

Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau

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

76131 Karlsruhe
Kaiserstraße 12

DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG

Stahlbau

28. Juli 2005

Name:

Prüfungszeit: 120 min

Aufgabe:	1	2	3	4
erreichte Punktzahl:				

abgegebene Blätter:	
------------------------	--

SA.

Aufgabe 1**25 min****Aufgabenteil 1.A:**

Es wurde eine WPS für die in der Spalte 1 der folgenden Tabelle angegebenen Bedingungen erstellt. In den Spalten 2 bis 5 sind veränderte Situationen angegeben, wobei die Abweichung durch fette Schrift gekennzeichnet ist. Geben Sie in der letzten Zeile der Tabelle an, ob die WPS aus Spalte 1 für diesen Fall gilt und fügen Sie danach Ihre Begründung für die Entscheidung an.

1	2	3	4	5
S355J2G3	S235JRG2	S355J2G3	S355J2G3	S355J2G3
Stumpfnah	Stumpfnah	Stumpfnah	Stumpfnah	Stumpfnah
t = 15mm	t = 15mm	t = 15mm	t = 15mm	t = 15mm
111	111	111	114	111
PF	PF	PA	PF	PF
Gleichstrom +	Gleichstrom +	Gleichstrom +	Gleichstrom +	Wechselstrom
ja	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein

Begründung zu Spalte 2:

Begründung zu Spalte 3:

Begründung zu Spalte 4:

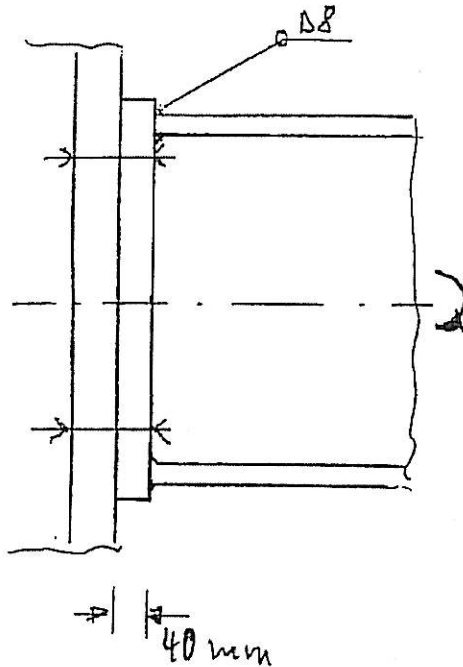
Begründung zu Spalte 5:

Sh

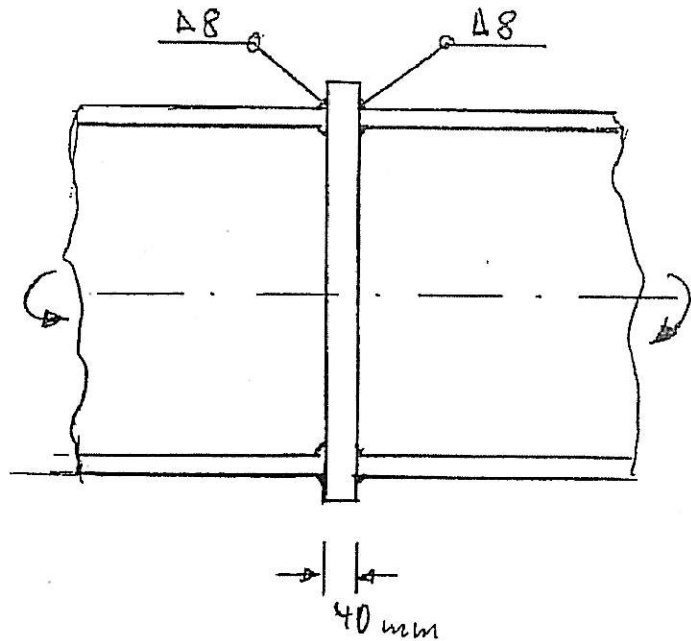
Aufgabenteil 1.B:

Ermitteln Sie anhand des beigefügten Auszugs aus DAST-Richtlinie 014 (Anlagen auf Seiten 4 bis 6) die erforderlichen Brucheinschnürungen Z_D und die Güteklassen für die beiden dargestellten Stirnplattenstöße.

Fall a)



Fall b)

**Aufgabenteil 1.C:**

Es ist ein 12m langer, geschweißter Kranbahnträger aus S235JRG2 mit doppel-symmetrischem Querschnitt (Gurte: Flachstahl 25x150x12000, Steg: Flachstahl 10x400x12000) herzustellen.

- I) Welches Schweißverfahren ist aus Wirtschaftlichkeitsgründen anzuwenden?
- II) Ist der Schweißer, für den die auf Seite 7 dargestellte Bescheinigung vorgelegt wird, berechtigt die unter I) festgelegten Schweißarbeiten auszuführen?
- III) Welche Herstellerqualifikation benötigt der Hersteller des Kranbahnträgers?

Begründen Sie ihre Antworten zu den Fragen I) bis III).

Sh

Anlage 1 zu Aufgabenteil 1.B:**6. Bestimmung der erforderlichen Bruch-einschnürung bei Beanspruchung in Dickenrichtung und Empfehlungen zur Wahl der Stahlgüteklassen für in Dickenrichtung beanspruchte Konstruktionen aus Blech, Band und Breitflachstahl**

Terrassenbrüche treten überwiegend während der Fertigung dann auf, wenn das Walzerzeugnis in Dickenrichtung nur geringere plastische Formänderungen ertragen kann als die beim Schweißen entstehenden Beanspruchungen erfordern. Die Terrassenbruchneigung stellt also überwiegend ein Fertigungsrisiko dar. Beanspruchungen durch Lasten führen weniger oft zu Terrassenbrüchen. Ursachen sind in solchen Fällen primär periodische Beanspruchungen und Stoßbeanspruchungen.

In Tabelle 2 s.S.9 sind Einflüsse aufgeführt, die das Verhalten eines Bauteils bei Beanspruchung in Dickenrichtung bestimmen. Sie sind denjenigen Anteilen der erforderlichen Brucheinschnürung $\text{erf } Z_{Dn}$ ($n = \text{Einflüsse A bis E}$) gegenübergestellt, die nötig sind, damit die Einflüsse keinen Terrassenbruch bewirken. Aus Tabelle 2 können für die Einflüsse A bis E die Anteile $\text{erf } Z_{Dn}$ entnommen werden, deren Summe den Wert der Brucheinschnürung $\text{erf } Z_D$ darstellt:

$$\text{erf } Z_D = \text{erf } Z_{DA} + \text{erf } Z_{DB} + \dots + \text{erf } Z_{DE} \quad (1)$$

Negative $\text{erf } Z_{Dn}$ -Werte zeigen an, daß der Einfluß die terrassenbruchfördernde Wirkung anderer Einflüsse in bestimmten Grenzen auszugleichen vermag.

Im Einflußbereich D (konstruktionsabhängige Steifigkeit) müssen über die gegebenen Empfehlungen hinaus die Besonderheiten der jeweiligen Konstruktion sorgfältig abgeschätzt werden. Als Hilfe kann die Aufstellung von Bauteilen mit niedrigem, mittlerem und hohem Spannungszustand aus der

DAST-Richtlinie 009 "Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten" herangezogen werden.

Die nach Tabelle 2 und Formel (1) ermittelten Werte $\text{erf } Z_D$, bei deren Einhaltung davon ausgegangen wird, daß Terrassenbrüche im Bauteil vermieden werden, sind als Anhaltswerte zu betrachten; denn für eine statistische Absicherung der Ergebnisse ist die Auswertung einer noch größeren Anzahl von Terrassenbruchfällen erforderlich. Für Bleche über 60 mm Dicke liegen so wenige Werte vor, daß für diesen Dickenbereich in dieser Richtlinie keine Empfehlungen ausgesprochen werden.

Als Empfehlung werden die in Tabelle 3 angegebenen Bereiche für $\text{erf } Z_D$ den Güteklassen 1 bis 3 der Stahl-Eisen-Lieferbedingungen 096 "Blech, Band und Breitflachstahl mit verbesserten Eigenschaften für Beanspruchungen senkrecht zur Erzeugnisoberfläche" (SEL 096) zugeordnet.

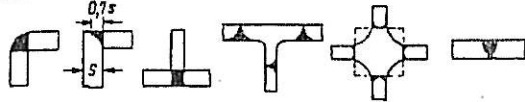

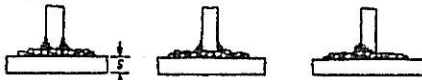

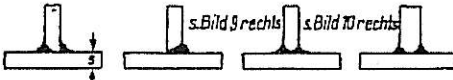
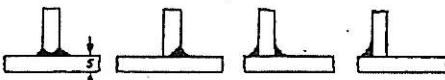

Tabelle 3

Zuordnung der nach Tabelle 2 und Formel (1) bestimmten erforderlichen Brucheinschnürungen bei Beanspruchung in Dickenrichtung $\text{erf } Z_D$ zu Güteklassen nach SEL 096 für Konstruktionen aus Blech, Band und Breitflachstahl

$\text{erf } Z_D$ %	SEL 096	
	Güte- klasse	Brucheinschnürung bei Beanspruchung in Dickenrichtung Mittelwert % mind.
bis 10	-	-
11 bis 20	1	15
21 bis 30	2	25
über 30	3	35

sh

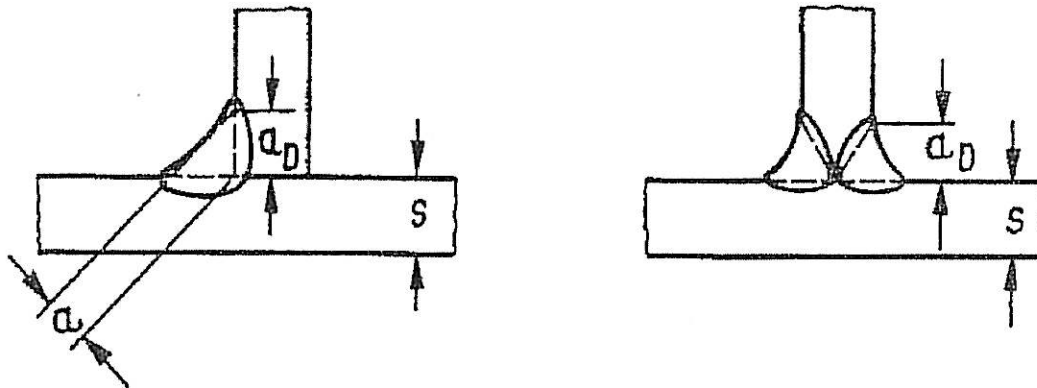
Anlage 2 zu Aufgabenteil 1.B:

Tabelle 2 - Zuordnung der Einflüsse A bis E zu Anteilen der erforderlichen Brucheinschnürungen bei Beanspruchung in Dickenrichtung erf Z_{Dn}			
Einfluß			erf Z_{Dn}
A	Wirksame Nahtdicke a_D 1)	<p>Für $a_D \leq 50$ mm gilt:</p> <p>erf $Z_{DA} = 0,3 a_D$ mit $a_D = a \sqrt{2}$</p> <p>Daraus ergibt sich z.B. für</p> <p> $a_D = 10$ mm $a_D = 20$ mm $a_D = 30$ mm $a_D = 40$ mm $a_D = 50$ mm </p>	<p>3 6 9 12 15</p> <p>} 2)</p>
B	Nahtform und Lage der Naht		- 25
			- 10
			- 5
			0
			3
			5
			8
C	Steifigkeit im Nahtbereich, bedingt durch die Blechdicke	<p>Für Blechdicken $s \leq 60$ mm gilt:</p> <p>erf $Z_{DC} = 0,2 s$ 2)</p> <p>Daraus ergibt sich z. B. für</p> <p> $s = 20$ mm 4 $s = 40$ mm 8 $s = 60$ mm 12 </p> <p>} 2)</p>	
D	Steifigkeit der Konstruktion	wenig steif: freies Schrumpfen möglich, z.B. T-Stoß;	0
		steif: Schrumpfen bedingt möglich, z.B. Querschott im Kastenträger;	3
		sehr steif: hohe Schrumpfbehinderung, z.B. durchgesteckte, ringsum eingeschweißte Träger (Orthotr. Platte)	5
E	Fertigung	<p>Ohne Vorwärmen</p> <p>Vorwärmen über 100°C</p>	<p>0</p> <p>- 8</p>

d_n

Anlage 3 zu Aufgabenteil 1.B:

Fußnoten zu Tabelle 2

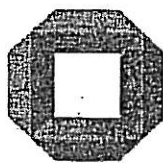


1)

- a = Nahtdicke
 a_D = in Dickenrichtung (durch Schrumpfung) wirksame Nahtdicke
 s = Erzeugnisdicke

- 2) Wird das Walzerzeugnis im Bauwerk in Dickenrichtung ausschließlich auf Druck und vorwiegend ruhend beansprucht (z. B. Fußplatten von Stützen), so sind die Werte zu halbieren.

8h

Anlage 1 zu Aufgabenteil 1.C:**Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine**

(Amtliche Materialprüfungsanstalt)

UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)

Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Blaß und Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Saal

1 Schweißer-Prüfungsbescheinigung

2 Bezeichnung EN 287-1 111 P FW W01 B (15 PD)

3 Seite 1 von

4 Hersteller Schweißanweisung:

5 Beleg-Nr. (falls verfügbar):

6 Name des Schweißers:

7 Legitimation:

8 Art der Legitimation:

9 Geburtsdatum und -ort:

10 Beschäftigt bei:

11 Vorschrift/Prüfnorm:

12 Fachkunde:

13

Personalnummer

15.07.1969, Kedzieizyn- Kozle/ Polen

DIN EN 287-1

bestanden

Prüfstelle: Versuchsanstalt Uni KA

Prüf.-Nr.: 022301 - 000001

Fotografie
(falls nötig)

13 Kenngrößen	Prüfdaten-Angaben		Geltungsbereich
14 Schweißprozeß	111	Lichtbogenhandschweißen	111
15 Blech oder Rohr	P	Blech	P, T
16 Nahtart	FW	Kehlnaht	FW
17 Werkstoffgruppe	W01	S235 JR G2	W01
18 Umhüllungstyp	B		A, B, R, RA, RB, RC, RR
Zusatzwerkstoff / Bez	DIN-EN 499		EN 287-1 Abschnitt 5.3.1
19 Schutzgas			—
20 Hilfsstoffe			—
21 Prüfstückdicke (mm)	15,00		≥ 1,00
22 Rohraußendurchm. (mm)*	0,00		0,00
23 Schweißposition	PD	Horizontal-Überkopposition	PD, PA, PB, PF (nur P)
24 Ausfugen / Badsicherung			—

25 Zusätzliche Hinweise siehe beigefügtes Blatt und/oder Schweißanweisung Nr.:

26	Ausgeführt und	nicht verlangt
27 Art der Prüfung	bestanden	
28		
29 Sichtprüfung	X	-
30 Durchstrahlungsprüfung	-	X
31 Magnetspulverprüfung	-	X
32 Farbeindringprüfung	-	X
33 Makroschliff	-	X
34 Bruchprüfung	X	-
35 Biegeprüfung	-	X
36 Zusatzprüfungen *)	-	X
37		

38 *) falls notwendig, Angabe auf Zusatzblatt

Bemerkung: Die Fachkundeprüfung und die Überwachung des Schweißers beim Schweißen des Prüfstücks erfolgten unter der Verantwortung des für den Betrieb zuständigen Schweißfachingenieurs.



Mössinger

Karlsruhe

23.10.2002

04.10.2004

Mössinger

Ort

Tag der Ausgabe

Gültigkeit der Prüfung bis

Name und Unterschrift
von Prüfer oder Prüfstelle

39

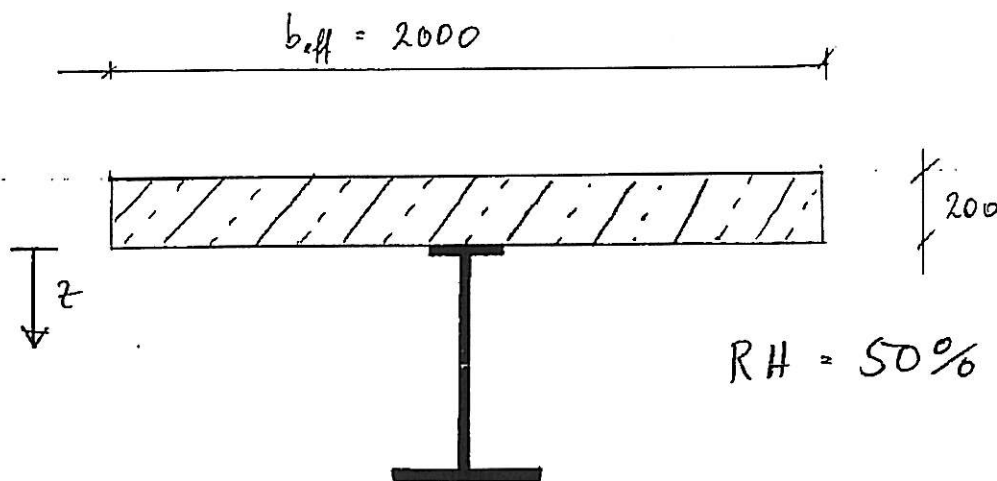
*) Rohrdurchmesser > 500 mm gilt als Blech

Aufgabe 2

30 min

- 1) Ermitteln Sie für den unten dargestellten 12m langen Einfeldträger mit Verbundquerschnitt die Durchbiegung, die sich in Feldmitte zum Zeitpunkt $t = \infty$ infolge Schwinden einstellt, wenn die Streckgrenze des Baustahls nicht erreicht wird.
- 2) Um welchen Faktor ändert sich die Durchbiegung, wenn statt S235JR ($f_{y,k}=240\text{N/mm}^2$) S355J2 ($f_{y,k}=360\text{N/mm}^2$) verwendet wird.

Verbundquerschnitt:



alle Maße in mm

Baustahl: S235JR

Beton: C30/37

Obergurt: BL 200 x 20

Zement: 32,5R

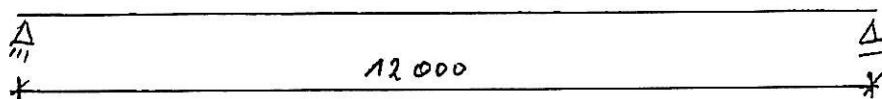
Steg: BL 600 x 10

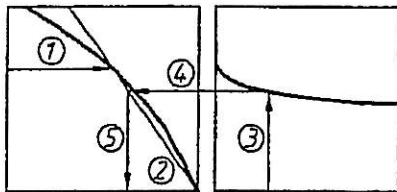
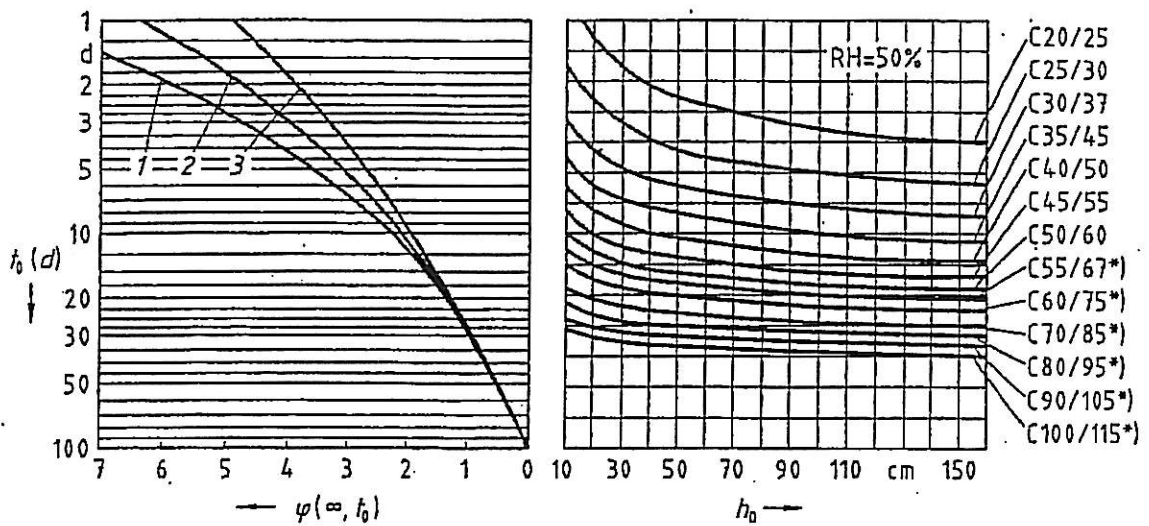
 $E_{cm} = 31900 \text{ N/mm}^2$

Untergurt: BL 400 x 30

 $I_{ya} = 146300 \text{ cm}^4$ $A_a = 220 \text{ cm}^2$ $z_a = 43,5 \text{ cm}$

System:



Anlage 1 zu Aufgabe 2:

*) Im Brückenbau nicht vorgesehen.

Legende

- 1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5N¹⁾
- 2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5N¹⁾
- 3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5N; 52,5R¹⁾
- 1) weitere Beispiele für die Zuordnung der Zementarten siehe DAfStb-Heft 525

$$h_0 = 2 A_c / u$$

Dabei ist

u die Abwicklung der der Austrocknung ausgesetzten Begrenzungsfläche des gesamten Betonquerschnitts. Bei Kastenträgern ist im Allgemeinen die Hälfte des inneren Umfangs zu berücksichtigen.

A_c die Fläche des gesamten Betonquerschnittes

Abb. 3.118: Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und trockene Umgebungsbedingungen (trockene Innenräume, relative Luftfeuchte = 50 %)

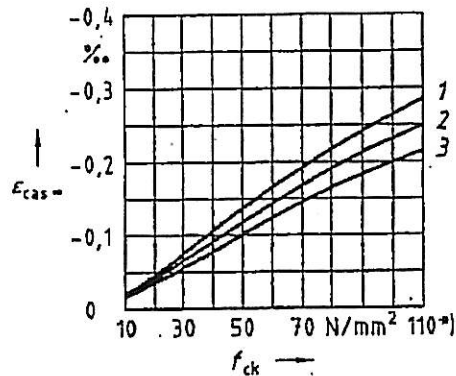
Ch.

Anlage 2 zu Aufgabe 2:

(9)*

Zur Berechnung der Schwinddehnung zu einem beliebigen Zeitpunkt siehe DAfStb-Heft 525.

Für $t = \infty$ sollten 30 000 Tage gesetzt werden, um die geplante Nutzungsdauer von ca. 100 Jahren zu repräsentieren.

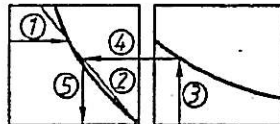
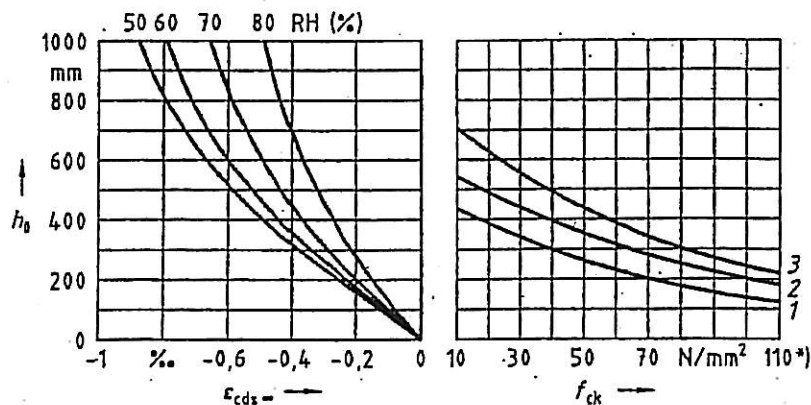


*) Bei Brücken ist die Begrenzung der Betonfestigkeitsklassen nach Tab. 3.1 zu berücksichtigen.

Legende

- 1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5N¹⁾
- 2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5N¹⁾
- 3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5N; 52,5R¹⁾
- 1) weitere Beispiele für die Zuordnung der Zementarten siehe DAfStb-Heft 525

Abb. 3.120: Schrumpfdehnung ε_{cas} zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton



*) Bei Brücken ist die Begrenzung der Betonfestigkeitsklassen nach Tab. 3.1 zu berücksichtigen.

Legende

- 1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5N¹⁾
- 2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5N¹⁾
- 3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5N; 52,5R¹⁾
- 1) weitere Beispiele für die Zuordnung der Zementarten siehe DAfStb-Heft 525

Abb. 3.121: Trocknungsschwinddehnung ε_{cd} zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton

sh

Aufgabe 3**45 min**

Bei einer Stützkonstruktion soll ein Riegel (HE450B) an eine Stütze (HE450B) angeschlossen werden. Konstruieren Sie den biegesteifen und lösbaren Anschluss des Riegels an die Stütze (Knoten A) maßstäblich in Anlage 1 und vermaßen Sie die Zeichnung ausreichend. In Abbildung 1.1 sind das statische System und die Schnittgrößen für den Anschluss gegeben.

Angaben: Material S355

$$N_R = 50 \text{ kN}$$

$$V_R = 200 \text{ kN}$$

$$M_y = 90 \text{ kNm}$$

$$M_T = 40 \text{ kNm}$$

$$N_S = 5 V_R$$

$$V_S = 4 N_R$$

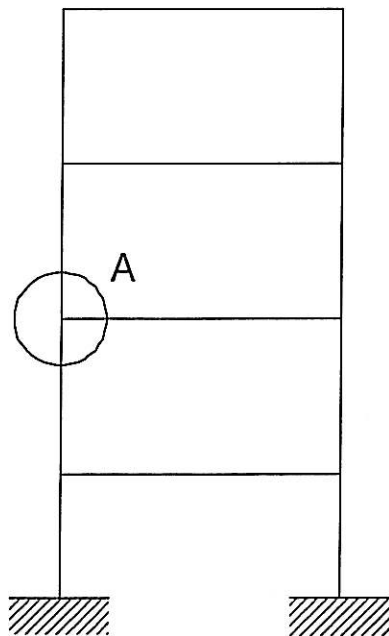
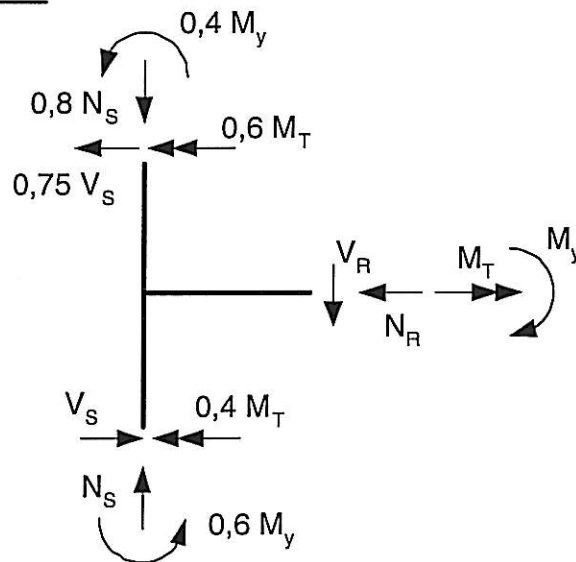
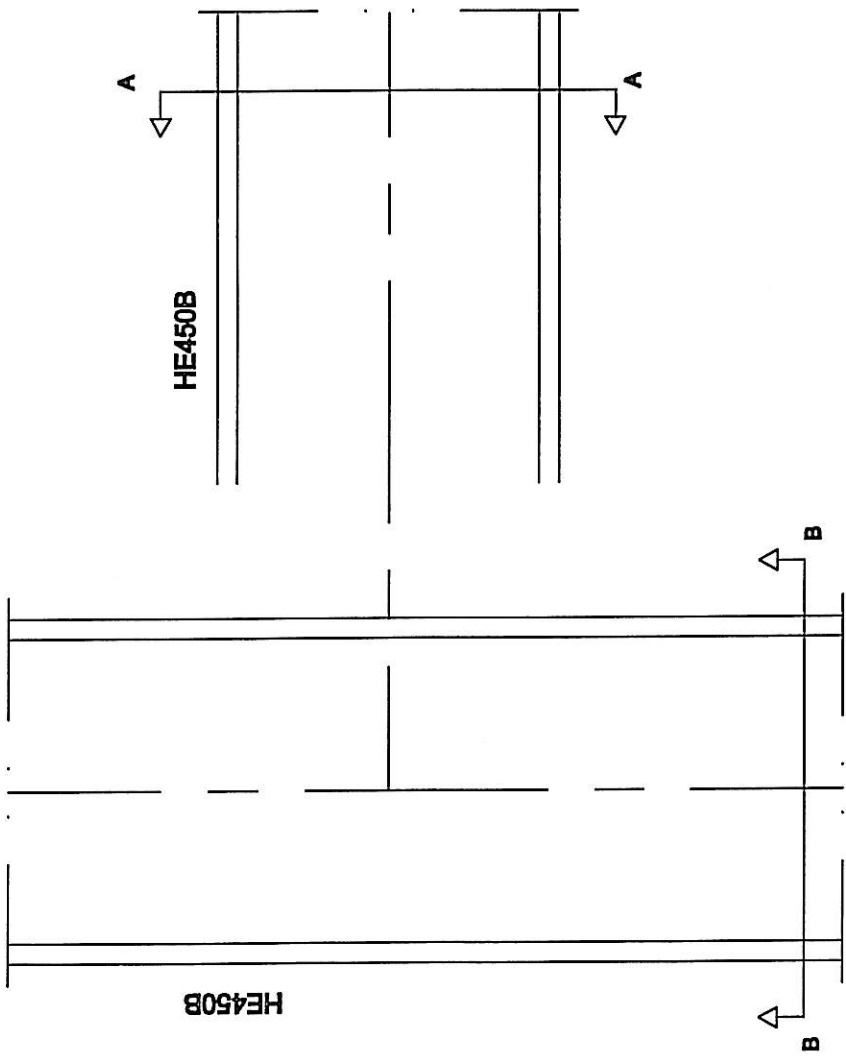
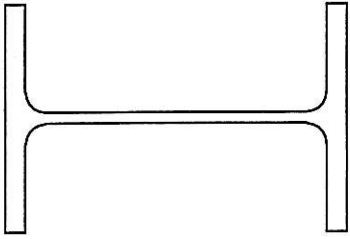
**Knoten A**

Abbildung 1.1: statisches System und Schnittgrößen am Knoten

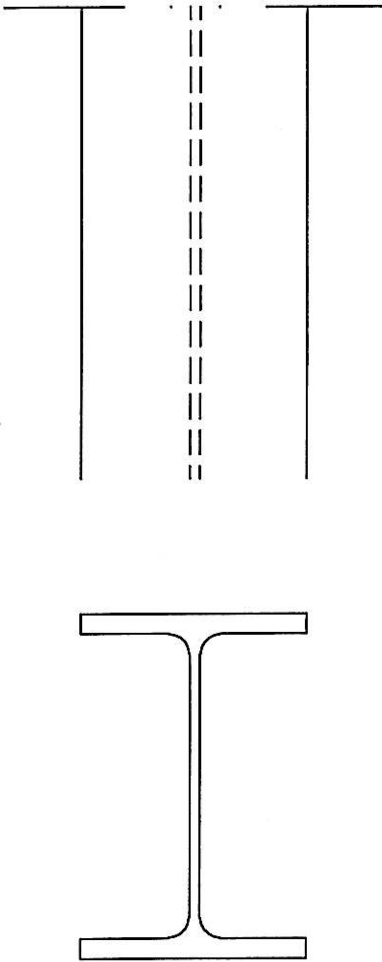
Anlage 1 (Maßstab 1:10)



Schnitt A - A



Schnitt B - B



Aufgabe 4

20 min

An einem auf Ermüdung zu prüfenden Körper, der beidseitig mit einer Kopfplatte abschließt, sollen Laschen gemäß Abbildung 4.1 zur Aufnahme in die Prüfmaschine angebracht werden.

Der Prüfkörper wird in Lastwechselversuchen mit einer Zugschwellbeanspruchung zwischen $F_{\min} = 40\text{kN}$ und $F_{\max} = 400\text{kN}$ belastet.

Dimensionieren Sie die Laschendicke t_L und die Schweißnahtdicke a_w , so dass der Laschenanschluss folgende Kriterien erfüllt:

- Um einen Bruch auszuschließen, soll der Laschenanschluss rechnerisch für mindestens 3.000.000 Lastwechsel dimensioniert werden.
- Aus Wirtschaftlichkeitsgründen soll der Laschenanschluss rechnerisch für nicht mehr als 10.000.000 Lastwechsel dimensioniert werden.
- Bei den Nachweisen sind mögliche oder erforderliche Korrekturen der Ermüdungsfestigkeit **zwingend** zu berücksichtigen.

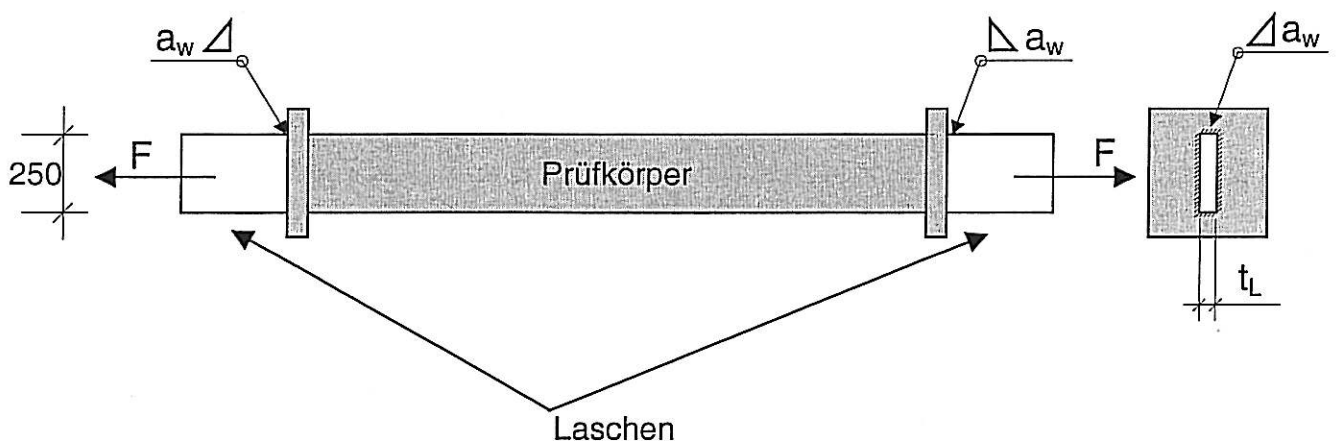


Abbildung 4.1: Prüfkörper und Belastung

4/11 05

Aufgabe 1.A:

WPS aus Spalte 1 Gültig?

Spalte 2: JA

Spalte 3: JA

Spalte 4: NEIN

Spalte 5: NEIN

Begründung zu Spalte 2: Der Stahl gehört zur gleichen Gruppe und hat eine geringere Festigkeit.

Begründung zu Spalte 3: Die Schweißposition PF ist mit einer größeren Wärmeeinbringung verbunden als die Schweißposition PA. Da die Kerbschlagzähigkeit maßgebend wird, wird daher PA durch PF abgedeckt.

Begründung zu Spalte 4: Die WPS gilt nur für das gleiche Schweißverfahren.

Begründung zu Spalte 5: Die WPS gilt nur für die gleiche Stromart

Aufgabe 1.B:

Fall a)

$$Z_{DA}=0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot a}=3$$

$$Z_{DB}=0$$

$$Z_{DC}=0,2 \cdot 40=8$$

$$Z_{DD}=0$$

$$Z_{DE}=0$$

erf $Z_D=11 \Rightarrow$ Gütestufe 1

Stoß wenig steif

Fall b)

$$Z_{DA}=3$$

$$Z_{DB}=0$$

$$Z_{DC}=8$$

$$Z_{DD}=5$$

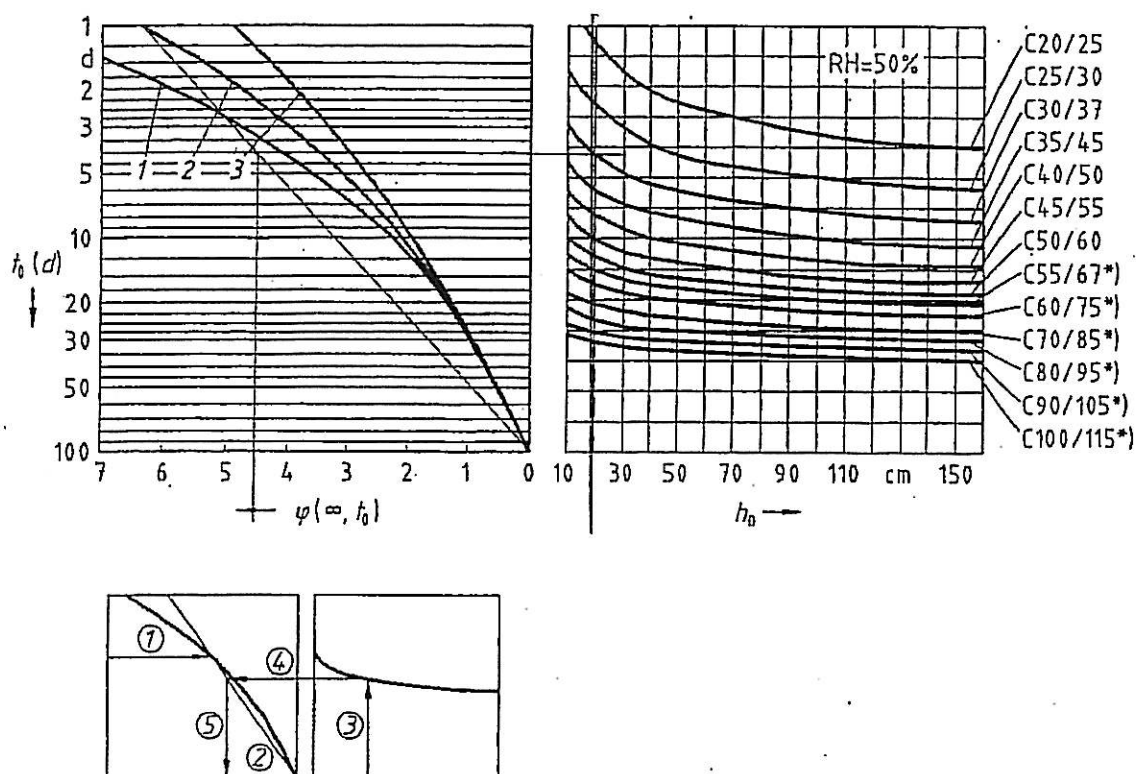
$$Z_{DE}=0$$

erf $Z_D=16 \Rightarrow$ Gütestufe 1

Stoß sehr steif

Aufgabe 1.C:

- I) MAG oder UP wegen der langen geraden Nähte
- II) Nein, da er nur für Lichtbogenhandschweißen qualifiziert ist!
- III) E wegen der nicht vorwiegend ruhenden Beanspruchung



*) Im Brückenbau nicht vorgesehen.

Legende

- 1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5N¹⁾
- 2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5N¹⁾
- 3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5N; 52,5R¹⁾
- 1) weitere Beispiele für die Zuordnung der Zementarten siehe DAfStb-Heft 525

$$h_0 = 2 A_c / u$$

Dabei ist

u die Abwicklung der der Austrocknung ausgesetzten Begrenzungsfläche des gesamten Betonquerschnitts. Bei Kastenträgern ist im Allgemeinen die Hälfte des inneren Umfangs zu berücksichtigen.

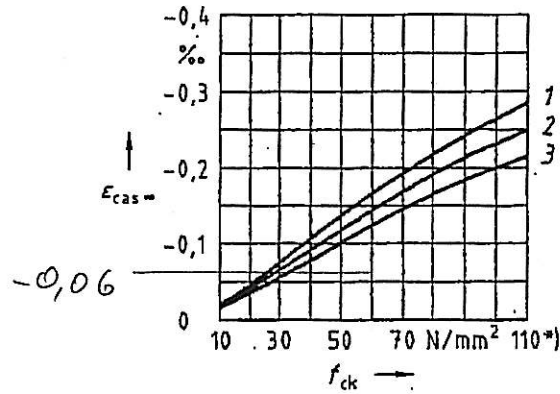
A_c die Fläche des gesamten Betonquerschnittes

Abb. 3.118: Endkriechzahl $\varphi(\infty, t_0)$ für Normalbeton und trockene Umgebungsbedingungen (trockene Innenräume, relative Luftfeuchte = 50 %)

(9)*

Zur Berechnung der Schwinddehnung zu einem beliebigen Zeitpunkt siehe DAfStb-Heft 525.

Für $t = \infty$ sollten 30 000 Tage gesetzt werden, um die geplante Nutzungsdauer von ca. 100 Jahren zu repräsentieren.

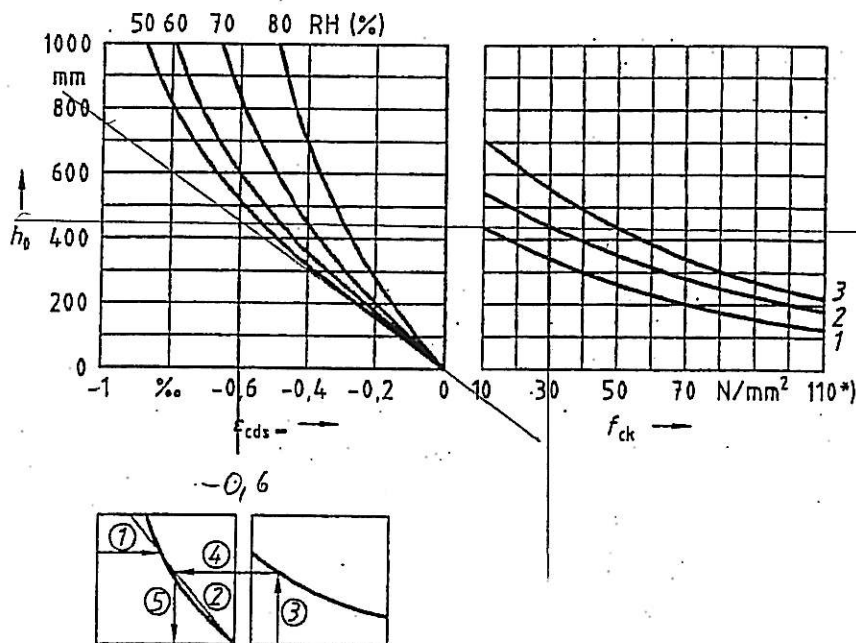


*) Bei Brücken ist die Begrenzung der Betonfestigkeitsklassen nach Tab. 3.1 zu berücksichtigen.

Legende

- 1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5N¹⁾
- 2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5N¹⁾
- 3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5N; 52,5R¹⁾
- 1) weitere Beispiele für die Zuordnung der Zementarten siehe DAfStb-Heft 525

Abb. 3.120: Schrumpfdehnung ε_{cas} zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton



*) Bei Brücken ist die Begrenzung der Betonfestigkeitsklassen nach Tab. 3.1 zu berücksichtigen.

Legende

- 1 Festigkeitsklasse des Zements 32,5N¹⁾
- 2 Festigkeitsklasse des Zements 32,5R; 42,5N¹⁾
- 3 Festigkeitsklasse des Zements 42,5R; 52,5N; 52,5R¹⁾
- 1) weitere Beispiele für die Zuordnung der Zementarten siehe DAfStb-Heft 525

Abb. 3.121: Trocknungsschwinddehnung ε_{cds} zum Zeitpunkt $t = \infty$ für Normalbeton

1) Kriechbeiwerte bestimmen

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 200\text{cm} \cdot 20\text{cm}}{2 \cdot (200\text{cm} + 20\text{cm})} = 18,2\text{cm}$$

Schwinden \rightarrow Belastungsbeginn 1. Tag

$$\varphi = 4,5$$

$$m_s = \frac{E_a}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi \cdot \psi) = \frac{210000}{31900} \cdot (1 + 4,5 \cdot 0,55)$$

$$m_s = 6,58 \cdot 3,48 = 22,9$$

Querschnittswert:

$$A_c = 200\text{cm} \cdot 20\text{cm} = 4000\text{cm}^2$$

$$a_a = \frac{h_c}{2} + z_a = \frac{20\text{cm}}{2} + 43,5\text{cm} = 53,5\text{cm}$$

$$A_{c,s} = \frac{A_c}{m_s} = \frac{4000\text{cm}^2}{22,9} = 175\text{cm}^2 \quad I_{c,s} = \frac{1}{22,9} \cdot \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 20^3$$
$$I_{c,s} = 5822\text{cm}^4$$

$$A_{i,s} = A_a + A_{c,s} = 220\text{cm}^2 + 175\text{cm}^2 = 395\text{cm}^2$$

$$z_{ic,s} = - \frac{A_a \cdot a_a}{A_{i,s}} = - \frac{220 \cdot 53,5\text{cm}^3}{395\text{cm}^2} = -29,8\text{cm}$$

$$S_{ic,s} = A_{c,s} \cdot |z_{ic,s}| = 175\text{cm}^2 \cdot 29,8\text{cm} = 5215\text{cm}^3$$

$$I_{i,s} = I_a + I_{c,s} + S_{ic,s} \cdot a_a$$

$$= 146300 + 5822 + 5215 \cdot 53,5 = 431124 = 431000\text{cm}^4$$

Schwind normalkraft und -moment

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cas} + \epsilon_{cds}$$

$$= -0,06\text{‰} + (-0,60)\text{‰} = -0,66\text{‰}$$

$$N_{schw} = A_c \cdot \epsilon_{cs} \cdot \frac{E_a}{n_s}$$

$$N_{schw} = -4000 \text{ cm}^2 \cdot 0,66 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{22,9} = 2420 \text{ kN}$$

$$M_{schw} = N_{schw} \cdot |z_{ic,s}| = 2420 \text{ kN} \cdot 0,298 \text{ m} = 721 \text{ kNm}$$



$$f = \frac{1}{8} M \cdot l^2 \cdot \frac{1}{EI}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 721 \text{ kNm} \cdot (12 \text{ m})^2 \cdot \frac{1}{210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 437000 \text{ cm}^4} \cdot 10^8$$

$$= 14,3 \text{ mm}$$

2) Faktor = 1,0

Alternative Berechnung von $i_{i,s}$

$$A_{c,s} = \frac{4000}{22,9} = 175 \text{ cm}^2$$

$$A_{i,s} = 175 + 220 = 395$$

$$I_{c,s} = \frac{1}{22,9} \cdot \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 20^3 = 5822 \text{ cm}^4$$

$$z_{i,s} = \frac{A_a \cdot z_a + A_{c,s} \cdot z_c}{A_{i,s}} = \frac{220 \cdot 43,5 + 175 \cdot (-10)}{395}$$

$$z_{i,s} = 19,8 \text{ cm}$$

$$I_{i,s} = I_a + I_{c,s} + A_{c,s} \cdot (z_{i,s} - z_c)^2 + A_a \cdot (z_{i,s} - z_a)^2$$

$$I_{i,s} = 146300 \text{ cm}^4 + 5822 \text{ cm}^4 + 175 \cdot (19,8 - (-10))^2 + 220 \cdot (19,8 - 43,5)^2$$

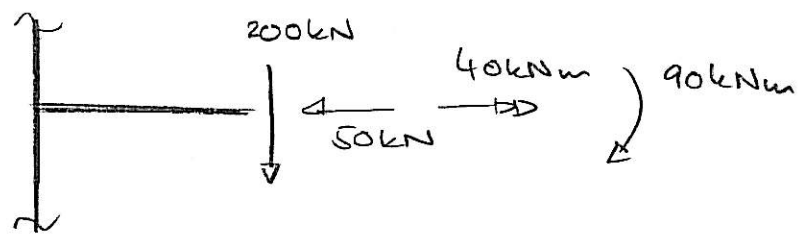
$$I_{i,s} = 431100 \text{ cm}^4$$

$$N_{sdr} = 2420 \text{ kN}$$

$$M_{sdr} = N_{sdr} \cdot (z_{i,s} - z_c) = 2420 \cdot (19,8 - (-10)) \cdot 10^{-2} \text{ kNm}$$

$$M_{sdr} = 721 \text{ kNm}$$

KONSTRUKTIONSVORSCHLAG



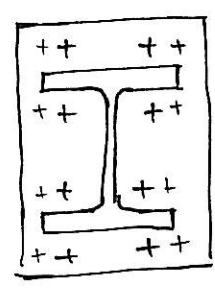
1) ANSCHLUSS RIEGEL-STIRNPLATTE

S355 $\rightarrow a_F \geq 0,7 t_F = 0,7 \cdot 26 = 18,2 \text{ mm}$
 $a_S \geq 0,7 t_S = 0,7 \cdot 14 = 9,8 \text{ mm}$

\rightarrow Wahl $a_F = 20 \text{ mm}$ $a_S = 10 \text{ mm}$
 umlaufende Kehlnaht

2) STIRNPLATTE - STÜTZE

Prinzip



Wahl

18 Schrauben - symmetrisch

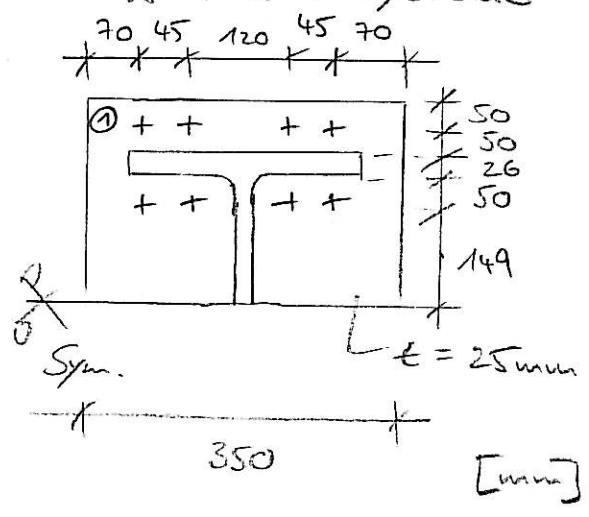
\rightarrow aus Blechdicken

Wahl $t_{\text{Stirnplatte}} = 20 \text{ mm}$

\bullet M20 10.9 SLV Schrauben 10.9

- Mindestlochabstand $e_1 = e_2 > 1,2 d_L = 34 \text{ mm}$
- Ausrissmaße für Stütze (HE450B)

\rightarrow Wahl des Systems



Reduktion auf maßgebende Schraube (Annahme)

\rightarrow Nr ①

mit H_y, N, H_T, V_z

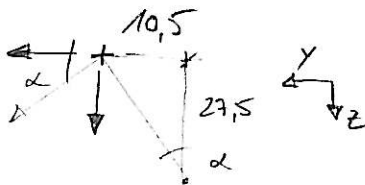
a) aus M_y $F_a = \frac{M_y}{h-t} = \frac{9000}{450-2,6} = 212 \text{ kN (ZUG)}$

b) aus N : $F_b = N/2 = 25 \text{ kN (DRUCK)}$

c) aus V : $F_c = \frac{V}{16} = 12,5 \text{ kN (ABSCHEREN)}$

d) aus M_T : $I_p = \sum r^2 = 2[14,9^2 \cdot 4 + 27,5^2 \cdot 4] + 2[(\frac{12}{2})^2 \cdot 4 + 10,5^2 \cdot 4] = 8996 \text{ cm}^2$

Für ① $F_d = \frac{M_T}{I_p} \cdot r = \frac{4000}{8996} \cdot \sqrt{10,5^2 + 27,5^2} = 13 \text{ kN (ABSCHEREN)}$



$F_d^x = \cos \alpha \cdot F_d \approx 12 \text{ kN}$

$F_d^z = \sin \alpha \cdot F_d \approx 5 \text{ kN}$

$\Rightarrow F_{zug}^{geo} = 212 - 25 = 187 \text{ kN} \rightarrow F_{zug} = \frac{F_{zug}^{geo}}{n} = 23 \text{ kN}$
 $F_{AB} = \sqrt{12^2 + (5 + 12,5)^2} = 21 \text{ kN}$

o Schraube: M20 10.9 (ABSCHEREN)

$N_{R,d} = 178 \text{ kN}$ $V_{R,d} = 157 \text{ kN}$

$\frac{N_d}{N_{R,d}} = \frac{23}{178} < 1 \checkmark$ $\frac{V_d}{V_{R,d}} = \frac{21}{157} < 1 \checkmark$

\rightarrow Interaktion nicht nötig da jew. $< 0,25$

o LOCHLEITUNG

Abschätzung des Randabstände (minimale Werte)

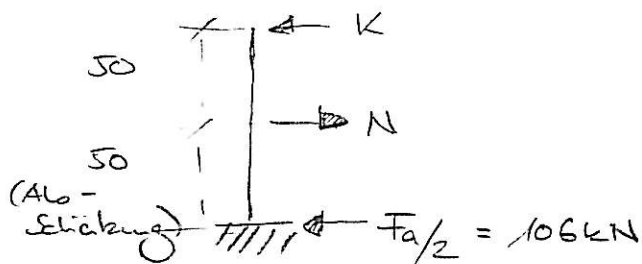
$e_1 = 50 \text{ mm}$ $e \approx 50 \text{ mm}$

Tabelle: $V_{R,d} = \left\{ \begin{matrix} 78,6 \\ 101 \end{matrix} \right\}_{\text{min}} \cdot 10 \text{ mm} \rightarrow \frac{78,6 \text{ kN}}{10 \text{ mm}}$

Annahme $t_{\text{Stirnplatte}} = 20 \text{ mm}$

$V_{R,d} = 157,2 \text{ kN} > F_{AB} = 21 \text{ kN} \checkmark$

3) STIRNPLATTE AUF BIEGUNG

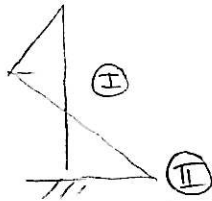


Ann. $t_{sl} = 20 \text{ mm}$

$N_{R,d} = 4 \times 178 \text{ kN} = 712 \text{ kN}$

→ angesehen $N = 170 \text{ kN} < N_{R,d}$

$K = 64 \text{ kN}$



$M_{\text{I}} = 64 \text{ kN} \cdot 5 \text{ cm} = 320 \text{ kNcm}$

$M_{\text{II}} = 64 \cdot 10 - 200 \cdot 5 = -360 \text{ kNcm}$

$W_{\text{I}} = \frac{b \cdot t^2}{6} = \frac{(35 - 4 \cdot 211) \cdot 2^2}{6} = 17,7 \text{ cm}^3$

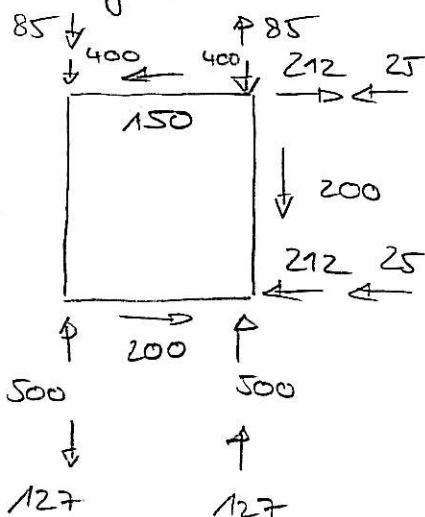
$\sigma = \frac{M_{\text{I}}}{W_{\text{I}}} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_{y,d} = 21,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \checkmark$

$W_{\text{II}} = \frac{b t^2}{6} = 23,3 \text{ cm}^3$

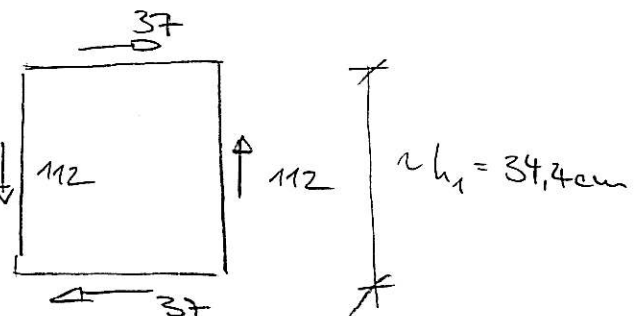
$\sigma = \frac{M_{\text{II}}}{W_{\text{II}}} = 15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_{y,d} \checkmark$

4) SCHUBFENSTER

Stößen konstruktiv gewählt $t = 20 \text{ mm}$, $a = 4 \text{ mm}$



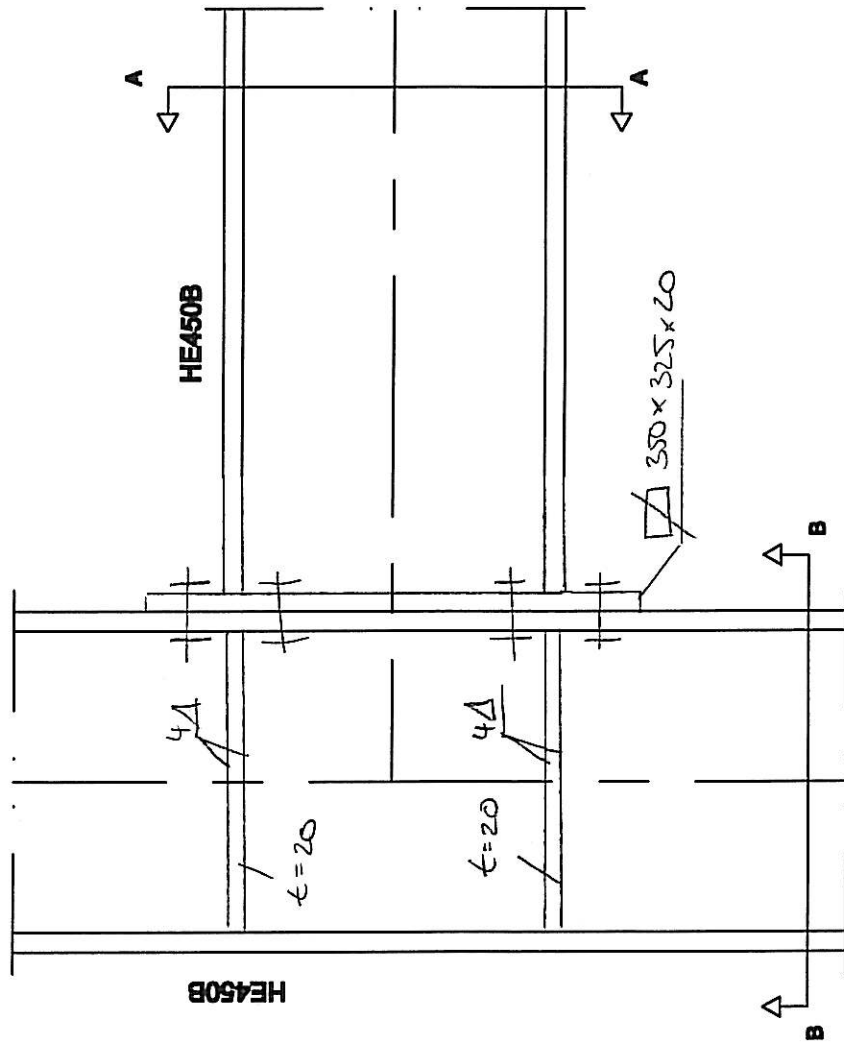
⇒



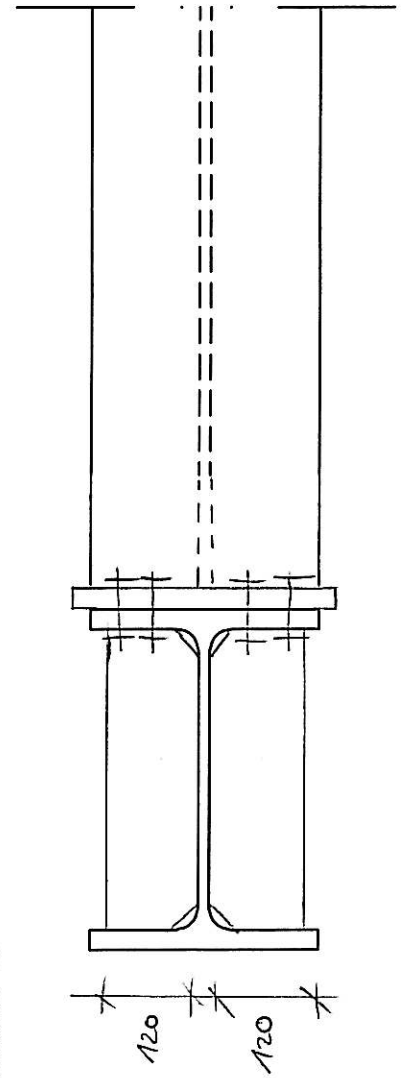
$\tau = \frac{2 \cdot 37 + 2 \cdot 112}{4 \cdot 34,4 \cdot (1,4) - 5} = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$< \tau_{R,d} = 12,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \checkmark$

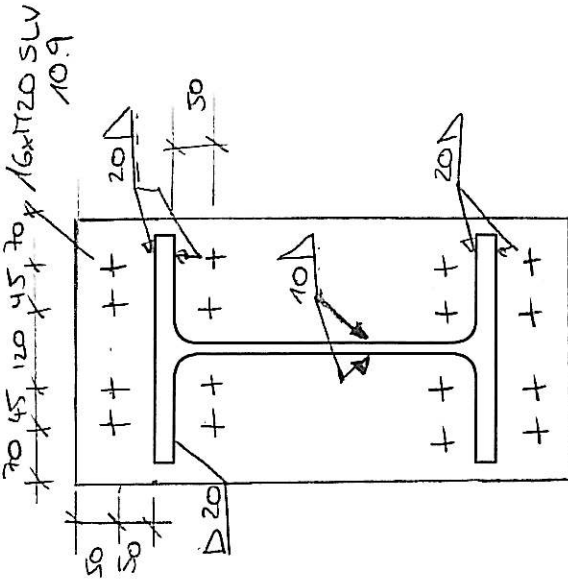
Anlage 1 (Maßstab 1:10)



Schnitt B - B



Schnitt A - A



[mm]

Aufgabe 4

1. Blech:

Hk 05

$$KG = 71 \rightarrow \Delta \sigma_{h=3 \cdot 10^6} = 71 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{1}{3}} = 62 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta F = 360 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow A_{\text{erf}} = \frac{360000}{62} = 5804,2 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow t_{\text{erf}} = \frac{5804,2}{250} = 23,2 \text{ mm}$$

Gewählt $t = 25 \text{ mm}$

2. Naht

$$l_w = 550 \text{ mm}$$

$$KG = 40 \rightarrow \Delta \sigma_{h=3 \cdot 10^6} = 40 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \approx 35 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{\text{erf}} = 10302 \text{ mm}^2 \rightarrow a_{w,\text{erf}} = 18,7 \text{ mm}$$

Gewählt $a_w = 20 \text{ mm}$