

Tachschaff/T

Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau

Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Professor Dr.-Ing. Helmut Saal

76131 Karlsruhe
Kaiserstraße 12

DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG

Stahlbau

05. September 2003

Name:

Aufgabe:	1	2	3	4	5
Erreichte Punktzahl:					

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

Aufgabe 1**20 min**

Die in Anlage 1 dargestellte Fachwerkkonstruktion im Innern eines Gebäudes ($T = -10^{\circ}\text{C}$) wurde in der statischen Berechnung für den Stahl S235 für vorwiegend ruhende Einwirkungen dimensioniert.

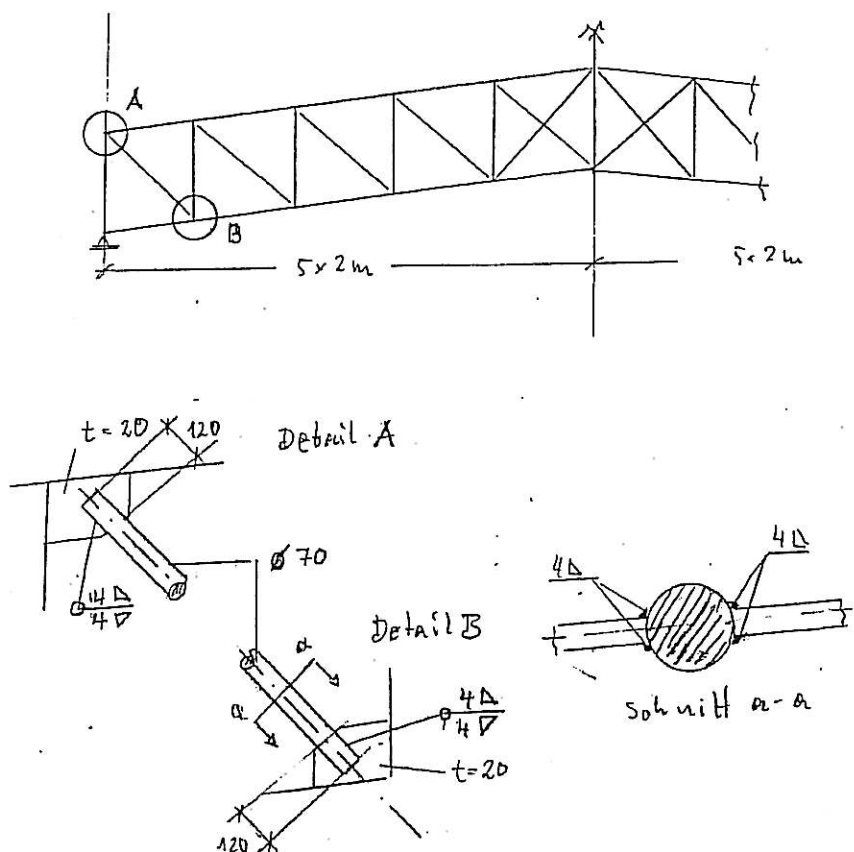
- 1) Bestimmen Sie für den Materialeinkauf für die Zugdiagonalen und die Knotenbleche die Stahlgüte der Stahlsorte S235 (Anlage 2) im Hinblick auf die Sprödbrechtsicherheit.
 - a) nach DAST-Richtlinie 009 mit Änderung zur Anpassungsrichtlinie 2001 (vgl. Anlage 3)
 - b) nach dem Entwurf zur DAST-Richtlinie 009 (vgl. Anlage 4) mit der Vorgabe, daß für Zugdiagonale und Knotenblech die Spannung σ_{Ed} 62,5% der Streckgrenze für die entsprechende Bauteildicke beträgt.

Hinweis:

Überprüfen Sie zu a) – wenn sich Schwierigkeiten ergeben - auch die Notwendigkeit der angegebenen Abmessungen und ändern Sie diese im Hinblick auf Ihre Aufgabe so, daß die Tragfähigkeit des schwächsten Gliedes nicht unnötig überschritten wird.

- 2) Welche Anforderung muß bei der Bestellung des Werkstoffes für die Zugdiagonalen zudem gestellt werden und welche Prüfbescheinigungen werden für
 - c) die Zugdiagonalen
 - d) die Knotenblecheerforderlich?
- 3) Welche Herstellerqualifikation benötigt das Stahlbauunternehmen für diese Konstruktion und welche personelle Ausstattung benötigt es dafür?
- 4) Bei dem Anschluß der Diagonalen an die Knotenbleche werden am Übergang von der Naht zum Grundwerkstoff 1,0mm tiefe Einbrandkerben festgestellt. Sind diese zulässig? Geben Sie dazu eine Begründung an.
- 5) Wieso ist eine Anerkennung des Schweißverfahrens durch Anwendung anerkannter Schweißzusätze nicht möglich?
Geben Sie einen Verbesserungsvorschlag zu dem Schweißnahtanschluß mit Detaildarstellung an.

8h



Maße ohne Einheit: mm

Seite 11
EN 10025 : 1990 + A1 : 1993Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung nach der Schmelzenanalyse für Flacherzeugnisse und Langerzeugnisse¹⁾

Stahlsorte Bezeichnung		Desoxi- dations- art	Stahl- art 4)	Massenanteile in %, max.							
nach EN 10027-1 und EN 10027-2	nach EN 10027-2			C für Erzeugnis-Nenn- dicken in mm			Mn	Si	P	S	N 2) 3)
				≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 5)					
S185 6)	1.0035	freigestellt	BS	—	—	—	—	—	—	—	—
S235JR 4)	1.0037	freigestellt	BS	0,17	0,20	—	1,40	—	0,045	0,045	0,009
S235JRG1 6)	1.0038	FU	BS	0,17	0,20	—	1,40	—	0,045	0,045	0,007
S235JRG2	1.0038	FN	BS	0,17	0,17	0,20	1,40	—	0,045	0,045	0,009
S235JO	1.0114	FN	QS	0,17	0,17	0,17	1,40	—	0,040	0,040	0,009
S235J2G3	1.0116	FF	QS	0,17	0,17	0,17	1,40	—	0,035	0,035	—
S235J2G4	1.0117	FF	QS	0,17	0,17	0,17	1,40	—	0,035	0,035	—
S275JR	1.0044	FN	BS	0,21	0,21	0,22	1,50	—	0,045	0,045	0,009
S275JO	1.0143	FN	QS	0,18	0,18	0,18 7)	1,50	—	0,040	0,040	0,009
S275J2G3	1.0144	FF	QS	0,18	0,18	0,18 7)	1,50	—	0,035	0,035	—
S275J2G4	1.0145	FF	QS	0,18	0,18	0,18 7)	1,50	—	0,035	0,035	—
S355JR	1.0045	FN	BS	0,24	0,24	0,24	1,60	0,55	0,045	0,045	0,009
S355JO 8)	1.0553	FN	QS	0,20	0,20 9)	0,22	1,60	0,55	0,040	0,040	0,009
S355J2G3 8)	1.0570	FF	QS	0,20	0,20 9)	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	—
S355J2G4 8)	1.0577	FF	QS	0,20	0,20 9)	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	—
S355K2G3 8)	1.0595	FF	QS	0,20	0,20 9)	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	—
S355K2G4 8)	1.0598	FF	QS	0,20	0,20 9)	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	—
E295	1.0050	FN	BS	—	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009
E335	1.0060	FN	BS	—	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009
E360	1.0070	FN	BS	—	—	—	—	—	0,045	0,045	0,009

1) Siehe 7.3.

2) Die angegebenen Werte dürfen überschritten werden, wenn je 0,001 % N der Höchstwert für den Phosphorgehalt um 0,005 % unterschritten wird; der Stickstoffgehalt darf jedoch einen Wert von 0,012 % in der Schmelzenanalyse nicht übersteigen.

3) Der Höchstwert für den Stickstoffgehalt gilt nicht, wenn der Stahl einen Gesamtgehalt an Aluminium von mindestens 0,020 % oder genügend andere stickstoffabbindende Elemente enthält. Die stickstoffabbindenden Elemente sind in der Prüfbescheinigung anzugeben.

4) BS: Grundstahl; QS: Qualitätsstahl.

5) Bei Profilen mit einer Nennstärke > 100 mm ist der Kohlenstoffgehalt zu vereinbaren. Zusätzliche Anforderung 25.

6) Nur in Nennstärken ≤ 25 mm lieferbar.

7) Maximal 0,20 % C bei Nennstärken > 150 mm.

8) Siehe 7.3.3.2 und 7.3.3.3.

9) Maximal 0,22 % C bei Nennstärken > 30 mm und bei den zum Walzprofilieren geeigneten Sorten (siehe 7.5.3.2).

sh

Tafel 1 Bestimmung der Klassifizierungsstufen

Spannungs- zustand (s. Ziff. 3.2)	Bedeutung des Bauteils (s. Ziff. 3.3)	Beanspruchung bei Gebrauchslast			
		Druck		Zug	
		Temperatur (s. Ziff. 3.4)			
		bis —10°	von —10° bis —30°	bis —10°	von —10° bis —30°
hoch	1. Ordnung	IV	III	II	I
	2. Ordnung	V	IV	III	II
mittel	1. Ordnung	V	IV	III	II
	2. Ordnung	V	V	IV	III
niedrig	1. Ordnung	V	V	IV	III
	2. Ordnung	V	V	V	IV

Tafel 2 Bestimmung der Stahlgütegruppe (s. Ziff. 4)

Klassifizierungs- stufen (s. Tafel 1)	Zulässige Materialdicke t in mm bis einschließlich			
	10	20	30	40
I				
II				
III				
IV				
V				

*) Nur wenn die Gefahr besteht, daß Seigerungszone an geschnitten werden, ist die Güte 1 R der Güte 2 U vorzuziehen.

Tafel 3 Stahlgüteauswahl bei Kaltverformung (s. Ziff. 3.6)

r/t	max ϵ in %	zulässige Materialdicke t in mm	Gütegruppen
≥ 25	< 2	alle	alle
≥ 10	< 5	≥ 16	
$\geq 3,0$	≤ 14	> 16	2*) oder 3*)
$\geq 1,5$	≤ 25	≤ 12	
		≥ 8	2 oder 3

*) Normalglühen nach dem Kaltformen, aber noch vor dem Schweißen.

Änderung und Ergänzung der Anpassungsrichtlinie Stahlbau
- Ausgabe Dezember 2001 -

Tabelle A: Wahl der Stahlgütegruppen für Stähle nach DIN EN 10025

Klassifizierungs- stufe nach DAST Ri 009 Ausgabe 04/1973	Grenzwanddicken t_{max} in mm für geschweißte Bauteile aus unlegierten Baustählen S235..., S275... und S355... nach DIN EN 10025						
	10	20	30	40	50	60	70
I							
II							
III	...JR, ...JRG1		...JRG2		...J0		...J2
IV							...K2
V							

Für die in der geänderten Festlegung zu DIN 18800-1, Element 401,
genannten Stahlsorten nach DIN EN 10113 gilt:

Tabelle B: Wahl der Stahlgütegruppen für Stähle nach DIN EN 10113

Klassifizierungs- stufe nach DAST Ri 009 Ausgabe 04/1973	Grenzwanddicken t_{max} in mm für geschweißte Bauteile aus Feinkornbaustählen			
	60	70	80	90
I				
II				
III	S460M/N		S355M/N S275M/N	S460ML/NL S355ML/NL S275ML/NL ³⁾
IV				
V				

3) Diese Grenzwanddicken gelten nur für Flacherzeugnisse aus S355ML/NL bzw. S275ML/NL. Für Langerzeugnisse aus diesen Stahlsorten gelten die Grenzwanddicken für S460ML/NL.

7:201.01

3

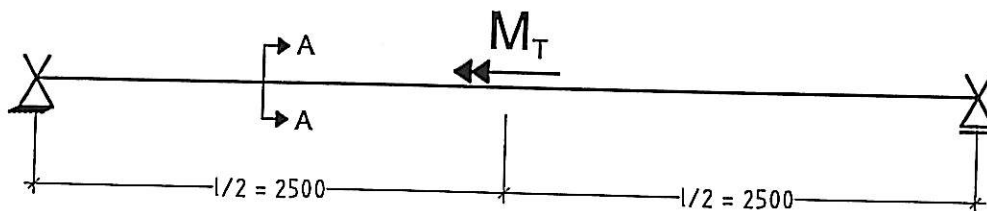
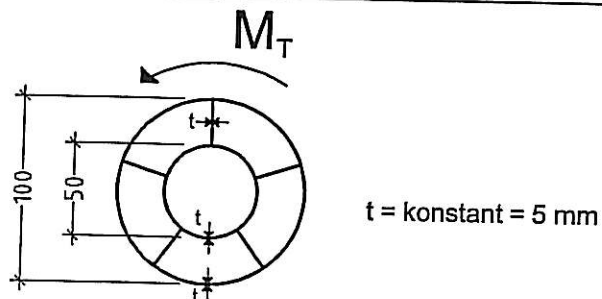
Tabelle 2. Größte zulässige Erzeugnisdicken t_z in Abhängigkeit vom Mindestwert der Streckgrenze und vom Mindestwert der Kerbschlagarbeit KV bei definierter Prüftemperatur T für verschiedene Einsatztemperaturen T_{Ed} und Bauteilbeanspruchungen σ_{Ed} (siehe Abs. 4)

Stahl- sorte	Kerbschlagarbeit		Einsatztemperatur T_{Ed} in °C																	
	bei T °C	KV J	für $\sigma_{Ed} = 0,25 \cdot f_{yk}(t)$						für $\sigma_{Ed} = 0,50 \cdot f_{yk}(t)$						für $\sigma_{Ed} = 0,75 \cdot f_{yk}(t)$					
			0	-10	-20	-30	-40	-50	0	-10	-20	-30	-40	-50	0	-10	-20	-30	-40	-50
größte zulässige Erzeugnisdicke t_z in mm																				
S235	20	27	110	100	85	75	65	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0	0
	0	27	150	130	110	85	75	60	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0
	-20	27	190	170	150	130	110	100	85	75	60	55	45	35	25	15	10	5	0	0
	20	27	105	90	80	70	60	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0	0
S275	0	27	140	120	105	90	80	70	65	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0
	-20	27	180	160	140	120	105	90	80	65	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0
	-20	40	205	180	160	140	120	105	90	80	65	55	45	35	25	15	10	5	0	0
	-50	27	260	230	205	180	160	140	120	105	90	80	65	55	45	35	25	15	10	5
S355	20	27	95	80	70	60	50	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0	0	0
	0	27	125	110	95	80	70	60	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0
	-20	27	165	145	125	110	95	80	70	65	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0
	-20	40	190	165	145	125	110	95	80	65	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0
S420	-50	27	240	215	190	165	145	125	110	90	80	65	55	45	35	25	15	10	5	0
	-20	40	180	155	135	115	100	85	75	60	55	45	35	25	15	10	5	0	0	0
	-50	27	230	200	180	155	135	115	100	85	70	60	50	40	30	20	15	10	5	0
	-20	30	150	130	110	95	80	70	60	50	40	35	25	15	10	5	0	0	0	0
S460	-20	40	170	150	130	110	95	80	70	60	50	40	35	25	15	10	5	0	0	0
	-40	30	195	170	150	130	110	95	80	70	60	50	40	35	25	15	10	5	0	0
	-50	27	220	195	170	150	130	110	95	80	70	60	50	40	35	25	15	10	5	0
	-60	30	245	220	195	170	150	130	110	95	80	70	60	50	40	35	25	15	10	5
S690	0	40	95	80	70	60	50	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0	0	0
	-20	30	110	95	80	70	60	50	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0	0
	-20	40	130	110	95	80	70	60	50	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0	0
	-40	30	145	125	110	95	80	70	60	50	45	35	25	15	10	5	0	0	0	0
	-40	40	165	145	125	110	95	80	70	60	50	45	35	25	15	10	5	0	0	0
	-60	30	185	165	145	125	110	95	80	70	60	50	45	35	25	15	10	5	0	0

Aufgabe 2**20 min**

Der unten dargestellte, gabelgelagerte Einfeldträger wird in Feldmitte durch ein Torsionsmoment M_T belastet.

Berechnen Sie die Verdrehung ϑ des Trägers in Feldmitte sowie die in Feldmitte im Querschnitt auftretende größte Schubspannung τ .

**Schnitt A-A: Mittellinienquerschnitt****Maße in [mm]**

Angaben:

$$M_T = 9 \text{ kNm}$$

$$G = 2700 \text{ kN/cm}^2$$

Aufgabe 3

35 min

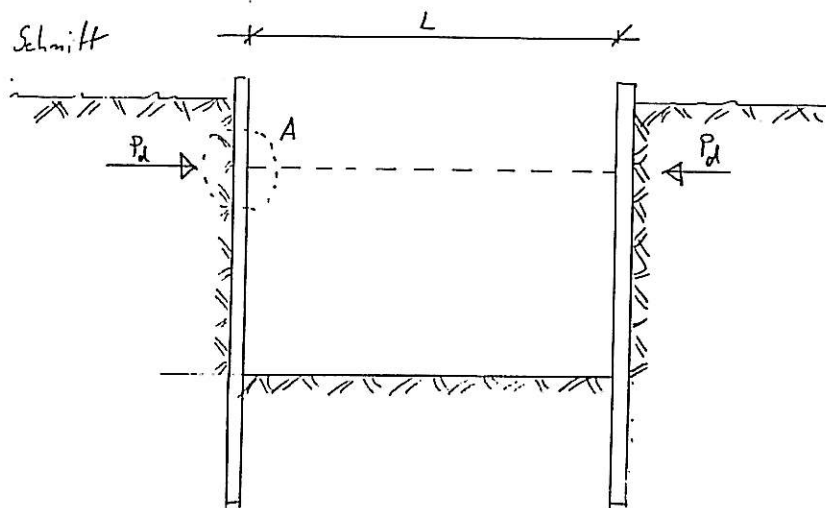
In der nachfolgenden Skizze ist eine Baugrube mit Berliner Verbau dargestellt. In Höhe der gestrichelten Linie müssen Versteifungen eingebaut werden, die für die angegebene Bemessungslast P_d zu dimensionieren sind. Auf der Baustelle ist folgendes Material verfügbar

- zwei U140 $l=6000\text{mm}$ aus S235 für jede Strebe
- BL 160x100x20 aus S235 in ausreichender Anzahl

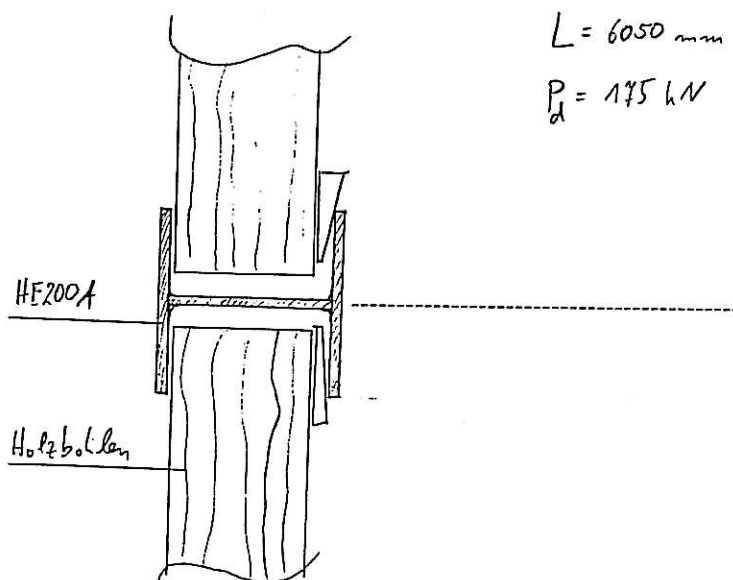
Auf der Baustelle sind folgende Werkzeuge und Maschinen verfügbar:

- Schweißgenerator geeignete Schweißelektroden und zugehöriges Kleinwerkzeug
- Kran

Konstruieren und bemessen Sie die erforderliche Strebe und beschreiben Sie in Stichworten den Bauablauf für den Einbau der Druckstrebe und deren Anschluß an den HE200A. Fertigen Sie eine Skizze der Konstruktion an, in der alle für die Fertigung wichtigen Maße und Beschriftungen angegeben sind.



Detail A 1:5



$$L = 6050 \text{ mm}$$

$$P_d = 175 \text{ kN}$$

sh

Aufgabe 4

15 min

Gegeben ist ein Verbundträger mit den Abmessungen aus Abbildung 4.1. Ermitteln Sie für den gegebenen Träger die plastischen Momententragfähigkeiten nach den Richtlinien für Stahlverbundträger (März 1981) für ein negatives und ein positives Moment, und skizzieren Sie die plastischen Spannungsverteilungen direkt in Abbildung 4.2.

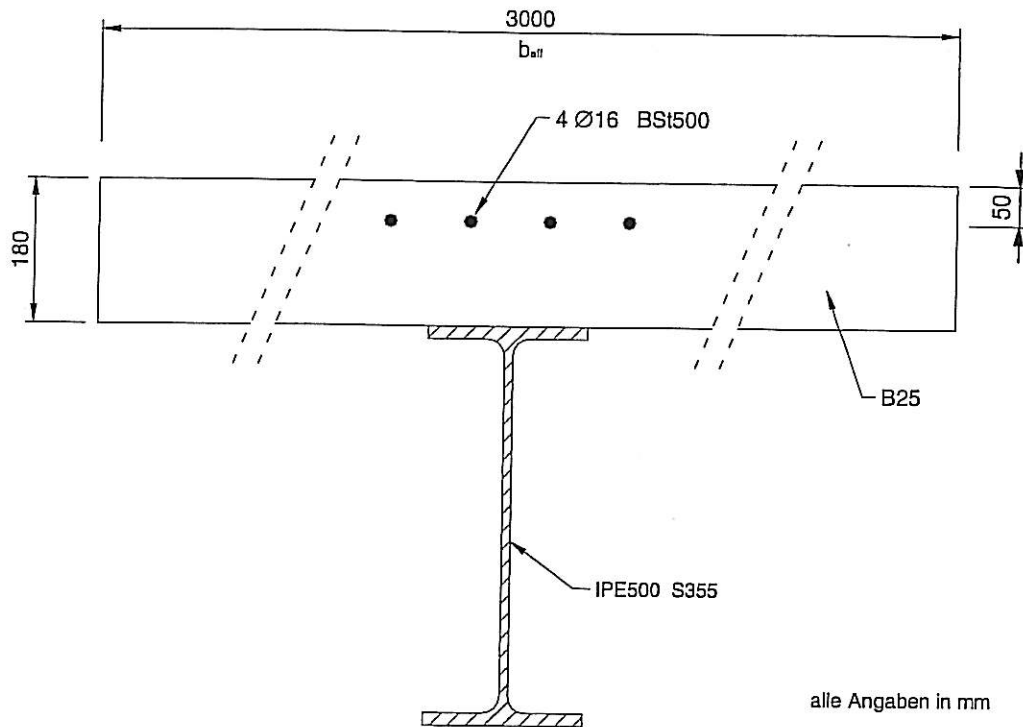


Abbildung 4.1: Querschnitt des Verbundträgers

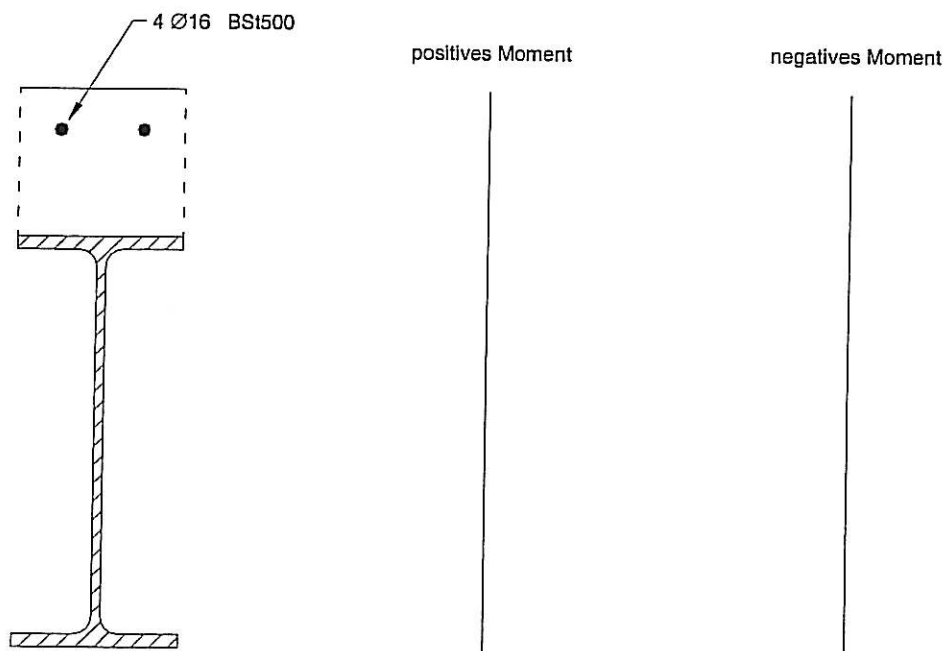
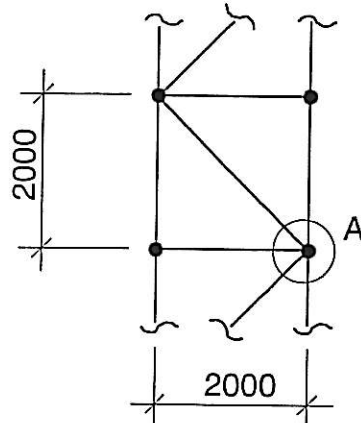


Abbildung 4.2: plastische Spannungsverteilungen

sh

Aufgabe 5**30 min**

In Abbildung 5.1 ist ein Ausschnitt des statischen Systems eines Stahlgitterturms dargestellt. Konstruieren und bemessen Sie den Knoten A und zeichnen Sie Ihre Konstruktion maßstäblich in Anlage 5.1. Dazu sind auch die Füllstäbe zu wählen und nachzuweisen. Es sollen dafür gleichschenklige Winkelprofile verwendet werden, die nach Möglichkeit direkt auf die Außenseiten der Eckstiele lösbar anzuschließen sind.

Abbildung 5.1

Alle Maße in mm.

Angaben

Maximale Diagonalkräfte:

Material:

Profile:

 $D = \pm 90 \text{ kN}$

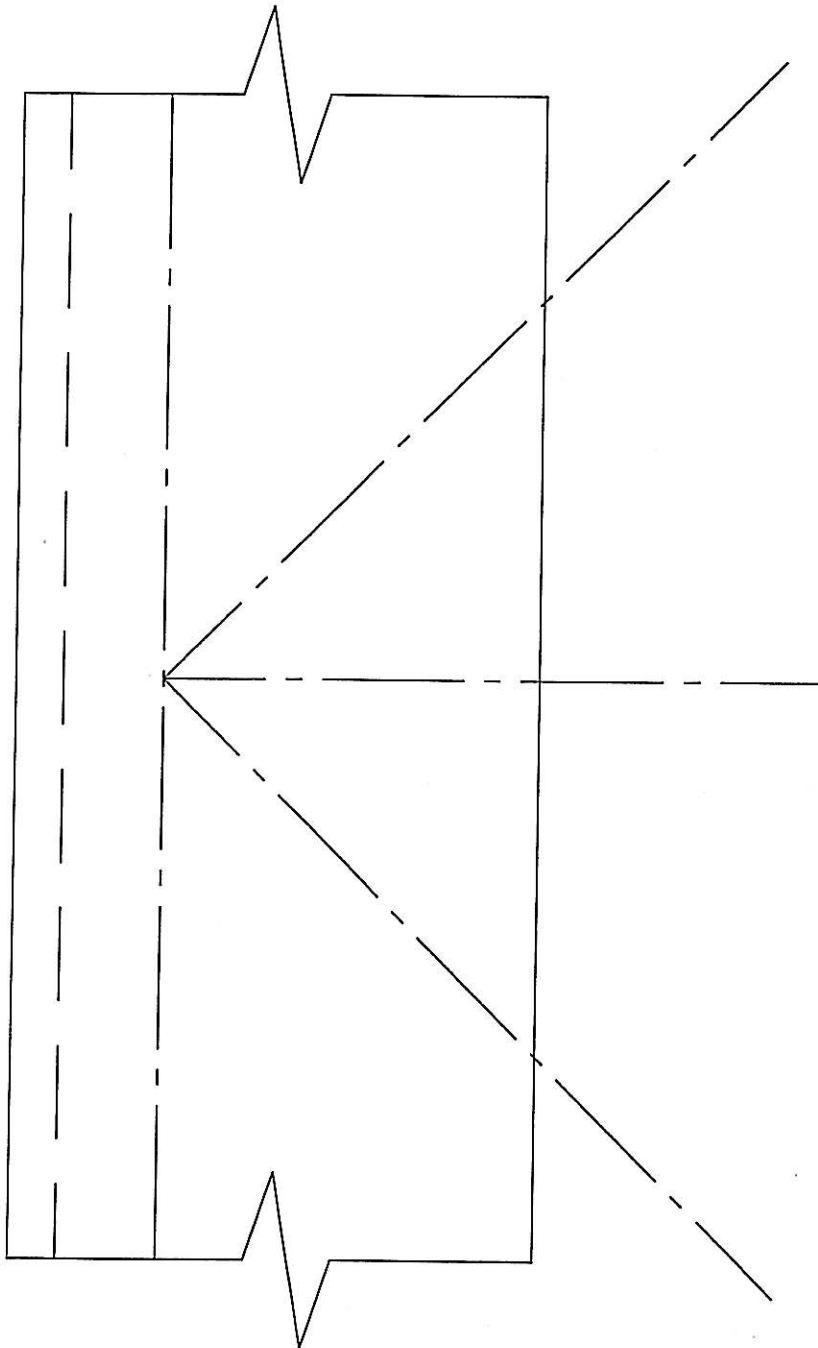
Profil S235JRG2

Schrauben Festigkeitsklasse 10.9

Gleichschenkliger Winkelstahl

Stütze L 180 x 16

Anlage 5.1



Maßstab 1: 1

sh

He 03 |

Musterlösung Fachschaft
Aufgabe 1

Lösung

Zu 1)

max möglich nach Anlage 1: S235J2G3

Lösung zu a)

	Diagonale d = 70mm	Knotenblech t = 20mm
Spannungszustand	Mittel	Hoch
Beanspruchung	Zug	Zug
Temperatur	-10°C	-10°C
Ordnung	1.	1.
Klassifizierungsstufe	III	II
Erf. Stahlgüte	Nicht vorhanden, da max 65mm möglich bei J2	JRG2
	S235J2G3 D = 60mm)	S235JRG2 (t = 20mm)

Der Schweißnahtanschluß der Diagonale kann maximal aufnehmen

$$F = (2 \times 12 + 7) \times 0,8 \times 0,95 \times 24,0 / 1,1 = 514 \text{ kN}$$

Für die Aufnahme dieser Zugkraft reicht als Durchmesser aus

$$d_{\text{erf}} = \{ (514 \times 4 \times 1,1) / (\pi \times 21,5) \}^{0,5} = 5,8 \text{ cm}$$

Es wird anstelle des vorgegebenen D = 70mm ein Durchmesser von 60mm für die Zugdiagonale gewählt. Dafür reicht der Stahl S235J2G3 aus.

Lösung zu b)

Größte zulässige Erzeugnisdicke für S235J0 bei t = -10°C: $(85+60)/2 = 72,5 \text{ mm} > 70 \text{ mm}$

Größte zulässige Erzeugnisdicke für S235JR bei t = -10°C: $(65+40)/2 = 52,5 \text{ mm} >> 20 \text{ mm}$

Zu 2) Aufschweißbiegeversuch

2a) 3.1.B wegen Aufschweißbiegeprobe

2b) 2.2

Zu 3) Herstellerqualifikation D (Großer Eignungsnachweis) wegen Erzeugnisdicke > 30mm und Spannweite. Es sind ein Schweißfachingenieur und geprüfte Schweißer nach DIN EN287-1 erforderlich.

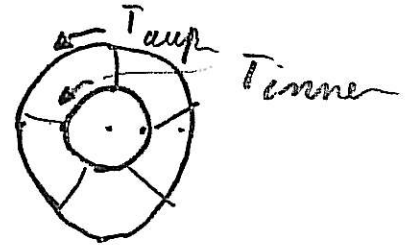
Zu 4) Ja, das entspricht Bewertungsgruppe C

Zu 5) Weil die Bauteildicke größer als 40mm ist

He 031 Lösung: Aufgabe 2

- 1 -

$$I_T = I_{T, \text{außen}} + I_{T, \text{innen}}$$

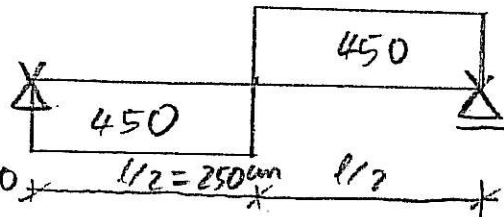


$$I_{T_i} = \frac{4 \cdot A_{T_i}^2}{6 \frac{d_{s,i}}{t}} = 2 \cdot \pi \cdot r_i^3 \cdot t$$

mit: $\frac{r_a}{r_i} = 2 \Rightarrow \frac{I_{T, \text{außen}}}{I_{T, \text{innen}}} = 8$

$$\Rightarrow I_T = 9 \cdot I_{T, \text{innen}} = 18 \cdot \pi \cdot r_i^3 \cdot t = 18 \cdot \pi \cdot 2,5^3 \cdot t = 441,79 \text{ cm}^4$$

M_T -Verlauf:



$$\begin{aligned} \vartheta(x = l/2) &= \frac{450}{2700 \cdot 441,79} \cdot 250 \cdot \frac{1}{2} = 0,094 \text{ rad} \stackrel{\wedge}{=} 5,40^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\text{außen}} &= \frac{M_T(x = l/2)}{2 \cdot A_{T, \text{außen}} \cdot t} \cdot \frac{I_{T, \text{außen}}}{I_T} \\ \tau_{\text{innen}} &= \frac{M_T(x = l/2)}{2 \cdot A_{T, \text{innen}} \cdot t} \cdot \frac{I_{T, \text{innen}}}{I_T} \Rightarrow \frac{\tau_{\text{außen}}}{\tau_{\text{innen}}} = 2 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \tau_{\text{max}} = \frac{450}{2 \cdot \pi \cdot 5^2 \cdot 0,5} \cdot \frac{8}{9} = 5,09 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Aufgabe 3
 $L = 6,00 \text{ m}$

$P = 175 \text{ kN}$
 $V = 14,56 \text{ kN}$

①

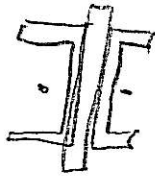
H203

$I_{z1} = 62,4$

$A = 20,4 \text{ cm}^2$

$\bar{c}_{z1} = 1,75$

$h_y = 20 + 14,5 \cdot 2 = 5,50 \text{ cm}$



$I_z = 2 \cdot 62,4 + 2 \cdot \left(\frac{5,5}{2}\right)^2 \cdot 20,4 = 434 \text{ cm}^4$

$\bar{c} = \sqrt{\frac{434}{2 \cdot 20,4}} = 3,26$

$\bar{\lambda} = \frac{600}{3,26 \cdot 92,7} = 1,98$

$\alpha = 0,20$

$N_{Ed} = 0,2 \cdot 2 \cdot 20,4 \cdot 21,8 = 178 \text{ kN}$

$\frac{175}{178} = 0,984 < 1 \checkmark$

Bindebleche:

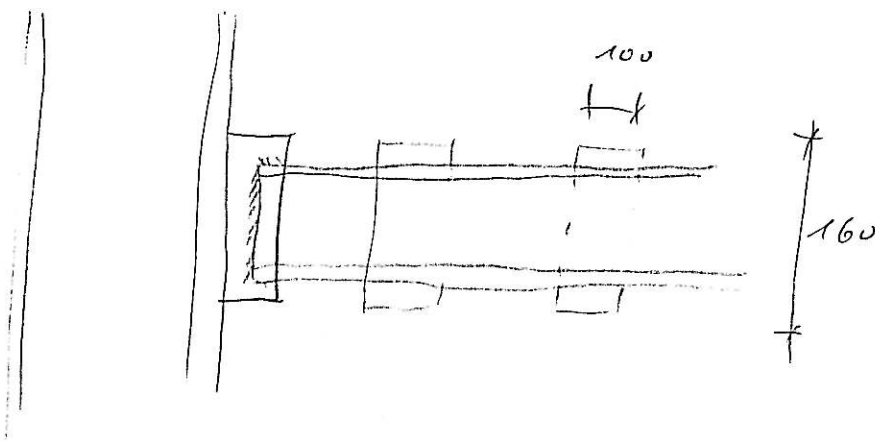
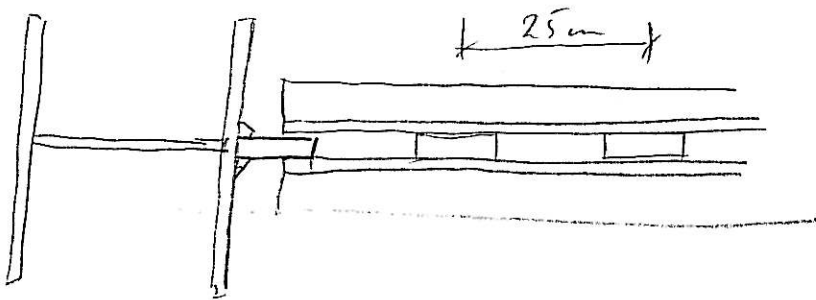
$a = 15 \cdot i = 15 \cdot 1,75 = 26,25 \text{ cm} \text{ pro } 25 \text{ cm}$

(2)

$$T = \frac{V \cdot a}{h_y} = \frac{17,5 \text{ kN} \cdot 25 \text{ mm}}{55 \text{ mm}} = 796 \text{ N}$$

$$\text{erf. } a = \frac{796 \text{ N}}{2 \cdot 10 \text{ mm} \cdot \frac{20,6 \text{ kN}}{\text{cm}^2}} = 0,19 \text{ cm}$$

gewählt: $a = 4 \text{ mm}$ Δ



Nachweis Schweißnaht Aus dby/blech

$$\text{erf. } a = \frac{17,5 \text{ kN}}{2 \cdot 14 \text{ mm} \cdot \frac{20,6 \text{ kN}}{\text{cm}^2}} = 0,3 \text{ cm}$$

gewählt: $a = 4 \text{ mm}$

Bau ablauf

2 U 140 auslegen

Bindebleche anschweißen Ummantlung

umdrehen 2. Nst in Wannenlage schweißen

Führerbleche an HFA anschweißen

Stäbe mit Kran positionieren

Stäbe an Führerbleche anschweißen

Aufgabe 4

Stahlbau

He'03

$$B_{eff} = 3000 \text{ mm}$$

$$\rho_E = 15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$d = 180 \text{ mm}$$

$$\text{IPE: } A_a = 11600 \text{ mm}^2$$

$$s = 10,2 \text{ mm}$$

$$h_{\text{steg}} = 426 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$S_y = 1100 \text{ cm}^3$$

$$f_{y,a} = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Stahl: } d = 16 \text{ mm} \quad n = 4 \quad \longrightarrow \quad A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n = 804,25 \text{ mm}^2$$

$$f_{y,s} = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Negatives Element: Annahme: plastische Nulllinie im Steg

$$M_{pl, IPE} = 2 \cdot f_{y,a} \cdot S_y = 792 \text{ kNm}$$

$$Z_s = A_s \cdot f_{y,s} = 402,1 \text{ kN}$$

$$\tilde{h} = \frac{Z_s}{S \cdot f_{y,a}} = 109,5 \text{ mm} < h_{\text{steg}} = 426 \text{ mm}$$

$$\rightarrow M_{pl} = -Z_s \cdot a \cdot \left(1 - \frac{\tilde{h}}{4 \cdot a}\right) - M_{pl, IPE}$$

$$\left(\text{mit } a = (180 - 50) + \frac{h}{2} = 380 \text{ mm}\right)$$

$$M_{pl} = -402,1 \cdot 0,38 \cdot \left(1 - \frac{0,1095}{4 \cdot 0,38}\right) - 792 = \underline{\underline{-933,79 \text{ kNm}}}$$

Positives Element: Annahme: plastische Nulllinie im Beton

$$D_b = D \cdot x_{pl} \cdot \rho_E = Z_a = A_a \cdot f_{y,a} = 4176 \text{ kN}$$

$$\rightarrow x_{pl} = \frac{Z_a}{D \cdot \rho_E} = 92,8 \text{ mm} < d_B = 180 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{x_{pl}}{2} = 46,4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow M_{pl} = Z_a (x_a + d - x_b) \quad , \text{ mit } x_a = \frac{h}{2} = 250 \text{ mm}$$

$$= 4176 \cdot (0,25 + 0,18 - 0,046) = \underline{\underline{1603,58 \text{ kNm}}}$$

Diagonalen gewählt: L 90 x 9

Druckstrebe

$$\left. \begin{array}{l} s_k = 200 \sqrt{2} = 283 \text{ cm} \\ i_{\min} = 1,76 \text{ cm} \end{array} \right\} \lambda_k = \frac{283}{1,76} = 160,8 \Rightarrow \bar{\lambda}_k = \frac{160,8}{92,9} = 1,73$$

Biegesteifer Anschluß - Vernachlässigung der Exzentrizität $\Rightarrow \bar{\lambda}_k' = 0,5 + 0,646 \cdot 1,73 = 1,62$

KSpL c: $\alpha = 0,49 \Rightarrow k = 0,5 [1 + 0,49(1,62 - 0,2) + 1,62^2] = 2,16$

$$k = \frac{1}{2,16 + \sqrt{2,16^2 - 1,62^2}} = 0,28 \quad ; \quad N_{pl} = 15,5 \cdot \frac{24}{1,1} = 338 \text{ kN}$$

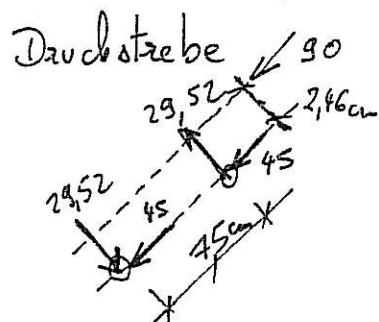
$$\frac{N}{k \cdot N_{pl}} = \frac{90}{0,28 \cdot 338} = 0,95 < 1 \text{ Nachweis erfüllt}$$

Zugstrebe

$$A_N = 15,5 - (2,1 \cdot 0,9) = 13,6 \quad \frac{A_B}{A_N} = 1,13 < 1,2 \Rightarrow \frac{N}{N_{pl}} = \frac{90}{338} = 0,26 < 1 \text{ NW erfüllt!}$$

Schrauben

Berücksichtigung der Exzentrizitäten: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Lochachse / Stabachse L 90 x 9: } e = 5 - 2,54 = 2,46 \text{ cm} \\ \text{Stützenachse / Zugstrebe: } e = 2,54 + 5,02 + 0,9 = 8,46 \text{ cm} \\ \text{" / Druckstrebe: } e = 2,54 + 5,02 = 7,56 \text{ cm} \end{array} \right.$

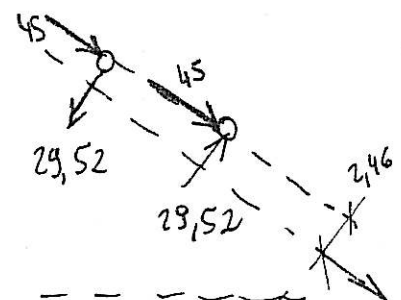


$$F_{\text{quer}} = \frac{90 \cdot 2,46}{7,5} = 29,52 \text{ kN}$$

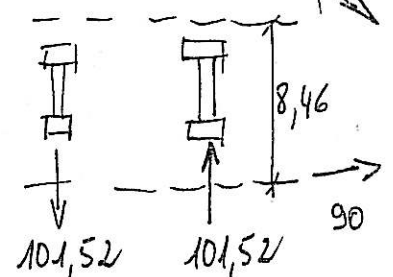
$$V_d = \sqrt{45^2 + 29,52^2} = 53,8 \text{ kN}$$

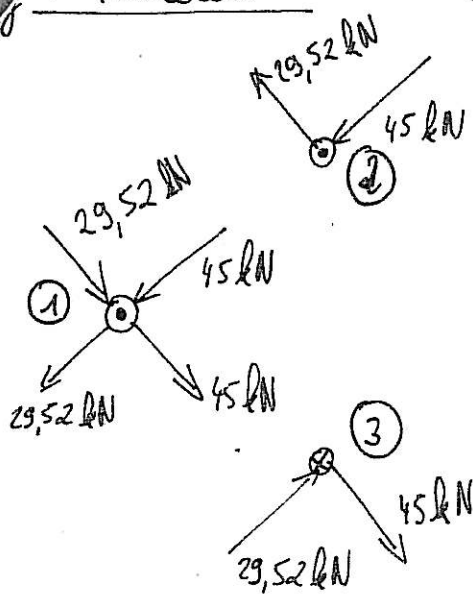
$$F_{\text{zug}} = \frac{90 \cdot 7,56}{7,5} = 90,7 \text{ kN}$$

Zugstrebe



$$F_{\text{zug}} = \frac{90 \cdot 8,46}{7,5} = 101,52 \text{ kN}$$





Schraube ① $N_d = 101,52 - 90,7 = 10,8 \text{ kN}$

$V_d = \sqrt{2} (45 + 29,52) = 105,4 \text{ kN}$

Schraube ② $N_d = 90,7 \text{ kN}$

$V_d = \sqrt{45^2 + 29,5^2} = 53,8 \text{ kN}$

Schraube ③ $V_d = 53,8 \text{ kN}$

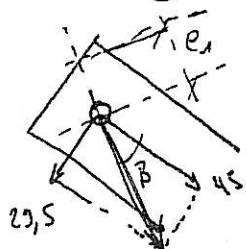
Gewählt Schrauben M16 - 10.9 mit $\begin{cases} V_{a,R,d} = 114 \text{ kN} \\ N_{R,d} = 114 \text{ kN} \end{cases}$

Einzelnachweise erfüllt.

Interaktion $\begin{cases} ①: \left(\frac{10,8}{114} \right)^2 + \left(\frac{105,4}{114} \right)^2 = 0,86 < 1 \\ ②: \left(\frac{90,7}{114} \right)^2 + \left(\frac{53,8}{114} \right)^2 = 0,86 < 1 \end{cases}$

Lochleibung:

Schraube ① - Zugstrebe



$\beta = \arctan \frac{29,5}{45} = 33,2^\circ$

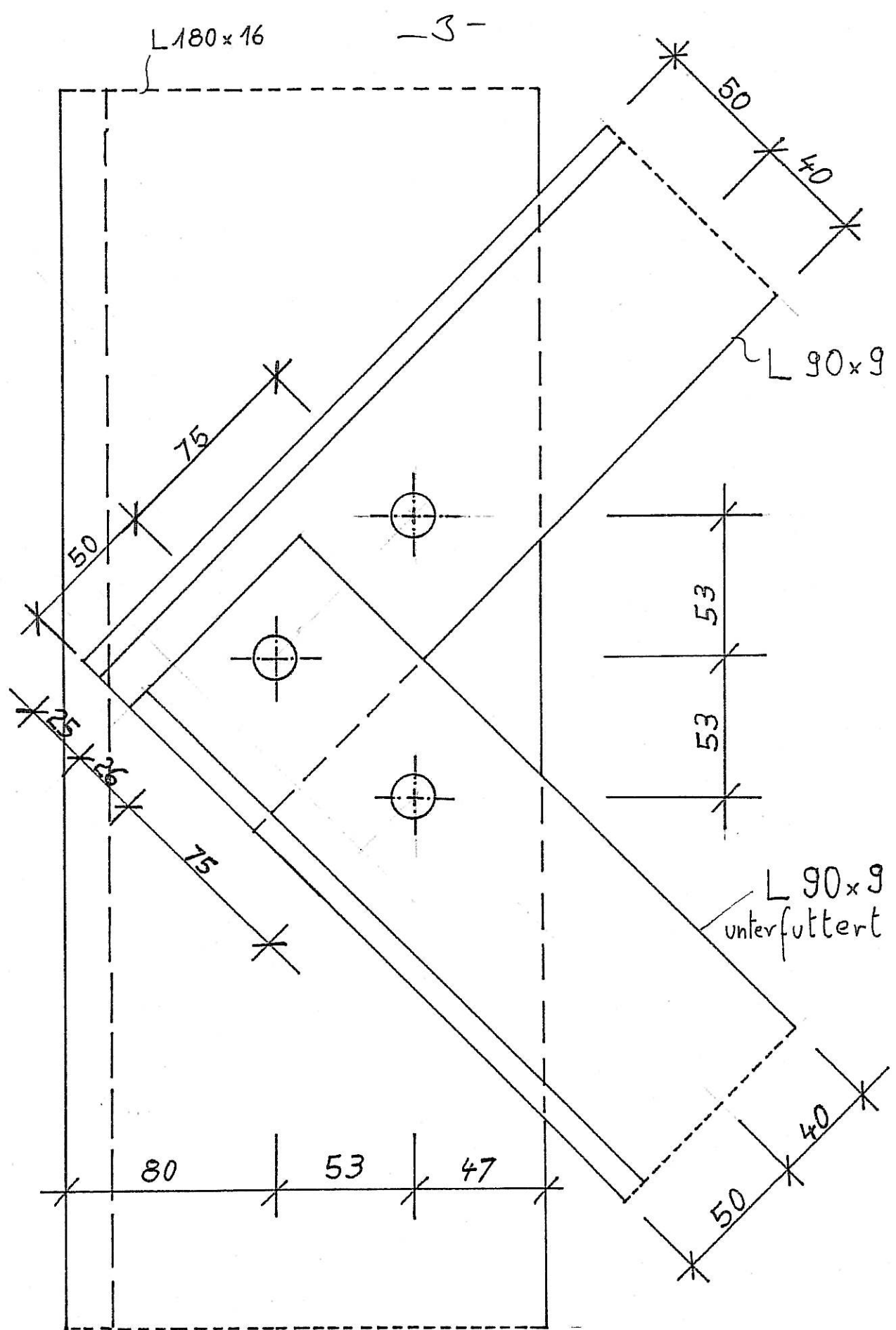
$e_1 = \frac{26}{\cos 33,2^\circ} = 31,07 \text{ mm}$

$\alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{31,07}{17} - 0,3 = 1,71$

$V_{d,R,d} = 0,9 \cdot 1,71 \cdot 1,7 \cdot \frac{24}{1,1} = 57,1 \text{ kN}$

Schraube ① Stütze: $V_d = 105,4 \text{ kN}$

$V_{d,R,d} = 1,6 \cdot 3 \cdot 1,7 \cdot \frac{24}{1,1} = 178,04 \text{ kN}$



Alle Schrauben M16-10.9 (P)

Maßstab 1:2