

## Stahlbau

### Schriftliche Prüfung 6620000 am 14.07.2010

### Musterlösung für DIN 18800

Erreichbare Punktzahl: 145,5 (entspr. 161 %);

erreichte Punkte

(Unterschrift Prüfer)

Name, Vorname, Matrikelnummer: .....

Bearbeitungsdauer: 90 Minuten

Hilfsmittel: alle, außer elektronische Kommunikationsmittel

Geben Sie alle Ergebnisse in folgenden Einheiten an: Kräfte [kN], Momente [kNm], Spannungen [ $\text{N/mm}^2$ ], Querschnittswerte [ $\text{cm}^x$ ], Längen [mm], Flächenlasten [ $\text{kN/m}^2$ ];

Geben Sie alle Ergebnisse mit (mindestens) 3 Ziffern Genauigkeit an.

Bitte ankreuzen

☐ ich bearbeite die folgenden Aufgaben nach DIN 18800

☐ ich bearbeite die folgenden Aufgaben nach EC3 (DIN 1993)

1. Eine Pfette IPE 160 – S235 auf einem Industrie-Flachdach läuft über Dachträger mit Feldweiten von 5 m. Welche vertikale Streckenlast  $q_d$  kann die Pfette aufnehmen? Betrachten Sie ein Mittelfeld und nehmen Sie an, die Pfette laufe über unendlich viele Felder. Stabilitätsphänomene sowie die Querkraft und das Eigengewicht des Profils sollen vernachlässigt werden.

a) Bemessen Sie nach der elastischen Grenzlast des Stützmomentes (3 P)

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

$W_{el}$ ;  $M_{gr,el,d}$ ;

b) bemessen Sie nach der plastischen Traglast des Stützmomentes (Fließgelenk) (3 P)

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

$W_{pl}$ ;  $M_{pl,d}$ ;

Lösung:

- a)  $W_{el} = 109$ ;  $M_{gr,el,d} = 109 \cdot 218 = 23,8$ ;  $q_d = 12 \cdot 23,8 / (5,0)^2 = 11,4$ ;  
b)  $W_{pl} = 109 \cdot 1,14 = 124$ ;  $M_{pl,d} = 124 \cdot 218 = 27,1$ ;  $F_d = 12 \cdot 27,1 / 25 = 13,0$ ;

2. a) Ermitteln Sie für Aufgabe 1 a) die Durchbiegung in Feldmitte unter Bemessungslasten. (2 P)  
b) Wie groß ist für Aufgabe 1 b) die rechnerische Durchbiegung in Feldmitte unter Bemessungslasten; nicht rechnen, nur beschreiben und begründen. (1 P)  
c) Nehmen Sie an, die tatsächliche Durchbiegung in Feldmitte unter der Bemessungslast aus Aufgabe 1 b) wäre nur ca. 300 mm. Geben Sie mögliche Ursachen an, begründen Sie. (1 P)

Lösung:

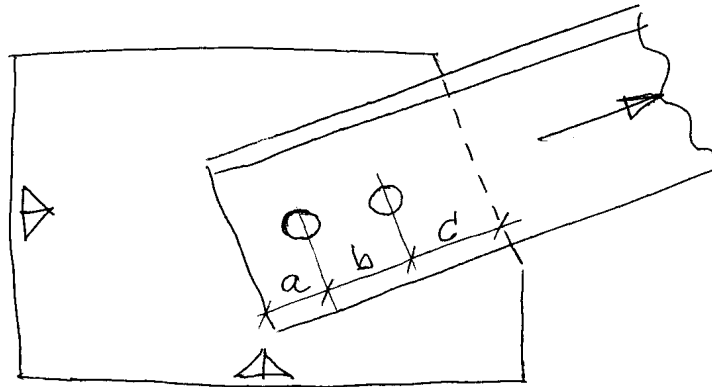
- a)  $11,4 \cdot 5,0^4 / (384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 896) = 9,86 \text{ mm}$   
b) unendlich, weil erst nach unendlich großen Rotationen das Fließgelenk voll ausgebildet ist;  
c-i) Überfestigkeit des Werkstoffes, d.h. höhere Fließgrenze;  
c-ii) rechnerisch wird der Verfestigungsbereich der Spannungs-Dehnungs-Linie nicht berücksichtigt.

3. Ein IPE-Profil wurde nach der elastischen Grenztragfähigkeit um die schwache Achse bemessen.  
a) Wie hoch ist der rechnerische Gewinn an Querschnittstragfähigkeit, wenn man plastisch rechnet? (1 P)  
b) Warum ist die plastische Querschnittsreserve (plastischer Formbeiwert) deutlich größer als in Aufgabe 1? (2 P)  
c) Geben Sie den plastischen Formbeiwert für einen T-Querschnitt, einen Kreis-Vollquerschnitt und einen L-Querschnitt an, ggfs. geschätzt. (1,5 P)  
d) Warum empfiehlt es sich, T-Querschnitte nach der plastischen Querschnittstragfähigkeit zu bemessen? (3 P)

Lösung

- a) 1,50  
b) Weil größere Teile des Querschnittes zunächst im Bereich kleiner Spannungen liegen.  
c) 1,6–1,8;  $16 / 3\pi$ ; 1,6–1,8;  
d) Wenn man T-Querschnitte elastisch berechnet, verzichtet man auf ca. 60-80% rechnerischer Tragfähigkeit.

4. Ein Winkelprofil L60x6-S235 ist als Diagonale an ein Knotenblech  $t = 8 \text{ mm}$  angeschlossen mit 2 Schrauben M12-4.6 Gewinde bis zum Kopf.  
 $d_0 = 13$ ,  $a = 30$ ,  $b = 30$ ;  $c = 30$ .



(Skizze nicht maßstäblich)

Ermitteln Sie die aufnehmbare Zugkraft des Anschlusses.

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

Tragfähigkeit der Diagonalen (Nettoquerschnitt); Schraube L+R (Abscheren);  
Schraube L (Lochleibung); Schraube R (Lochleibung), bei den Lochleibungsnachweisen jeweils  $\alpha$  bzw.  $k_1$  und  $\alpha, b$  (13 P)

Lösung:

(Nettoquerschnitt Knotenblech wird nicht maßgebend)

Nettoquerschnitt der Diagonalen

$$N_{d, \text{dia}} = (691 \text{ mm}^2 - 13 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}) \cdot 218 \text{ N/mm}^2 = 134 \text{ kN}$$

Abscheren der Schrauben

$$V_{a, R, d} = 0,6 \cdot 400 \cdot 84,3 / 1,25 = 18,4$$

$$V_{a, R, d, \text{ges}} = 2 \cdot 18,4 = 36,8$$

Lochleibung der Schraube 1 (links) als Außenschraube (Diagonalstab)

$$\alpha_{L, 1} = 1,1 \cdot 30 / 13 - 0,30 = 2,24$$

$$V_{L, R, d, 1} = 6 \cdot 12 \cdot 2,24 \cdot 240 / 1,1 = 35,2$$

Lochleibung der Schraube 2 (rechts) als Außenschraube (Knotenblech)

$$\alpha_{L, 2} = 2,24$$

$$V_{L, R, d, 2} = 8 \cdot 12 \cdot 2,24 \cdot 240 / 1,1 = 46,9$$

Lochleibung der Schraube 2 (rechts) als Innenschraube (Diagonalstab)

$$\alpha_{L, 2} = 1,08 \cdot 30 / 13 - 0,77 = 1,72$$

$$V_{L, R, d, 2} = 6 \cdot 12 \cdot 1,72 \cdot 240 / 1,1 = 27,0$$

Maßgebend für die rechte Schraube: Diagonalstab

Gesamte Lochleibungslast:  $V_{L,R,d} = 35,2 \text{ kN} + 27,0 \text{ kN} = 62,2 \text{ kN}$

Anschlusslast: 36,8 (Abscheren wird maßgebend)

5. Zu Aufgabe 4:

a) Sind die Rand- und Lochabstände in Aufgabe 4 zulässig? (3 P)

b) Nennen Sie 4 konstruktive Maßnahmen, um die Tragkraft des Anschlusses aus Aufgabe 4 deutlich zu erhöhen. (4 P)

Lösung:

a) Randabstand in Krafrichtung  $1,2 \cdot 13 \text{ mm} = 15,6 \text{ mm}$  ist eingehalten

Lochabstand in Krafrichtung  $2,2 \cdot 13 \text{ mm} = 28,6 \text{ mm}$  ist eingehalten

Randabstand quer zur Krafrichtung  $1,2 \cdot 13 \text{ mm} = 15,6 \text{ mm}$  ist eingehalten

b) Größere Schraubendurchmesser anordnen;

dritte (und weitere) Schraube anordnen;

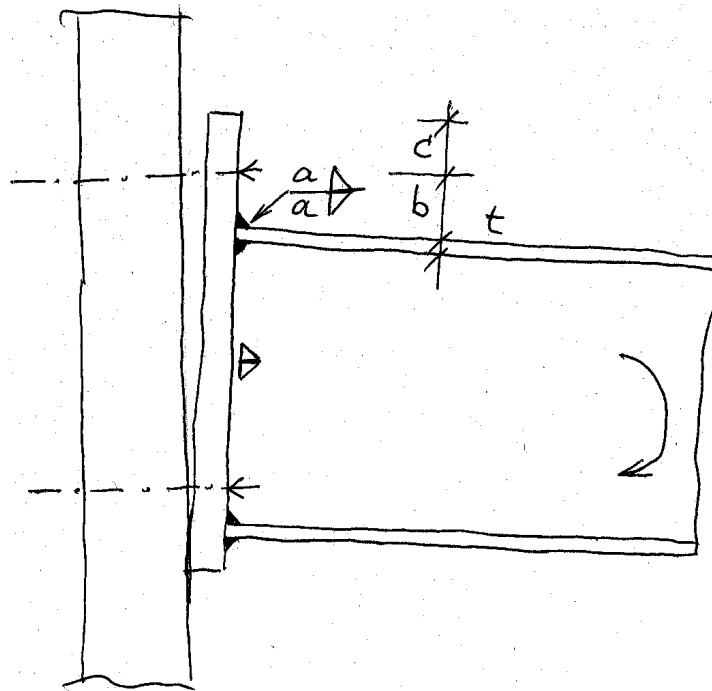
Lochabstände vergrößern;

(Wanddicke von Winkel und Knotenblech vergrößern);

höhere Schraubengüte wählen;

Schaftschrauben verwenden;

6. Gegeben ist der Stirnplattenanschluss eines Profils IPE400-S235 an eine Stütze mit folgenden Maßen:  $t = 14$ ;  $a = 8$ ;  $b = 70$ ;  $c = 70$ ; Breite der Stirnplatte 200. Die oberen Schrauben sind 2M30–10.9, jeweils nur leicht angelegt, so dass unter Last eine klaffende Fuge entsteht. Die unteren Schrauben werden konstruktiv zur Übertragung der Querkraft verwendet und in der folgenden Berechnung nicht berücksichtigt. Der Anschluss wird durch ein negatives Biegemoment  $M_{d} = 200 \text{ kNm}$  beansprucht.



a) Ermitteln Sie die erforderliche Dicke der Stirnplatte, wenn in der Stirnplatte eine Fließlinie entsteht. Verwenden Sie dabei ein einfaches Ingenieurmodell. (8 P)

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

Lage des Druckpunktes; Hebelarm  $e$  für die Zugbeanspruchung der Schrauben; Normalkraft  $N, d$  in einer Schraube; Lage des Fließgelenkes in der Stirnplatte; Hebelarm  $e_2$ , aus dem das Biegemoment im Fließgelenk entsteht; äußeres Biegemoment  $M, d$  im Fließgelenk; erforderliches plastisches Widerstandsmoment  $W_{pl}$ ;

b) Ermitteln Sie die erforderliche Dicke der Stirnplatte, wenn die Schrauben vorgespannt sind und unter den Schrauben ebenfalls eine Fließlinie entsteht. Gehen Sie dabei näherungsweise von der Schraubenkraft aus Teilaufgabe a) aus. (4 P)

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

Hebelarm  $e_3$ , aus dem das Biegemoment im maßgebenden Fließgelenk entsteht; äußeres Biegemoment  $M, d$  im Fließgelenk; erforderliches plastisches Widerstandsmoment  $W_{pl}$ ;

Lösung:

a) Druckpunkt in der Mitte des unteren Flansches;  $e = 400 - 14/2 + 70 = 463$ ;  $N, d = 0,5 \cdot 200 / 0,463 = 216$ ; Fließgelenk oberhalb der oberen Flanschnaht;  $e_2 = 70 - 8 \cdot \sqrt{2} = 58,7$ ;  $M, d = 2 \cdot 216 \cdot 0,0587 = 25,4$ ;  $W_{pl} = 25,4 / 218 = 116$ ;  $T = \sqrt{(4 \cdot 116 \text{ cm}^3 / 20 \text{ cm})} = 48,2 \text{ mm}$

b)  $e_3 = 58,7/2 = 29,4$ ;  $M, d = 25,4/2 = 12,7$ ;  $W_{pl} = 116/2 = 58,0$ ;  $T = \sqrt{(4 \cdot 58,0 \text{ cm}^3 / 20 \text{ cm})} = 34,1 \text{ mm}$

7. Eine geschweißte Rahmenecke IPE360 / IPE360 – S355 wird durch ein negatives Eckmoment  $M_d = 250 \text{ kNm}$  beansprucht. Die Stegdicke des Walzprofils beträgt 8,0 mm, die Flanschdicke beträgt 13 mm. Der Riegel der Rahmenecke ist um  $5^\circ$  gegen die Horizontale geneigt.
- a) Ermitteln Sie die den Ausnutzungsgrad  $\eta$  für die Schubspannungen im Eckblech. Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:  
Rechnerische Abmessungen des Eckbleches; Flanschkräfte  $F_d$ ; Schubfluss  $T_d$ ; Schubspannung  $\tau_d$ ; aufnehmbare Schubspannung  $\tau_{R,d}$ . (6 P)
- b) Welche Annahme für den Verlauf der Flanschkräfte im Bereich der Ecke wird dabei üblicherweise zugrunde gelegt? stichwortartige Begründung! (2 P)
- c) Geben Sie drei unterschiedliche Veränderungen an, mit der Sie in der Rahmenecke ausreichende Tragfähigkeit herstellen können. Geben Sie jeweils eine qualifizierte Schätzung für die erforderliche Bauteildicke oder die maßlichen Veränderungen an (6 P).

Lösung:

- a)  $347/347$ ;  $F_d = 250 / (360 - 13) = 720$ ;  $T_d = 720 \text{ kN} / 347 \text{ mm} = 2076 \text{ N/mm}$ ;  $\tau_d = 2076 / 8,0 = 260$ ;  $\tau_{R,d} = 360 / (1,1 \cdot \sqrt{3}) = 189$ ;  $\eta = 260/189 = 1,38$ ;
- b) Die Flanschkräfte nehmen im Bereich der Rahmenecke linear auf Null ab. Dies entspricht der Annahme eines konstanten Schubflusses entlang der Kante des Eckbleches
- c1.) Anordnung zusätzlicher Schubleche, möglichst symmetrisch;  $T_{\text{ges,erf}} = 8 \cdot 1,38 = 11,0$  – konstr. gewählt 2x5
- c2.) Anordnung zusätzlicher Diagonalen (Fachwerkmodell);  $A_{\text{erf}} = 720 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,5 / 327 = 2335$  je Seite, konstr. gew. 20x80
- c3) Anordnung einer Voute; Vergrößerung des inneren Hebelarmes auf  $347 \cdot 1,38 = 470$ , konstr. gewählt 200er Voute

8. Hallen-Giebelstütze IPE 240 – S235,  $L = 8,50 \text{ m}$ ;  
auf dem Fundament und in der Dachebene seitlich unverschieblich gehalten;  
Normalkraft  $N_d = 45 \text{ kN}$ ; Biegemoment aus Wind  $M_d = 35 \text{ kNm}$ ;
- a) Ermitteln Sie die Ausnutzungsgrade für Knicken um beide Achsen unter zentrischem Druck; wählen Sie jeweils einen geeigneten Ersatzstab.  
Geben Sie jeweils folgende Zwischenergebnisse an:  
Plastische Normalkraft, Knicklänge, Euler-Last, bezogene Schlankheit, Knickspannungslinie, Imperfektionsbeiwert, Reduktionsfaktoren, Grenznormalkraft. (19 P)
- b) Ermitteln Sie die Ausnutzungsgrade für Knicken um beide Achsen unter zentrischem Druck und zusätzlichem Biegemoment. Geben Sie den Einfluss des Biegemomentes auf den Ausnutzungsgrad ggfs. näherungsweise an. (6 P)

c) Welches Stabilitätsphänomen kann bei der Stütze noch auftreten, besonders unter Windsog (Stichworte)? (3 P)

Lösung:

Rechengang nach DIN 18800-2

a)  $s, k = 8500/8500$ ;  $N, pl = 852$ ;  $N, ki = 1117/81,5$ ;  $\lambda, K = 0,917/3,39$ ;  $KSL = a/b$ ;  $\alpha = 0,21/0,34$ ;  $k = 0,996/6,80$ ;  $\kappa = 0,723/0,0789$ ;  $N, R, d, \kappa = 617/67,3$ ;  $\eta = 0,0730/0,669$

b)  $M, R, d = 1,14 \cdot 324 \cdot 218 = 80,5$ ;  $\eta, B = 35/80,5 = 0,435$ ;  $\eta, stark = 0,073 + 0,435 + 0,1 = 0,608$ ;  $\eta, schwach = 0,669 + 0,435 = 1,10$

c) Kippen bzw. Biegedrillknicken; unter Windsog ist der konstruktiv nicht gehaltene, innere Stützenflansch unter Druckkraft;

9. a) Durch welche konstruktive Maßnahmen lässt sich die Tragfähigkeit der Stütze aus Aufgabe 8 steigern? (1 P)

b) Warum hat bei schlanken Stützen der Einsatz von S355 gegenüber S235 nur einen geringen Effekt? (3 P)

Lösung:

a) Anordnung eines weiteren Wandriegel auf halber Höhe; kontinuierliche Stützung des Außengurtes durch ein Trapezblech;

b) Weil die Stütze um die schwache Achse einen so hohen Schlankheitsgrad hat, das (rein-)elastisches Beulen auftritt; die Stabilitätstragfähigkeit hängt dann nur vom E-Modul ab.

10. Zeichnen Sie eine geschraubte Kranbahnkonsole, an der folgende Profile beteiligt sind: Längswandstütze HEB240, Kranbahnkonsole IPE400, Kranbahnträger HEA 260.

Zeichnen Sie im Maßstab 1:5; zeichnen Sie Darstellungen von zwei unterschiedlichen Blickrichtungen (Draufsicht und/oder Ansicht und/oder Schnitt).

Zeichnen Sie alle Bauteile/Verstärkungen ein, die zur Übertragung hoher Vertikallasten erforderlich sind; achten Sie darauf, dass der Kranbahnträger ausreichend gegen Horizontallasten auf der Kranbahnschiene gesichert ist. Schreiben Sie Positionsnummern an alle Bauteile, Schweißnähte und Schrauben. (20 P)

11. Führen Sie alle in Aufgabe 10 vergebenen Positionsnummern auf; geben Sie jeweils in mindestens einem Stichwort an, welcher rechnerische Nachweis für dieses Bauteil/Schraube/Schweißnaht zu führen wäre. (10 P)

Beispiel: „Schub aus Querkraft“; „Zug aus Versatzmoment“

Lösung:

1 – Dachträger – Schub aus Querkraft

12. Herstellen von Schweißkonstruktionen im Hochbau nach DIN 18800-7.  
(jeweils stichwortartige Begründung)
- a) Ein Betrieb hat eine Herstellerqualifikation D. Gibt es für diesen Betrieb Einschränkungen beim Bauen von Hallen mit Kranbahnen? (2 P)
  - b) Über welche Qualifikation muss die Schweißaufsicht dieses Betriebes verfügen? (1 P)
  - c) Welche Herstellerqualifikation braucht ein Betrieb, wenn er eine eingeschossige Stahlhalle mit einer Spannweite von 12 m bauen möchte? (2 P)
  - d) Über welche Qualifikation muss die Schweißaufsicht dieses Betriebes verfügen? (1 P)
  - e) Welche Herstellerqualifikation braucht ein Betrieb, der für eine Glasfassade die Unterkonstruktion aus nichtrostenden Stählen 1.4301 („V2A“) und/oder 1.4571 („V4A“) jeweils in der Festigkeitsklasse S235 fertigen möchte? (2 P)
  - f) Über welche Qualifikationen müssen die Schweißer aus den Aufgabenteilen a), c) und e) verfügen? (6 P)
  - g) Ein Betrieb mit der Herstellerqualifikation B nimmt einen Auftrag an. Im Zuge der Prüfung der Unterlagen durch den Prüfenieur stellt sich heraus, dass einige Bauteile in Klasse D fallen. Was kann der Betrieb tun, um den Auftrag nicht zurückgeben zu müssen (3 Möglichkeiten)? (6 P)

Lösung:

- a) Ja, wenn die Kranbahnen auf Ermüdung beansprucht werden.
- b) Schweißfachingenieur
- c) Klasse B
- d) Schweißfachmann
- e) Klasse B ist ausreichend, sofern die Abmessungen und Lasten der Klasse B eingehalten sind; allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 Abs. 4.7.1(2).
- f) Sie müssen eine Schweißer-Prüfungsbescheinigung für den jeweiligen Anwendungsfall (Wanddicke, Schweißverfahren, Werkstoff, Position) besitzen.
- g1) SFI einstellen und aufqualifizieren
- g2) An Firma mit Herstellerqualifikation D vergeben
- g3) Objektorientierte Fremdüberwachung durch eine anerkannte Stelle