



## Stahlbau

### Schriftliche Prüfung 6620000 am 19.01.2011

### Musterlösung nach EC3

Erreichbare Punktzahl: 134,5 (entspr. 149 %);

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

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

1. Ein Kranbahnträger HEA 240 – S355 wird als Einfeldträger mit einer Feldweite von 6 m eingesetzt. Die Räder der Kranbrücke haben einen Radstand von 2 m. Welche vertikale Last je Rad  $F_d$  kann der Träger aufnehmen? Stabilitätsphänomene sowie die Querkraft und das Eigengewicht des Profils sollen vernachlässigt werden.

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

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

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

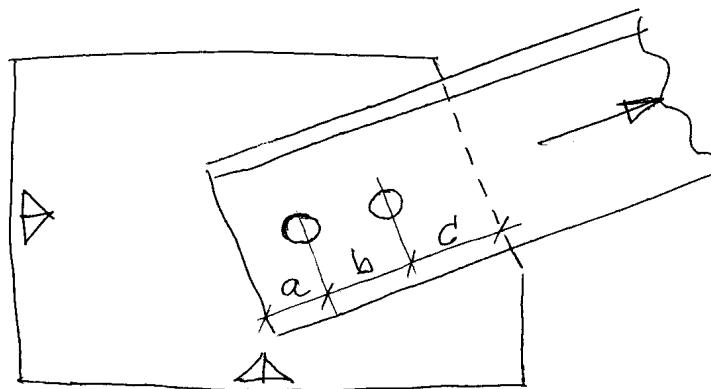
b) bemessen Sie nach der plastischen Traglast des Feldmomentes (Fließgelenk) (3 P)

Geben Sie folgende Zwischenergebnisse an:

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

Lösung:

- a)  $W_{el} = 675$ ;  $M_{gr,el,d} = 675 * 323 = 218$ ;  $F_d = 218/2 = 109$ ;  
b)  $W_{pl} = 675 * 1,14 = 770$ ;  $M_{pl,d} = 770 * 323 = 249$ ;  $F_d = 249/2 = 124$ ;
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. 500 mm. Geben Sie mögliche Ursachen an, begründen Sie. (1 P)
- Lösung:
- a)  $23/648 * F^*L^3 / EI = 23 * 109 * 6,0^3 / (648 * 2,1*10^5 * 7763) = 51,3 \text{ mm}$   
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 HEA-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? (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 Flachstahl FL100x10-S355 ist als Diagonale an ein Knotenblech  $t = 10 \text{ mm}$  angeschlossen mit 2 Schrauben M24-8.8 Gewinde bis zum Kopf.  
 $d_0 = 26$ ,  $a = 30$ ,  $b = 60$ ;  $c = 40$ .



(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

$$N_{d,dia} = (1000 \text{ mm}^2 - 26 \text{ mm} * 10 \text{ mm}) * 355 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 239 \text{ kN}$$

Abscheren der Schrauben

$$F_{v,R,d} = 0,6 * 800 * 353 / 1,25 = 136$$

$$F_{v,R,d,ges} = 2 * 136 = 271 \text{ kN}$$

Lochleibung der Schraube 1 (links)

$$k_1 = 2,8 * 50 / 26 - 1,7 = 3,69, \text{ maßgebend wird } 2,5$$

$$\alpha, d = 30 / (3 * 26) = 0,385$$

$$f_{u,b} / f_u = 800 / 510 = 1,57, \text{ maßgebend wird } 1$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,385 * 510 * 24 * 10 / 1,25 = 94,2 \text{ kN}$$

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

$k_1$  wie für linke Schraube

$$\alpha, d = 40 / (3 * 26) = 0,513$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,513 * 510 * 24 * 10 / 1,25 = 126 \text{ kN}$$

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

$k_1$  wie für linke Schraube

$$\alpha, d = 60 / (3 * 26) - 0,25 = 0,519$$

$$F_{b,R,d} = 2,5 * 0,519 * 510 * 24 * 10 / 1,25 = 127 \text{ kN}$$

Maßgebend für die rechte Schraube: Knotenblech

Gesamte Lochleibungslast:  $V,L,R,d = 94,2 \text{ kN} + 126 \text{ kN} = 220 \text{ kN}$

Anschlusslast: 220 kN (Lochleibung wird maßgebend)

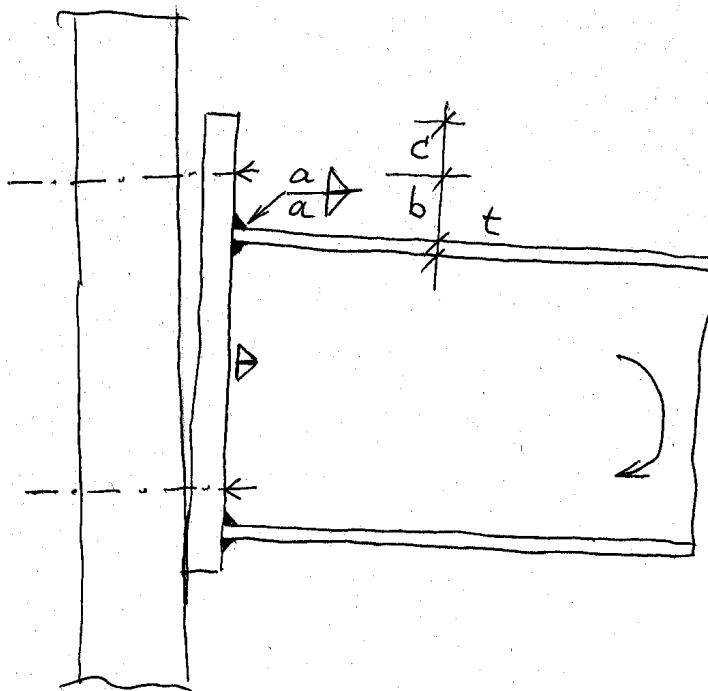
5. Zu Aufgabe 4:

- 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  $1,2 * 26 \text{ mm} = 31,2 \text{ mm}$  ist nicht eingehalten  
Lochabstand in Kraftrichtung  $2,2 * 26 \text{ mm} = 57,2 \text{ mm}$  ist eingehalten  
Randabstand quer zur Kraftrichtung  $1,2 * 26 \text{ mm} = 31,2 \text{ mm}$  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 Stirnplattenanschluss eines Profils IPE450-S235 an eine Stütze mit folgenden Maßen:  $t = 15$ ;  $a = 8$ ;  $b = 80$ ;  $c = 100$ ; Breite der Stirnplatte 220. 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  $M,d = 220 \text{ kNm}$  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;  $e = 450 - 15/2 + 80 = 523$ ;  $N,d = 0,5 \cdot 220 / 0,523 = 210$ ; Fließgelenk oberhalb der oberen Flanschnaht;  $e_2 = 80 - 8 \cdot \sqrt{2} = 68,7$ ;  $M,d = 2 \cdot 210 \cdot 0,0687 = 28,9$ ;  $W_{pl} = 28,9 / 214 = 135$ ;  $T = \sqrt{(4 \cdot 135 \text{ cm}^3) / 22 \text{ cm}} = 49,5 \text{ mm}$

b)  $e_3 = 68,7 / 2 = 34,4$ ;  $M,d = 28,9 / 2 = 14,5$ ;  $W_{pl} = 135 / 2 = 67,4$ ;  $T = \sqrt{(4 \cdot 67,4 \text{ cm}^3) / 22 \text{ cm}} = 35,0 \text{ mm}$

7. Eine geschweißte Rahmenecke IPE400 / IPE400 – S235 wird durch ein negatives Eckmoment  $M,d = 200 \text{ kNm}$  beansprucht. Die Stegdicke des Walzprofils beträgt 8,6 mm, die Flanschdicke beträgt 14 mm. Der Riegel der Rahmenecke ist um  $10^\circ$  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)  $386/386; F,d = 200 / 386 = 518; T,d = 518 \text{ kN} / 386 \text{ mm} = 1340 \text{ N/mm}; \tau,d = 1340 / 8,6 = 156; \tau,R,d = 235 / (1,1 * \sqrt{3}) = 123; \eta = 156/123 = 1,26;$

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;  $T,ges,erf = 8,6 * 1,26 = 10,9$  – konstr. gewählt 2x6

c2.) Anordnung zusätzlicher Diagonalen (Fachwerkmodell);  $A,erf = 518 * \sqrt{2} * 0,5 / 214 = 1712$  je Seite, konstr. gew. 25x80

c3) Anordnung einer Voute; Vergrößerung des inneren Hebelarmes auf  $386 * 1,26 = 486$ , konstr. gewählt 200er Voute

8. Ein Silo ist auf 4 Stützen HEB 240-S355 aufgeständert. Damit die Stützen gegen Anprall gesichert sind, stehen sie auf einem Betonsockel auf +1,50 m. Die Anschlussebene Silo-Stützen liegt auf +6,20 m. Der Stützenkopf wird um die starke Achse durch einen sehr steifen Rahmenriegel gehalten. In Richtung der schwachen Achse ist zwischen je zwei Stützen ein Kreuzverband angeordnet.

Die Bemessungsnormalkraft in einer Stütze beträgt  $N,d = 1800 \text{ kN}$ ; angeschlossene Fördereinrichtungen bewirken ein Biegemoment aus Wind (näherungsweise um beide Achsen gleich angenommen)  $M,d = 5,5 \text{ kNm}$ ;

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 EC3-1-1:

a)  $L = 6200 - 1500 = 4700$ ;  $s,k = 2 \cdot 4700 / 4700$ ;  $N,pl = 3420$ ;  $N,cr,z,d = 2401/3446$ ;  
 $\lambda,K = 1,194/1,011$ ;  $KSL = b/c$ ;  $\alpha = 0,34/0,49$ ;  $\Phi = 1,381/1,210$ ;  $\chi = 0,482/0,534$ ;  
 $N,b,z,Rd = 1648/1825$ ;  $\eta = 1,092/0,986$

b)  $M,d = 5,5$ ;  $My,R,d = 938 \cdot 1,14 \cdot 355/1,1 = 345$ ;  $Mz,R,d = 327 \cdot 1,5 \cdot 355/1,1 = 158$ ;  
 $\eta,y,B = 5,5/345 = 0,0159$ ;  $\eta,z,B = 5,5/158 = 0,0348$ ;  $\eta,y = 1,092 + 0,0159 + 0,0348$   
 $+ 0,1 = 1,243$ ;  $\eta,z = 0,986 + 0,0159 + 0,0348 = 1,037$

c) Kippen bzw. Biegedrillknicken;

9. Durch welche konstruktive Maßnahmen lässt sich die Tragfähigkeit der Stütze aus Aufgabe 8 steigern? Skizzieren Sie gegebenenfalls. Hinweis: wegen der gewünschten Unterfahrt muss der Lichtraum des Rahmens frei bleiben (6 P)

Lösung:

Stützung der schwachen Achse: Anordnung eines weiteren Wandriegel auf halber Höhe, Teilen des Vertikalverbandes in zwei Stockwerke;

Stützung der starken Achse: Vergrößern der Profilstifigkeit durch Wahl eines größeren Walzquerschnittes oder Aufschweißen eines Profils auf der Außenseite der Stützen, z.B. 1/2 IPE400; Einspannen des Stützenfußes;

10. Zeichnen Sie zu der vorigen Aufgabe einen Stützenfuß mit einer Fußplatte mit den Mindestabmessungen 600x600 aus S355, einer Wanddicke von 20 mm und einer Verbandsdiagonalen L100x10, die mit 3 M24 an ein Knotenblech angeschlossen ist. Die Verbandsdiagonale hat eine Neigung von 28° gegen die Vertikale.  
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 der oben angegebenen Vertikallast erforderlich sind. 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) Eine Firma mit einer Herstellerqualifikation D 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 D im benachbarten Betrieb B 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 Silostützen zu fertigen? (2P)

Lösung:

a) Teile, die der Klasse D entsprechen, dürfen an einen Betrieb mit der Herstellerqualifikation D vergeben werden. Ebenso C an C und B an B. Die Vergabe an einen unterqualifizierten Betrieb ist dann möglich, wenn sich dieser einer objektorientierten Fremdüberwachung durch seine anerkannte Stelle unterzieht.

b) Weil die Herstellerqualifikation an den Betrieb gebunden ist und nicht an die Schweißaufsichtsperson. Der benachbarte Betrieb kann die befristete Ausstellung einer Herstellerqualifikation D beantragen mit der Schweißaufsicht des Betriebes D als externer Schweißaufsichtsperson.

c) S355, Wanddicke 17 mm im Profil, Wanddicke 20 mm in der Fußplatte.

Aufgrund der Wanddicken würde eine Herstellerqualifikation Klasse B genügen, aufgrund des Werkstoffes ist eine Herstellerqualifikation Klasse C erforderlich.