

## Stahlbau

### Schriftliche Prüfung 6620000 am 20.07.2011

### Musterlösung für EC3

Erreichbare Punktzahl: EC3 142,5 (entspr. 158 %); DIN 137,5 (entspr. 153 %)

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 [ $N/mm^2$ ], Querschnittswerte [ $cm^x$ ], Längen [mm], Flächenlasten [ $kN/m^2$ ];

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

Bitte ankreuzen (ohne Kreuz kann die Prüfung nicht bewertet werden)

- ich bearbeite die folgenden Aufgaben nach DIN 18800
- ich bearbeite die folgenden Aufgaben nach EC3 (DIN EN 1993)

1. An der Giebelseite einer Scheune ist ein Kragträger HEB 140 – S235 mit einer Systemlänge von 2 m eingebaut. An der Spitze des Kragarms hängt ein Kettenzug, mit dem Lasten hochgezogen werden. Welche Last  $F,d$  kann der Träger aufnehmen? Stabilitätsphänomene sowie die Querkraft und das Eigengewicht des Profils sollen vernachlässigt werden.

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

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

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

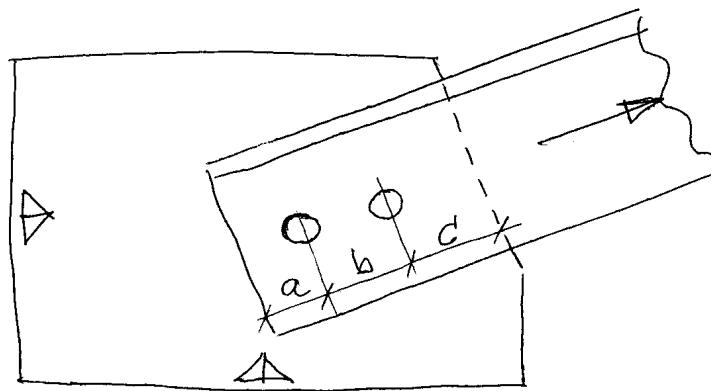
b) bemessen Sie nach der plastischen Traglast des Kragmomentes (Fließgelenk) (3 P)

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

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

Lösung:

- a)  $W_{el} = 216$ ;  $M_{gr,el,d} = 216 * 214 = 46,2$ ;  $F_d = 46,2 / 2,0 = 23,1$ ;  
b)  $W_{pl} = 216 * 1,14 = 246$ ;  $M_{pl,d} = 246 * 214 = 52,6$ ;  $F_d = 52,6 / 2,0 = 26,3$ ;
2. a) Ermitteln Sie für Aufgabe 1 a) die Durchbiegung an der Spitze unter Bemessungslasten. (2 P)  
b) Wie groß ist für Aufgabe 1 b) die rechnerische Durchbiegung an der Spitze unter Bemessungslasten; nicht rechnen, nur beschreiben und begründen. (1 P)  
c) Nehmen Sie an, die tatsächliche Durchbiegung an der Spitze unter der Bemessungslast aus Aufgabe 1 b) wäre nur ca. 200 mm. Geben Sie mögliche Ursachen an, begründen Sie. (1 P)
- Lösung:
- a)  $23,1 * 2,0^3 / (3 * 2,1 * 10^5 * 1510) = 19,4 \text{ mm}$   
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 HEB-Profil wurde 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) Geben Sie den plastischen Formbeiwert für einen T-Querschnitt, einen Kreis-Vollquerschnitt und einen L-Querschnitt an, ggfs. geschätzt. (1,5 P)  
c) Warum empfiehlt es sich, T-Querschnitte nach der plastischen Querschnittstragfähigkeit zu bemessen (Stichworte)? (3 P)
- Lösung
- a) 1,14  
b)  $1,6 - 1,8; 16 / 3\pi; 1,6 - 1,8$ ;  
c) 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  $t = 10 \text{ mm}$ angeschlossen mit 2 Schrauben M12-4.6.  
 $d_0 = 14, a = 40, b = 50, c = 20$ .



(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  $a, b$  (13 P)

Lösung:

(Nettoquerschnitt Knotenblech wird nicht maßgebend)

Nettoquerschnitt der Diagonalen

$$A_{dia} = 691 \text{ mm}^2 - 14 \text{ mm} * 6 \text{ mm} = 607 \text{ mm}^2$$

$$N_{d,dia} = 607 * 214 = 130 \text{ kN}$$

Abscheren der Schrauben

$$F_{v,R,d} = 0,6 * 400 * 113 / 1,25 = 21,7$$

$$F_{v,R,d,ges} = 2 * 21,7 = 43,4 \text{ kN}$$

Lochleibung der Schraube 1 (links)

$$k_1 = 2,8 * 30 / 14 - 1,7 = 4,30, \text{ maßgebend wird } 2,5$$

$$\alpha, d = 40 / (3 * 14) = 0,952$$

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

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,952 * 360 * 12 * 6 / 1,25 = 49,4 \text{ kN}$$

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

$k_1$  wie für linke Schraube

$$\alpha, d = 20 / (3 * 14) = 0,476$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,476 * 360 * 12 * 10 / 1,25 = 41,1 \text{ kN}$$

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

$k_1$  wie für linke Schraube

$$\alpha, d = 50 / (3 * 14) - 0,25 = 0,941$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,941 * 360 * 12 * 6 / 1,25 = 48,8 \text{ kN}$$

Maßgebend für die rechte Schraube: Knotenblech

Gesamte Lochleibungslast:  $V, L, R, d = 49,4 \text{ kN} + 41,1 \text{ kN} = 90,5 \text{ kN}$

Anschlusslast: 43,4 kN (Abscheren wird maßgebend)

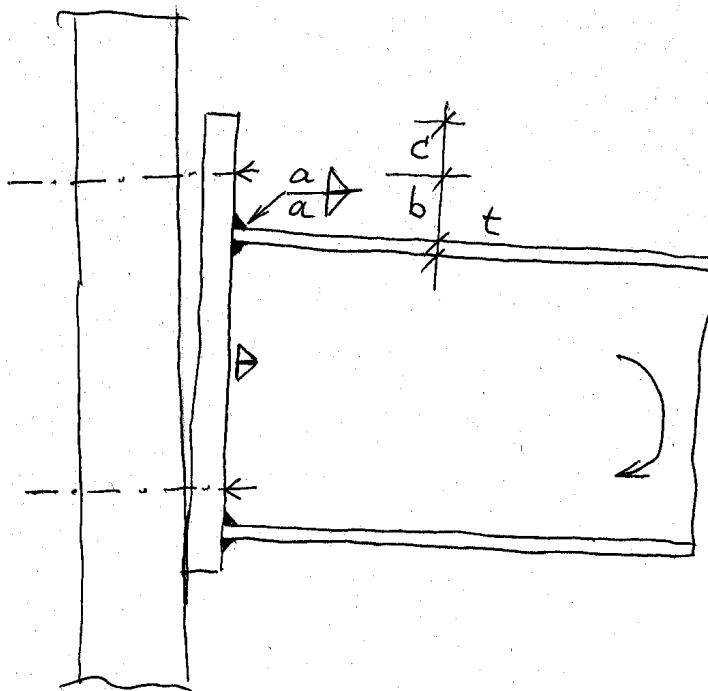
5. Zu Aufgabe 4:

- 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  $1,2 * 14 \text{ mm} = 16,8 \text{ mm}$  ist eingehalten  
Lochabstand in Kraftrichtung  $2,2 * 14 \text{ mm} = 30,8 \text{ mm}$  ist eingehalten  
Randabstand quer zur Kraftrichtung  $1,2 * 14 \text{ mm} = 16,8 \text{ mm}$  ist eingehalten
- Größere Schraubendurchmesser anordnen;  
dritte (und weitere) Schraube anordnen;  
Randabstand c vergrößern;  
(Wanddicke von Winkel und Knotenblech vergrößern);  
höhere Schraubengüte wählen;

6. Gegeben ist der Stirnplattenanschluss eines Profils IPE240-S235 an eine Stütze mit folgenden Maßen:  $t = 9,8$ ;  $a = 5$ ;  $b = 30$ ;  $c = 20$ ; Breite der Stirnplatte 140. Die oberen Schrauben sind 2M16–10.9, 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  $M, d = 50 \text{ kNm}$  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;  $e = 240 - 9,8/2 + 30 = 265$ ;  $N,d = 0,5 * 50 / 0,265 = 94,3$ ; Fließgelenk oberhalb der oberen Flanschnaht;  $e_2 = 30 - 5 * \sqrt{2} = 22,9$ ;  $M,d = 2 * 94,3 * 0,0229 = 4,32$ ;  $W_{pl} = 4,32 / 214 = 20,2$ ;  $T = \sqrt{(4 * 20,2 \text{ cm}^3) / 14 \text{ cm}} = 24,0 \text{ mm}$

b)  $e_3 = 22,9 / 2 = 11,5$ ;  $M,d = 4,32 / 2 = 2,16$ ;  $W_{pl} = 20,2 / 2 = 10,1$ ;  $T = \sqrt{(4 * 10,1 \text{ cm}^3) / 14 \text{ cm}} = 17,0 \text{ mm}$

7. Eine geschweißte Rahmenecke IPE240 / IPE240 – S235 wird durch ein negatives Eckmoment  $M,d = 50 \text{ kNm}$  beansprucht. Die Stegdicke des Walzprofils beträgt 6,2 mm, die Flanschdicke beträgt 9,8 mm. Der Riegel der Rahmenecke ist um  $2^\circ$  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)  $230/230; F,d = 50 / 230 = 217; T,d = 217 \text{ kN} / 230 \text{ mm} = 945 \text{ N/mm}; \tau,d = 945 / 6,2 = 152; \tau,R,d = 235 / (1,1 * \sqrt{3}) = 123; \eta = 152/123 = 1,23;$

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;  $T,ges,erf = 8,6 * 1,24 = 10,6$  – konstr. gewählt 2x5

c2.) Anordnung zusätzlicher Diagonalen (Fachwerkmodell);  $A,erf = 518 * \sqrt{2} * 0,5 / 214 = 1710$  je Seite, konstr. gew. 25x80

c3) Anordnung einer Voute; Vergrößerung des inneren Hebelarmes auf  $230 * 1,23 = 283$ , konstr. gewählt Voute aus IPE240

8. Ein Riegel IPE450-S355 im vertikalen Kreuzverband eines Stahlskelettbau mit einer Systemlänge von  $B = 6 \text{ m}$  wird als Verbandsstab durch eine Bemessungsnormalkraft  $N,d = 2160 \text{ kN}$  beansprucht.

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) Welche Einflüsse müsste man bei dem Stabilitätsnachweis noch berücksichtigen, wenn der Riegel auch als Deckenträger beansprucht wird? Beschreiben Sie stichwortartig die Auswirkungen dieser Einflüsse auf den Knicknachweis. (6 P)

- c) Welches Stabilitätsphänomen kann im Hinblick auf b) bei dem Riegel noch auftreten (Stichworte)? (3 P)

Lösung:

Rechengang nach EC3-1-1:

a)  $L = 6000 / 6000; s,k = 6000 / 6000; N,pl = 3189; N,cr,z,d = 17700/877; \lambda,K = 0,425/1,91; KSL = a/b; \alpha = 0,21/0,34; \Phi = 0,614/2,61; \chi = 0,946/0,228; N,b,z,Rd = 3020/727; \eta = 0,715/2,97$

- b) Die zusätzliche Beanspruchung aus Biegemoment, die dazu führt, dass die oben ermittelten Ergebnisse auf der unsicheren Seite liegen.

- c) Kippen bzw. Biegendrillknicken;

9. Geben Sie mindestens 3 konstruktive Maßnahmen an, durch die sich eine ausreichende Tragfähigkeit des Riegels aus Aufgabe 8 herstellen lässt? Skizzieren Sie gegebenenfalls. (6 P)

Lösung:

- a) Einbinden des Obergurtes in die Betondecke, z.B. über Kopfbolzen;  
b) Falls nur eine Stahlbau-Gitterrostbühne vorhanden ist: horizontale Stützung des Obergurtes durch die Gitterrostträger in einem Abstand von ca. 1 m.  
c) Aufschweißen von Kammerblechen, so dass ein Kastenquerschnitt mit deutlich höherer Steifigkeit um die schwache Achse entsteht.  
d) Wählen eines HEA- oder HEB-Profils mit den entsprechenden Querschnittswerten.

10. Konstruieren und Zeichnen Sie zu der vorigen Aufgabe den Anschluss des Riegels an eine Stütze HEA320-S355 mit einem Kreuzverband 2L100x10-S355 und Knotenblechen 20 mm. Die Diagonalkraft beträgt ca. 1100 kN, es werden 4M24-8.8 benötigt. Die Geschosshöhe ist 4 m.

Beachten Sie, dass der Riegel an den Enden als gelenkig angeschlossen betrachtet wird.

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

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 EN 1090.  
NUR für Kandidaten, die die Prüfung nach EC3 bearbeiten.  
Legen Sie für die nachfolgenden Bauteile CC, SC und PC fest und bestimmen Sie daraus die EXC. Geben Sie dabei jeweils mindestens 1 Stichwort an, mit dem Sie Ihre Entscheidung begründen. Welche Qualifikation muss die Schweißaufsicht des Betriebes haben, der diese Bauteile fertigt?
- a) Was bedeuten die Abkürzungen? (2P)
  - b) Feuerverzinktes Stahlgeländer S235 an einem Wohnhaus-Balkon. (2,5 P)
  - c) Balkongeländer aus Nichtrostendem Stahl an einem Wohnhaus. (2,5 P)
  - d) Feuerverzinktes Stahlgeländer S235 im Foyer eines Konzerthauses. (2,5 P)
  - e) Balkongeländer aus Nichtrostendem Stahl im Foyer eines Konzerthauses. (2,5 P)
  - f) Produktionshalle mit Spannweite 22 m, S235, maximale Stirnplattendicke 25 mm. (2,5 P)
  - g) Stadionüberdachung S355, maximale Stirnplattendicke 60 mm. (2,5 P)
- Lösung:
- a) CC consequence class = Schadensfolgeklasse; SC service category = Beanspruchungskategorie; PC production category = Herstellungskategorie, EXC execution class = Ausführungsklasse
  - b) CC1; SC1; PC1; EXC1
  - c) CC1; SC1; PC2; EXC2
  - d) CC2; SC1; PC1; EXC2
  - e) CC2; SC1; PC2; EXC3
  - f) CC1; SC1; PC1; EXC1
  - g) CC3; SC1; PC2; EXC3a
13. Herstellen von Schweißkonstruktionen im Hochbau nach DIN 18800-7.  
NUR für Kandidaten, die die Prüfung nach DIN 18800 bearbeiten.  
(jeweils stichwortartige Begründung)
- a) Eine Firma mit einer Herstellerqualifikation C hat Kapazitätsprobleme und möchte daher einzelne Teile bei Subunternehmern fertigen lassen. Beschreiben und begründen Sie, unter welchen Bedingungen die Fertigung von Teilen vergeben werden darf. (5 P)
  - b) Warum darf die Schweißaufsichtsperson des Betriebes C im benachbarten Betrieb C die Funktion der Schweißaufsicht im Regelfall nicht wahrnehmen? Welche

Maßnahmen müssten getroffen werden, damit das den Regelungen in DIN 18800-7 entspricht? (5 P).

c) Welche Herstellerqualifikation ist erforderlich, um die oben beschriebenen Bau- teile des Kreuzverbandes zu fertigen? (2P)

Lösung:

a) Der Subunternehmer muss für die Teile qualifiziert sein, die er fertigt, also B für B, C für C, usw.

b) Die Herstellerqualifikation beschreibt den Herstellungsbetrieb, dieser hat im Re- gelfall eine fest angestellte SAP; auch wenn die SAP des Nachbarbetriebes ausrei- chend qualifiziert ist, darf sie diese Aufgaben nicht wahrnehmen.

Die SAP müsste sich von einer anerkannten Stelle für den Nachbarbetrieb als Schweißaufsicht eintragen lassen.

c) Wegen Werkstoff S355 und ca. 15 mm Flanschdicke bei IPE 450: Klasse C; Kopf und Fußplatten werden mit Wanddicken bis höchstens 40 mm vorausgesetzt, sonst, Klasse D.