

## Schriftliche Prüfung am 10.07.2006

### Musterlösung

Erreichbare Punktzahl: 37,5 (entspr. 117 %); erreichte Punkte

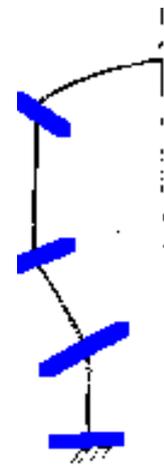
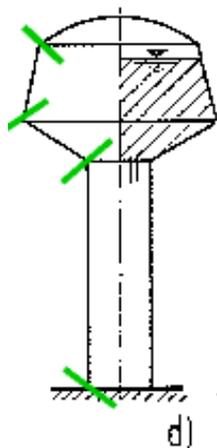
(Unterschrift Prüfer)

Name, Vorname, Matrikelnummer: .....

Hinweis:

Falls nicht anders angegeben, sind die angegebenen Einwirkungen Gebrauchszustände.  
Auch die Schnittgrößen und Spannungen sind auf Gebrauchslastniveau anzugeben.  
Geben Sie alle Ergebnisse mit (mindestens) 3 Ziffern Genauigkeit an.

1. Skizzieren Sie an den untenstehenden Behältern die Freischnitte (jeweils nur auf einer Seite der Symmetrieachse), die geführt werden müssen, um die Membranzustände berechnen zu können.



Ergebnis (1P)

2. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit folgenden Abmessungen:  
Durchmesser  $D = 7,80 \text{ m}$   
Höhen  $H_{\text{zyl}} = 12,70 \text{ m}$ ;  $H_{\text{füll}} = 12,50 \text{ m}$   
Flüssiges Medium  $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$

Berechnen Sie die maximale Umfangszugkraft  $n\varphi$  [kN/m] für einen maximalen Innendruck  $p_{i,innen} = 125 \text{ kN/m}^2$

Lösung:  $n\varphi = p_i \cdot R = 125 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,80 \text{ m} / 2 = 488 \text{ kN/m}$

Ergebnis (1P): .....

3. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 2:  
Ermitteln Sie die Umfangszugspannung  $\sigma\varphi$  [N/mm<sup>2</sup>], wenn der Behälter aus Stahlblech (S 235 JR mit  $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$ ;  $E_{k} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ ;  $\mu = 0,3$ ) mit einer Wanddicke von 4,0 mm gefertigt ist.

Falls Sie für Aufgabe 2 keine Lösung ermittelt haben, verwenden Sie  $n\varphi = 920 \text{ kN/m}$

Lösung:  $\sigma\varphi = n\varphi / T = 488 \text{ N/mm} / 4 \text{ mm} = 122 \text{ N/mm}^2$

Ersatzlösung:  $\sigma\varphi = n\varphi / T = 920 \text{ N/mm} / 4 \text{ mm} = 230 \text{ N/mm}^2$

Ergebnis (1P): .....

4. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 3:

Ermitteln Sie die maximale Radienvergrößerung  $w_0$  [mm]

Falls Sie für Aufgabe 3 keine Lösung ermittelt haben, verwenden Sie  $\sigma\varphi = 195 \text{ N/mm}^2$

Lösung:  $w_0 = R \cdot \sigma\varphi / E = 7800 \text{ mm} / 2 \cdot 122 \text{ N/mm}^2 / 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 = 2,27 \text{ mm}$

Ersatzlösung:  $w_0 = R \cdot \sigma\varphi / E = 7800 \text{ mm} / 2 \cdot 195 \text{ N/mm}^2 / 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 = 3,62 \text{ mm}$

Ergebnis (1P): .....

5. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Beton-Behälter (C30/37 mit  $f_{c,k} = 30 \text{ MN/m}^2$ ;  $E_{k} = 34000 \text{ MN/m}^2$ ;  $\mu = 0,3$ ) mit den Schnittgrößen aus Aufgabe 2:

Ermitteln Sie die erforderliche Gesamt-Umfangsbewehrung  $a_s$  [cm<sup>2</sup>/m], wenn aus Gründen der Risseverteilung die Bewehrung im Gebrauchszustand nur mit  $175 \text{ N/mm}^2$  ausgenutzt werden soll.

Falls Sie für Aufgabe 2 keine Lösung ermittelt haben, verwenden Sie  $n\varphi = 920 \text{ kN/m}$

Lösung:  $a_s = n\varphi / \sigma_{zul} = 488 \text{ kN/m} / 17,5 \text{ kN/cm}^2 = 27,9 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Ersatzlösung:  $a_s = n\varphi / \sigma_{zul} = 920 \text{ kN/m} / 17,5 \text{ kN/cm}^2 = 52,6 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Ergebnis (1P): .....

6. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 5:

Legen Sie die Verteilung der Umfangsbewehrung auf die Innen- und Außenfläche der Behälterwand fest.

Lösung:  $a_{s,innen} = 14,0 \text{ cm}^2 / \text{m}; \quad a_{s,außen} = 14,0 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Ersatzlösung:  $a_{s,innen} = 26,3 \text{ cm}^2 / \text{m}; \quad a_{s,außen} = 26,3 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Ergebnis (1P): .....

7. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 5:  
Warum wird bei Betonbehältern nicht die ganze Umfangsbewehrung in der Mitte der  
Wand angeordnet? Begründen Sie in Stichworten.

Lösung: ... unplanmäßige Biegebeanspruchung in der Wand abdecken

Ergebnis (1P): .....  
.....

8. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 4:  
Ermitteln Sie die Randstörgrößen R und M für die Zylinderschale.  
Näherungsweise ist anzunehmen, daß die Zylinderschale starr an eine unendlich steife  
Bodenplatte angeschlossen wird.

Falls Sie für Aufgabe 4 keine Lösung ermittelt haben, verwenden sie  $w_0 = 4,75 \text{ mm}$

Lösung:  $K = 1,23 \text{ kNm}$   $\lambda = 10,3 * 1/m$   
 $R = 12,2 \text{ kN/m ...}$   $M = 0,592 \text{ kNm/m}$

Ersatzlösung:  $R = 25,5 \text{ kN/m ...}$   $M = 1,238 \text{ kNm/m}$

Ergebnis (4P): .....

9. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 8:  
Ermitteln sie die extremalen Werte (Maximum und Minimum) für  $n\varphi = f(R,M)$  und  
 $m_x = f(R,M)$  für die Zylinderschale. Skizzieren Sie den Verlauf der genannten Größen  
entlang eines ca. 1 m langen Meridianbereiches.

Falls Sie für Aufgabe 8 keine Lösung ermittelt haben, verwenden Sie

$R = 25,5 \text{ kN/m}$  und  $M = 1,238 \text{ kNm/m}$

Lösung:  $n\varphi = -490 \text{ kN/m} \text{ ./} +21,2 \text{ kN/m}$   $m_x = +0,592 \text{ kNm/m} \text{ ./} -0,12 \text{ kNm/m}$

Ersatzlösung:  $n\varphi = -1024 \text{ kN/m} \text{ ./} +44,2 \text{ kN/m}$   $m_x = +1,238 \text{ kNm/m} \text{ ./} -0,26 \text{ kNm/m}$   
(betragsmäßige Minima aus Kurvenverlauf im Skript abschätzen)

Ergebnis (4P): .....

10. Zusatzfrage: Warum braucht man die in der vorigen Aufgabe ermittelten Schnittgrößen  
bei üblichen Stahlbehältern nicht zu berücksichtigen? (erläutern Sie in Stichworten)

Lösung: weil die üblichen Fußanschlüsse eher biegeweich als biegesteif sind

Ergebnis (2P): .....

11. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 8:  
Skizzieren Sie einen sinnvollen biegesteifen Anschluß des Behälters an die Bodenplatte;  
nehmen Sie an, daß im Behälter ein körniges, unempfindliches Medium gelagert wird.  
Bemaßen Sie die Bauteildicken mit Zirka-Maßen. (2P)

12. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit dem Anschluß aus Aufgabe 11:  
Skizzieren Sie einen alternativen Anschluß, mit dem der Behältermantel eher biegeweich ("gelenkig") als biegesteif an die Bodenplatte angeschlossen wird. Bemaßen Sie die Bauteildicken mit Zirka-Maßen. (2P)

13. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit dem Anschluß aus Aufgabe 12:  
Beantworten Sie folgende Fragen (es genügen jeweils 2 Stichworte):

Worin liegt der Vorteil des Anschlusses?

Lösung: konstruktiv einfacher, kleinere Kräfte

Ergebnis (1P): .....

Welche Einschränkungen bedeutet der Anschluß für den Behälter bzw. das gelagerte Medium?

Lösung: Flüssigkeiten und feinkörnige Medien scheiden aus

Ergebnis (1P): .....

14. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 3:  
Der Behälter ist durch eine steife Dachscheibe geschlossen und innendruckfrei. Der untere Rand ist ausreichend verankert.

Führen Sie den Beulnachweis für Axialdruck nach DIN 18800 Teil 4 im Bemessungszustand für einen Bemessungswert der Dachlast von  $F_d = 250 \text{ kN}$ , die Eigenlast des Zylindermantels wird vernachlässigt.

Es handelt sich um einen "mittellangen Zylinder" nach Gl. 27.

Ergebnisse:

Behälterumfang U (0,5 P): .....

. Lösung:  $U = \pi * 7,80 \text{ m} = 24,50 \text{ m}$  .

Bemessungswert der Längsspannung  $\sigma_{x,d}$  (1P): .....

. Lösung:  $\sigma_{x,d} = 250000 \text{ N} / (24500 \text{ mm} * 4 \text{ mm}) = 2,55 \text{ N/mm}^2$  .

Beiwert  $C_x$  (1P): .....

. Lösung:  $C_x = 1,000$  .

Halbwellenlänge der elastischen Ringbeule  $L_{H,Ring}$  (maßgebend) (1P):

.....

. Lösung:  $L_{H,Ring} = 216 \text{ mm}$  .

Ideale Beulspannung  $\sigma_{x,Si}$  (1P): .....

. Lösung:  $\sigma_{x,Si} = 130 \text{ N/mm}^2$  .

Schlankheit  $\lambda$  (1P): .....

. Lösung:  $\lambda = 1,36$  .

Abminderungsfaktor  $\kappa_2$  (1P): .....

- . Lösung:  $\kappa_2 = 0,120$  .  
Reale Beulspannung  $\sigma_{x,S,R,k}$  (1P): .....  
. Lösung:  $\sigma_{x,S,R,k} = 28,8 \text{ N/mm}^2$  .  
Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M$  (1P): .....  
. Lösung:  $\gamma_M = 1,32$  .  
Grenzbeulspannung  $\sigma_{x,S,R,d}$  (1P): .....  
. Lösung:  $\sigma_{x,S,R,d} = 21,8 \text{ N/mm}^2$  .  
Ausnutzungsgrad  $\eta$  (1P): .....  
. Lösung:  $\eta = 2,55 \text{ N/mm}^2 / 21,8 \text{ N/mm}^2 = 0,117$  .

15. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 14:  
Warum muß man diesen Beulsicherheitsnachweis führen, obwohl er immer zu so kleinen Ausnutzungsgraden führt?  
Lösung: weil man das Ergebnis für den Interaktionsnachweis braucht  
Ergebnis (2P): .....

16. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 14:  
Legen Sie die Elemententeilung für einen Beulnachweis mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode fest. Welche Länge dürfen die Elemente in Längsrichtung maximal haben, damit sinnvolle Ergebnisse zu erwarten sind? Welche Länge der Elemente wählen Sie in Umfangsrichtung des Behälters?  
Lösung:  
Halbwellenlänge in Längsrichtung: 216 mm (aus Aufgabe 14)  
Elementlänge höchstens 1/5 der Halbwellenlänge:  $216 \text{ mm} / 5 = 43 \text{ mm}$   
Längsteilung  $12700 \text{ mm} / 43 \text{ mm} = 295$ ; gewählt: 300 Elemente; Länge = ca. 42,3 mm  
Umfangsteilung:  $24500 \text{ mm} / (2 * 43 \text{ mm}) = 285$ ; gewählt: 300 Elemente; Länge ca. 81,7 mm, Seitenverhältnis ca. 1/1,9 (die Welligkeit in Umfangsrichtung beim Schachbrettbeulen ist damit abgedeckt)  
Ergebnis (2P):  
.....  
.....