

## Stahlbau

### Schriftliche Prüfung 6620000 am 20.01.2010

### Musterlösung

Erreichbare Punktzahl: 131 (entspr. 146 %);

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 [N/mm<sup>2</sup>], Querschnittswerte [cm<sup>x</sup>], Längen [mm], Flächenlasten [kN/m<sup>2</sup>];

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-S235 in das Fundament einbetoniert, so dass es senkrecht 1,20 m aus dem Fundament ragt. Der Kranpuffer trifft das Profil in Richtung der schwachen 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 Grenzlast (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:

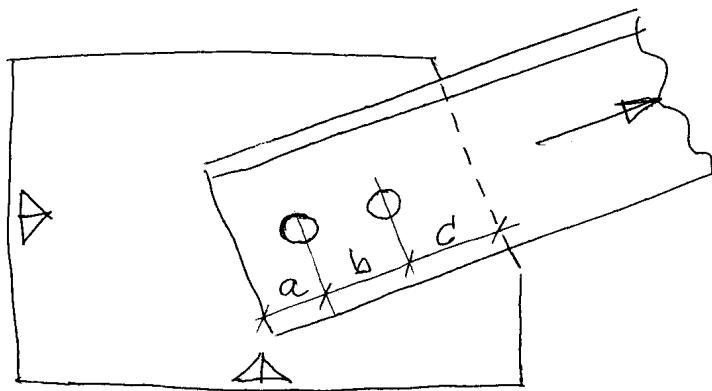
$W_{pl}$ ;  $M_{pl,d}$ ;

Lösung:

a)  $W_{el} = 327$ ;  $M_{gr,el,d} = 327 * 214 = 69,9$ ;  $F_d = 69,9 / 0,80 = 87,3$ ;

b)  $W_{pl} = 327 * 1,50 = 491$ ;  $M_{pl,d} = 491 * 214 = 105$ ;  $F_d = 105 / 0,80 = 131$ ;

2.
  - a) Ermitteln Sie für Aufgabe 1 a) die Durchbiegung des Anprallpunktes unter Bemessungslasten. (2 P)
  - b) Wie groß ist für Aufgabe 1 b) die rechnerische Durchbiegung des Anprallpunktes unter Bemessungslasten; nicht rechnen, nur beschreiben und begründen. (1 P)
  - 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:
  - a)  $87,3 * 0,80^3 / (3 * 2,1 * 10^5 * 3923) = 1,81 \text{ mm}$
  - 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. Für einen Einfeldträger wurde ein IPE-Profil nach der elastischen Grenztragfähigkeit um die starke 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 kleiner als in Aufgabe 1? (2 P)
  - c) Geben Sie den plastischen Formbeiwert für einen Rechteck-Querschnitt, ein dünnwandiges Kreisrohr und einen L-Querschnitt an, ggfs. geschätzt. (3 P)
- Lösung
  - a) 1,14
  - b) Weil der größte Teil des Querschnittes von vorne herein im Bereich hoher Spannungen liegt.
  - c) 1,5; 1,27; 1,70;
4. Ein Winkelprofil L100x10-S235 ist als Diagonale an ein Knotenblech  $t = 10 \text{ mm}$  angeschlossen mit 2 Schrauben M16-4.6.  
 $d_0 = 18, a = 50, b = 40, c = 30$ .



(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  $\alpha, b$  (13 P)

Lösung:

(Nettoquerschnitt Knotenblech wird nicht maßgebend)

Nettoquerschnitt der Diagonalen

$$N_{d,dia} = (1920 \text{ mm}^2 - 18 \text{ mm} * 10 \text{ mm}) * 214 \text{ N/mm}^2 = 372 \text{ kN}$$

Abscheren der Schrauben

$$F_{v,R,d} = 0,6 * 400 * 201 / 1,25 = 38,6$$

$$F_{v,R,d,ges} = 2 * 38,6 = 77,2$$

Lochleibung der Schraube 1 (links)

$$k_1 = 2,8 * 50 / 18 - 1,7 = 6,08, \text{ maßgebend wird } 2,5$$

$$\alpha, d = 50 / (3 * 18) = 0,926$$

$$f_{u,b} / f_{u,u} = 400 / 360 = 1,11, \text{ maßgebend wird } 1$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,926 * 360 * 16 * 10 / 1,25 = 107$$

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

$$\alpha, d = 30 / (3 * 18) = 0,556$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,556 * 360 * 16 * 10 / 1,25 = 64,1$$

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

$$\alpha, d = 40 / (3 * 18) - 0,25 = 0,491$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,491 * 360 * 16 * 10 / 1,25 = 56,6$$

Maßgebend für die rechte Schraube: Diagonalstab

Gesamte Lochleibungslast:  $V, L, R, d = 107 \text{ kN} + 56,6 \text{ kN} = 164 \text{ kN}$

Anschlusslast: 77,2 (Abscheren wird maßgebend)

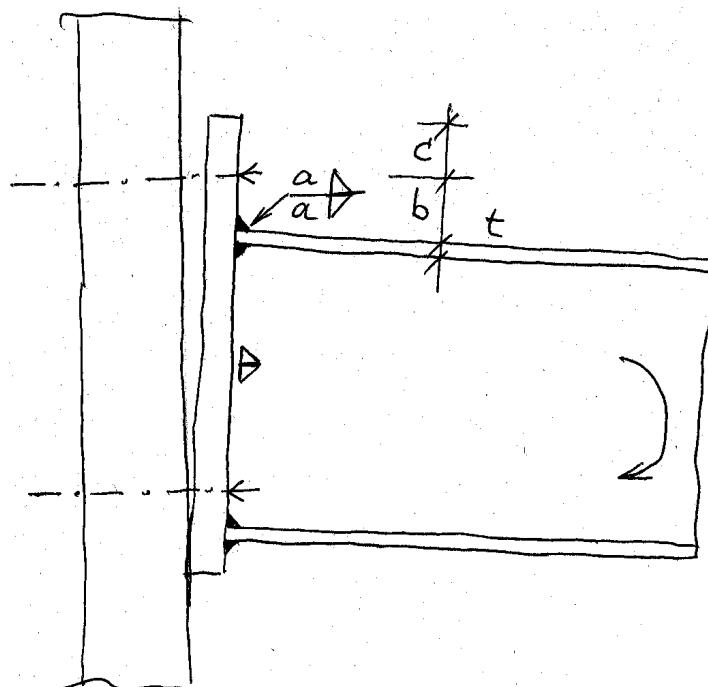
5. Zu Aufgabe 4:

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

Lösung:

- Randabstand in Kraftrichtung  $1,2 * 18 \text{ mm} = 21,6 \text{ mm}$  ist eingehalten  
Lochabstand in Kraftrichtung  $2,2 * 18 \text{ mm} = 39,6 \text{ mm}$  ist eingehalten  
Randabstand quer zur Kraftrichtung  $1,2 * 18 \text{ mm} = 21,6 \text{ mm}$  ist eingehalten
- Größere Schraubendurchmesser anordnen;  
dritte (und weitere) Schraube anordnen;  
Lochabstände vergrößern;  
(Wanddicke von Winkel und Knotenblech vergrößern);  
höhere Schraubengüte wählen;

6. Gegeben ist der Stirnplattenanschluss eines Profils IPE450-S235 an eine Stütze mit folgenden Maßen:  $t = 15$ ;  $a = 8$ ;  $b = 60$ ;  $c = 50$ ; Breite der Stirnplatte 200. Die oberen Schrauben sind 2M24–8.8, jeweils nur leicht angelegt, so dass unter Last eine klapfende 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  $M_d = 180 \text{ kNm}$  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  $W_{pl}$ ;

Lösung:

Druckpunkt in der Mitte des unteren Flansches;  $e = 450 - 15/2 + 60 = 503$ ;  $N,d = 0,5 * 180 / 0,503 = 179$ ; Fließgelenk oberhalb der oberen Flanschnaht;  $e_2 = 60 - 8 * \sqrt{2} = 48,7$ ;  $M,d = 2 * 179 * 0,0487 = 17,4$ ;  $W_{pl} = 17,4 / 214 = 81,3$ ;  $T = \sqrt{(4 * 81,3 \text{ cm}^3) / 20 \text{ cm}} = 40,3 \text{ mm}$

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:

$e_3 = 48,7 / 2 = 24,4$ ;  $M,d = 17,4 / 2 = 8,70$ ;  $W_{pl} = 81,3 / 2 = 40,7$ ;  $T = \sqrt{(4 * 40,7 \text{ cm}^3) / 20 \text{ cm}} = 28,5 \text{ mm}$

7. Eine geschweißte Rahmenecke IPE330 / IPE330 – S235 wird durch ein negatives Eckmoment  $M,d = 140 \text{ kNm}$  beansprucht. Die Stegdicke des Walzprofils beträgt 7,5 mm, die Flanschdicke beträgt 12 mm. Der Riegel der Rahmenecke ist um  $7^\circ$  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 zwei unterschiedliche Veränderungen an, mit der Sie in der Rahmenecke ausreichende Tragfähigkeit herstellen können. Geben Sie jeweils eine qualifizierte Schätzung für die erforderliche Bauteildicke ab (4 P).

Lösung:

a)  $318/318; F,d = 140 / (330 - 12) = 440$ ;  $T,d = 440 \text{ kN} / 318 \text{ mm} = 1384 \text{ N/mm}$ ;  $\tau,d =$

$$1384 / 7,5 = 185; \tau, R, d = 235 / (1,1 * \sqrt{3}) = 123; \eta = 185/123 = 1,50;$$

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 Schubbleche, möglichst symmetrisch

c2.) Anordnung zusätzlicher Diagonalen (Fachwerkmodell)

8. Hallenstütze IPE 240 – S235, L = 9,50 m;

auf dem Fundament und in der Dachebene seitlich unverschieblich gehalten;

die schwache Achse ist auf +2,80 m und auf +7,50 m durch Wandriegel seitlich unverschieblich gehalten;

Normalkraft  $N,d = 210 \text{ kN}$  (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

$N,R,d = 835; L,cr = 9500/4700; N,cr,d = 813/242; \lambda,K = 1,014/1,857; KSL = a/b; \alpha = 0,21/0,34; \Phi = 1,10/2,51; \chi = 0,656/0,239; N,b,R,d = 548/199; \eta = 0,383/1,06$

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

Lösung:

Anordnung eines weiteren Wandriegel zwischen +2,80 und +7,50; kontinuierliche Stützung des Außengurtes durch ein Trapezblech;

10. Skizzieren Sie einen Traufknoten, an dem folgende Profile beteiligt sind:

Längswandstütze HEA200, Dachträger IPE400 (Dachneigung 10°), Pfette IPE 160 (Dachüberstand 50 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° gegen die Senkrechte, kleine Verbandslasten) gibt es bis zu 5 Sonderpunkte.

Lösung:

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 + 2 SP)

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

Lösung:

1 – Dachträger – Schub aus Querkraft

12. Herstellen von Schweißkonstruktionen im Hochbau nach DIN 18800-7.

Firma D hat eine Herstellerqualifikation Klasse D. Aus Kapazitätsgründen sollen Teile bei der benachbarten Firma B gefertigt werden, die eine Herstellerqualifikation Klasse B hat.

Beurteilen Sie für die folgenden Fälle, ob das Vorgehen der Beteiligten nach DIN 18800-7 richtig ist.

a) Die gefertigten Teile erfordern Klasse B, Firma B liefert im Werkvertrag. Der SFI der Firma D geht jeden Tag zur Firma B in die Fertigung und schaut, wie die Arbeiten voran gehen. (5 P)

b) Die gefertigten Teile erfordern Klasse C, Firma B liefert im Werkvertrag. Der SFI der Firma D geht jeden Tag zur Firma B in die Fertigung und, überwacht dort die Arbeiten und gibt den Schweißern Weisungen. (5 P)

c) Die gefertigten Teile erfordern Klasse D, Firma B verleiht drei Schweißer an die Firma D. Die Schweißer der Firma B arbeiten auf dem Betriebsgelände der Firma D und sind dort der Schweißaufsicht der Firma D unterstellt. (5 P)

d) Die gefertigten Teile erfordern Klasse D, Firma B lehnt sich den SFI der Firma D im Rahmen eines Vertragsverhältnisses für die Zeit der Fertigung aus. Der SFI ist in dieser Zeit ausschließlich auf dem Betriebsgelände der Firma B tätig. (5 P)

Lösung:

a) Das Vorgehen ist richtig, Firma B handelt eigenverantwortlich im Rahmen ihrer Herstellerqualifikation Klasse B, der SFI der Firma D tritt dort ohne baurechtliche Funktion auf.

b) Das Vorgehen ist nicht zulässig. Wenn Firma B im Werkvertrag liefert, sind die Weisungen des SFI ohne Bedeutung.

c) Das Vorgehen ist richtig. Der SFI ist dafür verantwortlich, dass die ausgeliehenen Schweißer handwerklich ausreichend qualifiziert sind; er hätte sich die Schweißer auch von einem Personalverleih besorgen können.

- d) Das Vorgehen ist nicht zulässig. Firma B hat keine Herstellerqualifikation der Klasse D, die müsste ihr nach Antrag erst erteilt werden.