

**Stahlbau**  
**Schriftliche Prüfung 6620000 am 17.07.2009**  
**Musterlösung**

Erreichbare Punktzahl: 133 (entspr. 148 %);

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.

Sofern nicht anders angegeben sind alle Aufgaben nach EC3 zu bearbeiten.

1. Als Anprallschutz gegen einen Portalkran wird ein Profil HEB240-S355 in das Fundament einbetoniert, so dass es senkrecht 1,20 m aus dem Fundament ragt. Der Kranpuffer trifft das Profil in Richtung der starken Achse in einer Höhe von 80 cm über Oberkante Fundament.

Welche horizontale Einzellast  $F_d$  aus dem Kranpuffer kann das Profil aufnehmen? Stabilitätsphänomene sowie die Querkraft und das Eigengewicht des Profils sollen vernachlässigt werden.

a) bemessen Sie nach der elastischen Grenzlasterlast (3 P)

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

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

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

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

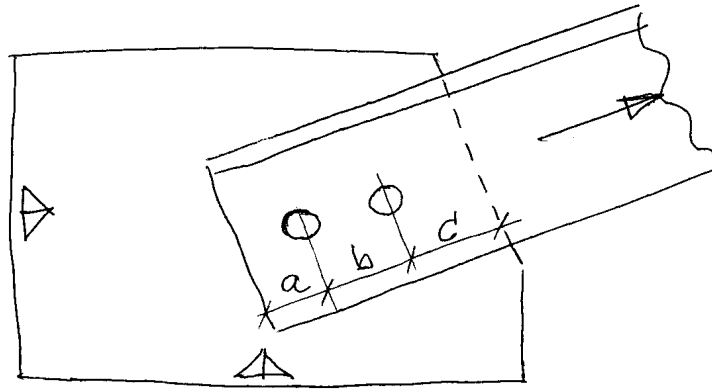
$W_{pl}$ ;  $M_{pl,d}$ ;

Lösung:

a)  $W_{el} = 938$ ;  $M_{gr,el,d} = 938 \cdot 323 = 303$ ;  $F_d = 303 / 0,80 = 379$ ;

b)  $W_{pl} = 938 \cdot 1,14 = 1070$ ;  $M_{pl,d} = 1070 \cdot 323 = 346$ ;  $F_d = 346 / 0,80 = 432$ ;

2. a) Ermitteln Sie für Aufgabe 1 a) die Durchbiegung des Anprallpunktes unter Bemessungslasten. (2 P)  
Lösung:  $379 \cdot 0,80^3 / (3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 11260) = 2,74 \text{ mm}$   
b) Wie groß ist für Aufgabe 1 b) die rechnerische Durchbiegung des Anprallpunktes unter Bemessungslasten; nicht rechnen, nur beschreiben und begründen. (1 P)  
Lösung: unendlich, weil erst nach unendlich großen Rotationen das Fließgelenk voll ausgebildet ist;  
c) Nehmen Sie an, die tatsächliche Durchbiegung des Anprallpunktes unter der Bemessungslast aus Aufgabe 1 b) wäre nur ca. 150 mm. Geben Sie mögliche Ursachen an, begründen Sie. (2 P)  
Lösung:  
i) Überfestigkeit des Werkstoffes, d.h. höhere Fließgrenze;  
ii) rechnerisch wird der Verfestigungsbereich der Spannungs-Dehnungs-Linie nicht berücksichtigt.
3. Für einen Einfeldträger wurde ein L-Profil nach der elastischen Grenztragfähigkeit 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 Rechteck-Querschnitt, ein dünnwandiges Kreisrohr und einen Kreis-Vollquerschnitt an, ggfs. geschätzt. (3 P)  
Lösung  
a) ca. 1,8  
b) Weil ein großer Teil des Querschnittes zunächst in einem Bereich geringer Spannungen liegt.  
c) 1,5; 1,27; 1,70;
4. Ein Winkelprofil L100x10-S235 ist als Diagonale an ein Knotenblech  $t = 12 \text{ mm}$  angeschlossen mit 2 Schrauben M12-4.6-Gewinde bis zum Kopf.  
 $d_0 = 14$ ,  $a = 30$ ,  $b = 30$ ;  $c = 30$ .



(Skizze nicht maßstäblich)

Ermitteln Sie die aufnehmbare Zugkraft des Anschlusses.

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

Tragfähigkeit der Diagonalen (Nettoquerschnitt); Schraube 1+2 (Abscheren);  
Schraube 1 (Lochleibung); Schraube 2 (Lochleibung), bei den Lochleibungsnachweisen jeweils  $k_1$  und  $\alpha_d$  (13 P)

Lösung:

(Nettoquerschnitt Knotenblech wird nicht maßgebend)

Nettoquerschnitt der Diagonalen

$$N_{d, \text{dia}} = (1920 \text{ mm}^2 - 14 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}) \cdot 214 \text{ N/mm}^2 = 381 \text{ kN}$$

Abscheren der Schrauben

$$F_{v, R, d} = 0,6 \cdot 400 \cdot 84,3 / 1,25 = 16,2$$

$$F_{v, R, d, \text{ges}} = 2 \cdot 16,2 = 32,4$$

Lochleibung der Schraube 1 (links)

$$k_1 = 2,8 \cdot 50 / 14 - 1,7 = 8,3, \text{ maßgebend wird } 2,5$$

$$\alpha_d = 30 / (3 \cdot 14) = 0,714$$

$$f_{u, b} / f_{u, t} = 400 / 360 = 1,11$$

$$F_{b, R, d} = 2,5 \cdot 0,714 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 10 / 1,25 = 61,7$$

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

$$F_{b, R, d} = 2,5 \cdot 0,714 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 12 / 1,25 = 74,0$$

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

$$k_1 = 1,4 \cdot 50 / 14 - 1,7 = 3,3, \text{ maßgebend wird } 2,5$$

$$\alpha_d = 30 / (3 \cdot 14) - 0,25 = 0,464$$

$$F_{b, R, d} = 2,5 \cdot 0,464 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 10 / 1,25 = 55,3$$

Maßgebend für die rechte Schraube: Diagonalstab

$$\text{Gesamte Lochleibungslast: } V_{L, R, d} = 61,7 \text{ kN} + 55,3 \text{ kN} = 117 \text{ kN}$$

Anschlusslast: 32,4 (Abscheren wird maßgebend)

5. Zu Aufgabe 4:

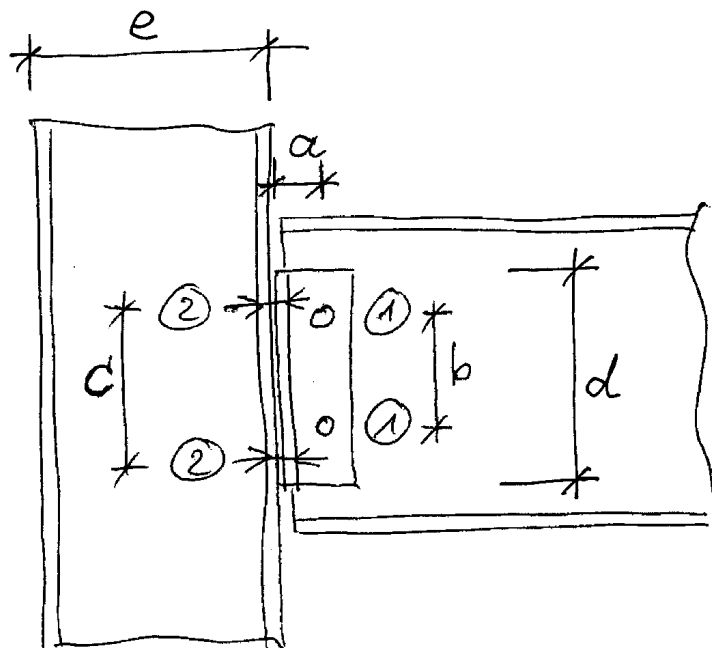
- Sind die Rand- und Lochabstände in Aufgabe 4 zulässig? (3 P)
- Nennen Sie 5 konstruktive Maßnahmen, um die Tragkraft des Anschlusses aus Aufgabe 4 deutlich zu erhöhen. (5 P)

Lösung:

- Randabstand in Krafrichtung  $1,2 \cdot 14 \text{ mm} = 16,8 \text{ mm}$  ist eingehalten  
Lochabstand in Krafrichtung  $2,2 \cdot 14 \text{ mm} = 30,8 \text{ mm}$  ist nicht eingehalten  
Randabstand quer zur Krafrichtung  $1,2 \cdot 14 \text{ mm} = 16,8 \text{ mm}$  ist eingehalten

- 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 „gelenkige“ Querkraftanschluss eines Trägers IPE200 an eine Stütze HEA120 mittels eines Doppelwinkels (siehe folgende Skizze). Aus dem Träger ist eine Querkraft  $V_d$  in die Stütze zu übertragen.



- Welche Kraft ist in einer der Schrauben „1“ zu übertragen? (1 P)
- Welche Kräfte sind in den Schrauben „2“ zu übertragen? (1 P)
- Wie verteilen sich diese Kräfte auf die Schraubenpaare „2-oben“ und „2-unten“? (2 P)

Hinweis: a) bis c) nur beschreiben – nicht rechnen

d) Geben Sie ein übliches Rechenmodell an, mit dem man die Schraubenkräfte vereinfachend ermitteln kann. (1 P)

e) Welchen Vorteil hat das von Ihnen angegebene Rechenmodell? (1 P)

f) Berechnen Sie die Beanspruchung der Schrauben (Abscheren / Zugkraft) für eine Querkraft von  $V_d = 120$ ;  $a = 50$ ;  $b = 100$ ;  $c = 120$ ;  $d = 170$ ;  $e = 114$ . (4 P)

g) Zur Berechnung der Schraubenkräfte ist eine Annahme erforderlich. Welche? Ergänzen Sie ggfs. die obige Skizze (1 P)

Lösung:

a) halbe Vertikallast bzw. halbe Querkraft

b) Querkraft plus (Druck- und) Zugkraft aus Versatzmoment

c) viertel Vertikallast – in jeder der oberen Schrauben halber Zug

d) den oberen Schrauben wird nur die Zugkraft zugewiesen, den unteren Schrauben nur die Querkraft

e) Die gleichzeitige Wirkung von Zug- und Querkraft wird getrennt, ein Interaktionsnachweis ist nicht erforderlich.

f) „1“:  $V_{a,d} = 120 / 4 = 30$ ; „2 unten“:  $V_d = 120 / 2 = 60$ ;

„2 oben“: Versatzmoment  $M_d = 120 * 50 = 6,0$ ;  $N_d = 6,0 / 120 / 2 = 25,0$ ;

g) Es wird ein Druckpunkt bei „2 unten“ angenommen

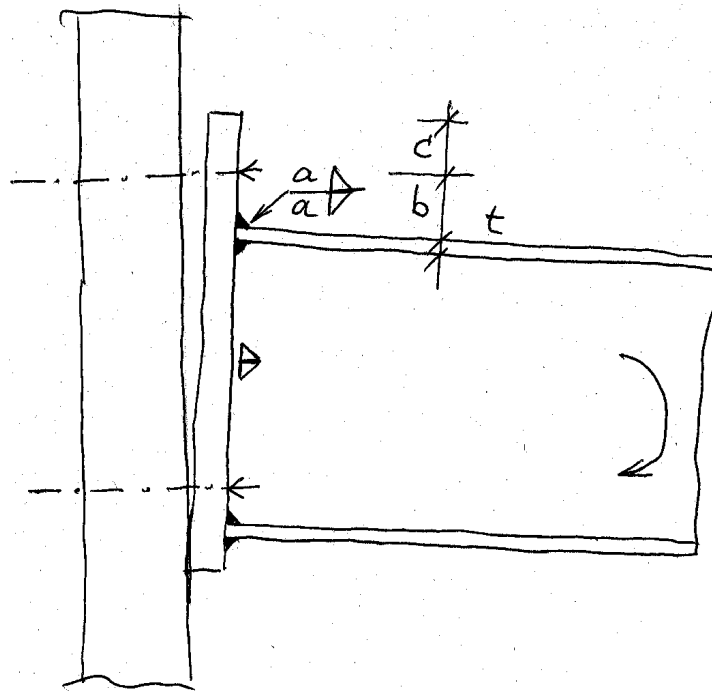
7. Einige der in Aufgabe 6 angegebenen Maße sind in konstruktiver Hinsicht bedenklich. Welche sind das? Welche Probleme entstehen dadurch? Machen Sie Lösungsvorschläge. (6 P)

Lösung:

a) Maß d passt wegen der Walzrundungen nicht auf den Steg;  $d \leq 200 - 2 * (8,5 + 12) = 159$ ; konstruktiv neu gewählt 155;

b) Die Maße b und c liegen zu nahe beieinander; die Schrauben 1 und 2 könnten kollidieren oder es gibt Behinderungen wegen schlechter Zugänglichkeit bei der Montage;

8. Gegeben ist der Stirnplattenanschluss eines Profils IPE400-S355 an eine Stütze mit folgenden Maßen:  $t = 13,5$ ;  $a = 7$ ;  $b = 70$ ;  $c = 60$ ; Breite der Stirnplatte 200. Die oberen Schrauben sind 2M27–10.9, 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  $M_d = 240$  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  $W_{pl}$ ;

Lösung:

Druckpunkt in der Mitte des unteren Flansches;  $e = 400 - 13,5/2 + 70 = 463$ ;  $N, d = 0,5 \cdot 240 / 0,463 = 259$ ; Fließgelenk oberhalb der oberen Flanschnaht;  $e_2 = 70 - 7 \cdot \sqrt{2} = 60,1$ ;  $M, d = 2 \cdot 259 \cdot 0,0601 = 31,1$ ;  $W_{pl} = 31,1 / 323 = 96,4$ ;  $T = \sqrt{(4 \cdot 96,4 \text{ cm}^3 / 20 \text{ cm})} = 43,9 \text{ mm}$

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:

$$e_3 = 60,1/2 = 30,1; M_{d,3} = 31,1/2 = 15,6; W_{pl,3} = 96,4/2 = 48,2; T = \sqrt{(4 \cdot 48,2 \text{ cm}^3 / 20 \text{ cm})} = 31,0 \text{ mm}$$

9. Herstellen von Schweißkonstruktionen im Hochbau nach DIN 18800-7 bzw. allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6.
- Ein Betrieb hat eine Herstellerqualifikation D. Darf dieser Betrieb eine stählerne Fußgängerbrücke bauen? Von was hängt das ab? (2P)
  - Welche Nachweise müsste ein „kleiner Schlossereibetrieb“ vorlegen können, wenn er für ein Wohnhaus Balkongeländer fertigt? (2P)
  - 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? (2P)

Lösung:

- Ja, wenn die Lasten als vorwiegend ruhend gelten. Das hängt vom Verhältnis Eigengewicht zu Verkehrslasten ab.
- Klasse A: dafür wird keine Bescheinigung ausgestellt; er müsste aber Schweißprüfungen vorlegen können
- 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).

10. Eine geschweißte Rahmenecke IPE360 / IPE360 – S355 wird durch ein negatives Eckmoment  $M_{d,3} = 200 \text{ kNm}$  beansprucht. Die Stegdicke des Walzprofils beträgt 8,0 mm. Der Riegel der Rahmenecke ist um  $5^\circ$  gegen die Horizontale geneigt.
- Ermitteln Sie die den Ausnutzungsgrad  $\eta$  für die Schubspannungen im Eckblech. Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:  
Rechnerische Abmessungen des Eckbleches; Flanschkräfte  $F_{d,3}$ ; Schubfluss  $T_{d,3}$ ; Schubspannung  $\tau_{d,3}$ ; aufnehmbare Schubspannung  $\tau_{R,d,3}$ . (6 P)
  - Welche Annahme für den Verlauf der Flanschkräfte im Bereich der Ecke wird dabei üblicherweise zugrunde gelegt? stichwortartige Begründung! (2 P)
  - Geben Sie zwei unterschiedliche Veränderungen an, mit der Sie in der Rahmenecke ausreichende Tragfähigkeit herstellen können. (2 P)

Lösung:

- $347/347$ ;  $F_{d,3} = 200 / (360 - 13) = 576$ ;  $T_{d,3} = 576 \text{ kN} / 347 \text{ mm} = 1661 \text{ N/mm}$ ;  $\tau_{d,3} = 1661 / 8,0 = 207$ ;  $\tau_{R,d,3} = 360 / (1,1 \cdot \sqrt{3}) = 189$ ;  $\eta = 207/189 = 1,10$ ;
- 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 Schubbleche, möglichst symmetrisch  
c2.) Anordnung zusätzlicher Diagonalen (Fachwerkmodell)

11. Hallenstütze IPE 270 – S355,  $L = 10,0$  m;  
auf dem Fundament und in der Dachebene seitlich unverschieblich gehalten;  
die schwache Achse ist auf +3,40 m und auf +7,00 m durch Wandriegel seitlich unverschieblich gehalten;  
Normalkraft  $N_{d} = 250$  kN (Biegemoment aus Wind und Rahmenwirkung vernachlässigen)  
Ermitteln Sie die Ausnutzungsgrade für Knicken um beide Achsen; 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)  
Lösung:  
Rechengang nach EC3-1-1  
 $N_{R,d} = 1481$ ;  $L_{cr} = 10000/3600$ ;  $N_{cr,d} = 1090/611$ ;  $\lambda_K = 1,17/1,56$ ;  $K_{SL} = a/b$ ;  $\alpha = 0,21/0,34$ ;  $\Phi = 1,28/1,94$ ;  $\chi = 0,552/0,322$ ;  $N_{b,R,d} = 818/477$ ;  $\eta = 0,306/0,524$
12. Durch welche konstruktive Maßnahmen lässt sich die Tragfähigkeit der Stütze aus Aufgabe 11 steigern? (1 P)  
Lösung:  
Anordnung eines weiteren Wandriegel zwischen +3,40 und +7,00; kontinuierliche Stützung des Außengurtes durch ein Trapezblech;
13. Skizzieren Sie einen Traufknoten, an dem folgende Profile beteiligt sind:  
Längswandstütze HEB200, Dachträger IPE450 (Dachneigung  $5^\circ$ ), Pfette IPE 160 (Dachüberstand 80 cm)  
Skizzieren Sie im Maßstab 1:5; skizzieren 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. Schreiben Sie Positionsnummern an alle Bauteile, Schweißnähte und Schrauben. (20 P)  
Für den zusätzlichen Anschluss der Diagonale L60x6 des Längswandverbandes (Neigung  $32^\circ$  gegen die Senkrechte, kleine Verbandslasten) gibt es bis zu 5 Sonderpunkte.  
Lösung:

14. Führen Sie alle in Aufgabe 13 vergebenen Positionsnummern auf; geben Sie jeweils in mindestens einem Stichwort an, welcher rechnerische Nachweis für dieses Bauteil/Schraube/Schweißnaht zu führen wäre. (10 P + 2 SP)

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

Lösung:

1 – Dachträger – Schub aus Querkraft