\text{S355JR}}$ (max $t = 30\text{ mm}$)
 $\Rightarrow \boxed{\text{S235J2}}$

② Wahl der Stahlgüten

OG: S235JR + M1 + N1 + AR, Werkzeugeig. 2.2

Steg: wie OG


UG1: S235J2 + M1 + N1, Abnahmeprüfungszeugnis 3.1

UG2: S355J2 + Aufschweißbiegeversuch oder
S355J2 M1N Abnahmeprüfungszeugnis 3.1

③ Schrupfkraft:

$$F_c [\text{kN}] \approx 10 \cdot A [\text{mm}^2]$$

$$A = 2 \cdot a^2 = 2 \cdot 25 = 50\text{ mm}^2 \Rightarrow F_c = 500\text{ kN}$$

 $\Rightarrow M_c = F_c \cdot (11,4 + 6,0) = 50 \cdot 17,4 \cdot 10^{-2} = 87\text{ kNm}$
 $\Rightarrow f = \frac{M_c l^2}{8EI} = \frac{87 \cdot 10^2 \cdot (30 \cdot 10^2)^2}{8 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 2,68 \cdot 10^5} \left[\frac{\text{kNm} \cdot \text{cm}^2}{\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm}^4} = \text{cm} \right]$
 $\Rightarrow f = 1,73\text{ cm}$

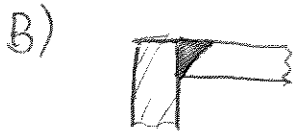
$$\Rightarrow \frac{f}{l} = \frac{1,73}{3000} \Rightarrow \text{keine Maßnahme erforderlich!}$$

a) Maßgebend: HV-Naht

Z-Güte:

A) $t=60, \alpha=45^\circ \Rightarrow a_D=60 \Rightarrow \text{erf } Z_{DA}=0,3 \cdot 60=18$

$\Rightarrow Z_{DA}=18$



$\Rightarrow Z_{DB}=8$

C) $s=60, \text{ erf } Z_{DC}=0,2 \cdot 60=12$

$\Rightarrow Z_{DC}=12$

D) wenig steif bis steif

$\Rightarrow Z_{DD}=3$

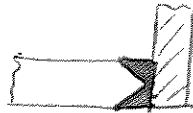
E) Vorwärmen $t=100^\circ\text{C}$
(erforderlich auch wegen $t=60\text{mm}$)

$\Rightarrow Z_{DE}=-8$

\Rightarrow erforderliche Z-Qualität nach EN 10164: Z35 $\Sigma = 33$

Mögliche Maßnahmen:

• HV-Naht (wenn Zugänglichkeit für den Schweißer gegeben)

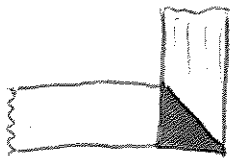


\rightarrow Verbesserung: $Z_{DA}=0,3 \cdot 30=9 \Rightarrow \text{erf } Z=33-(18-9)=24$

\Rightarrow Z25

und deutlich geringeres Nahtvolumen!

• Nahtvorbereitung in anderes Blech legen



\rightarrow Verbesserung: $Z_{DB}=-25 \Rightarrow \text{erf } Z=33-(25+8)=0$

\Rightarrow keine Z-Qualität erforderlich!