

Schriftliche Prüfung am 09.02.2007

Musterlösung

Erreichbare Punktzahl: 41 (entspr. 117 %); erreichte Punkte

(Unterschrift Prüfer)

Master-Studenten: 41+12 (entspr. 113 %);

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.

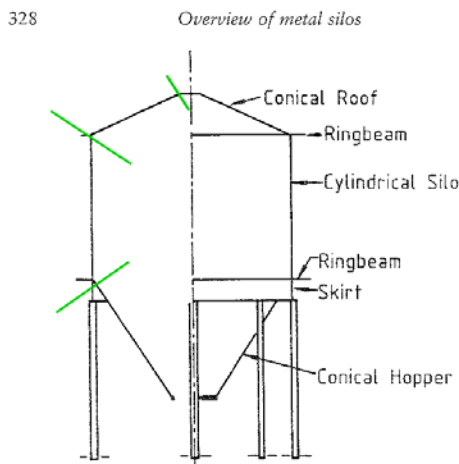
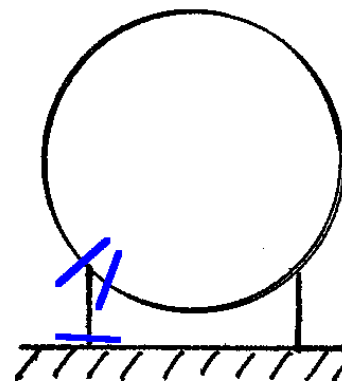


Fig. 12.1 Typical form of elevated granular solid storage silo.



Ergebnis (2P)

2. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit folgenden Abmessungen:

Durchmesser $D = 12,50 \text{ m}$

Höhen $H_{\text{zyl}} = 16,20 \text{ m}$; $H_{\text{füll}} = 15,80 \text{ m}$

Flüssiges Medium $\gamma = 11 \text{ kN/m}^3$

Berechnen Sie die maximale Umfangszugkraft $n\varphi$ [kN/m] für einen maximalen Innendruck $p_{\text{innen}} = 174 \text{ kN/m}^2$

Lösung: $n\varphi = p_i \cdot R = 174 \text{ kN/m}^2 \cdot 12,50 \text{ m} / 2 = 1090 \text{ kN/m}$

Ergebnis (1P):

3. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 2:
Ermitteln Sie die Umfangszugspannung $\sigma\varphi$ [N/mm²], wenn der Behälter aus Stahlblech (S 355 JR mit $f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2$; $E_{k} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$; $\mu = 0,3$) mit einer Wanddicke von 5,0 mm gefertigt ist.

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

Lösung: $\sigma\varphi = n\varphi / T = 1090 \text{ N/mm} / 5 \text{ mm} = 218 \text{ N/mm}^2$

Ersatzlösung: $\sigma\varphi = n\varphi / T = 920 \text{ N/mm} / 5 \text{ mm} = 184 \text{ N/mm}^2$

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: $w_0 = R \cdot \sigma\varphi / E = 12500 \text{ mm} / 2 \cdot 218 \text{ N/mm}^2 / 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 = 6,49 \text{ mm}$

Ersatzlösung: $w_0 = R \cdot \sigma\varphi / E = 12500 \text{ mm} / 2 \cdot 195 \text{ N/mm}^2 / 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 = 5,80 \text{ mm}$

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 [cm²/m] am unteren Rand des Behälters, wenn aus Gründen der Risseverteilung die Bewehrung im Gebrauchszustand nur mit 125 N/mm^2 ausgenutzt werden soll.

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

Lösung: $a_s = n\varphi / \sigma_{zul} = 1090 \text{ kN/m} / 12,5 \text{ kN/cm}^2 = 87,2 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Ersatzlösung: $a_s = n\varphi / \sigma_{zul} = 920 \text{ kN/m} / 12,5 \text{ kN/cm}^2 = 73,8 \text{ cm}^2 / \text{m}$

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: $a_{s,\text{innen}} = 43,6 \text{ cm}^2 / \text{m}$; $a_{s,\text{außen}} = 43,6 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Ersatzlösung: $a_{s,innen} = 36,9 \text{ cm}^2 / \text{m}$; $a_{s,außen} = 36,9 \text{ cm}^2 / \text{m}$

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: $K = 2,40 \text{ kNm}$ $\lambda = 7,27 * 1/\text{m}$

$R = 24,0 \text{ kN/m}$... $M = 1,65 \text{ kNm/m}$

Ersatzlösung: $R = 17,6 \text{ kN/m}$... $M = 1,21 \text{ kNm/m}$

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

$R = 12,3 \text{ kN/m}$ und $M = 0,853 \text{ kNm/m}$

Lösung: $n\varphi = -1091 \text{ kN/m} \text{ ./} +47,1 \text{ kN/m}$ $m_x = +1,65 \text{ kNm/m} \text{ ./} -0,34 \text{ kNm/m}$

Ersatzlösung: $n\varphi = -554 \text{ kN/m} \text{ ./} +23,9 \text{ kN/m}$ $m_x = +0,853 \text{ kNm/m} \text{ ./} -0,17 \text{ kNm/m}$

(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 (1P):

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 den Angaben aus Aufgabe 2:
Der Behälter ist mit einer dichten Dachscheibe am oberen Ende abgeschlossen. In einer Höhe von 8,00 m sowie in einer Höhe von 12,50 m (jeweils über Unterkante Behälter) ist ein ausreichend tragfähiger Verstärkungsring angebracht. Die Wanddicke des Behälters oberhalb 8,00 m beträgt 3 mm. Der untere Rand des Behälters ist ausreichend verankert. Führen Sie für den leeren Behälter den Beulnachweis für Außendruck nach DIN 18800 Teil 4 im Bemessungszustand. Berücksichtigen Sie dabei nur das Beulfeld oberhalb von 12,50 m Höhe.

Die Staudrücke dürfen näherungsweise nach DIN 1055-4:1986 angesetzt werden.

Verwenden sie vereinfachend C_φ (statt C_φ^*).

Es handelt sich um einen "mittellangen Zylinder" nach Gl. 33.

Ergebnisse:

Randbedingungen nach Bild 11 (1P):

Lösung: RB2 / RB2 .

C_φ nach Tabelle 2 (1P):

Lösung: $C_\varphi = 1,00$.

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

Lösung: $\sigma_{\varphi, Si} = 3,43 \text{ N/mm}^2$.

Umfangswellenzahl n_φ (entspricht $n_{Si, mittel}$) (1P):

Lösung: $n_\varphi = 24,5$.

Schlankheit λ (1P):

Lösung: $\lambda = 10,24$.

Abminderungsfaktor κ_1 (1P):

Lösung: $\kappa_1 = 0,00620$.

Reale Beulspannung $\sigma_{\varphi, S, R, k}$ (1P):

Lösung: $\sigma_{\varphi, S, R, k} = 2,23 \text{ N/mm}^2$.

Grenzbeulspannung $\sigma_{\varphi, S, R, d}$ (1P):

Lösung: $\sigma_{\varphi, S, R, d} = 2,03 \text{ N/mm}^2$.

Beiwert δ für die Ersatz-Windbelastung (1P):

Lösung: $\delta = 0,864$.

Begründen sie stichwortartig den Staudruck, den Sie ansetzen (1P):

Lösung: über 8 m Traufhöhe: $0,8 \text{ kN/m}^2$, sonst $0,5 \text{ kN/m}^2$ nach DIN 1055-4 .

Anzusetzender-Manteldruck (1P):

Lösung: $q_1+q_2 = (0,864+0,0) * 0,80 \text{ kN/m}^2 = 0,691 \text{ kN/m}^2$.

Bemessungswert der Umfangsspannung $\sigma_{\phi,S,d}$ (1P):

Lösung: $\sigma_{\phi,S,d} = 1,5 * 0,000691 \text{ N/mm}^2 * 12500 \text{ mm} / 2 / 3 \text{ mm} = 2,16 \text{ N/mm}^2$.

Ausnutzungsgrad η (1P):

Lösung: $\eta = 2,16 \text{ N/mm}^2 / 2,03 \text{ N/mm}^2 = 1,064$.

14. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 13:
Geben Sie stichwortartig mindestens eine konstruktive Maßnahme an, mit der Sie die Beultragfähigkeit des Zylinders erhöhen können. Erhöhung der Wanddicke gibt keine Punkte! (4 Punkte)

.....
Lösung:

Verschieben des oberen Ringes um ca. 40 cm nach oben (und des unteren um ca. 90 cm nach oben)

alternativ

Zusätzliche Ringsteifen einbauen (ist aber weniger wirtschaftlich)

15. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 13:
Legen Sie die Elemententeilung für einen Beulnachweis mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode fest. Welche Länge dürfen die Elemente in Umfangsrichtung maximal haben, damit sinnvolle Ergebnisse zu erwarten sind? Welche Länge der Elemente wählen Sie in Längsrichtung des Behälters?

Lösung:

Umfangswellenzahl: 23,5 (aus Aufgabe 13) – gewählt 24

Halbwellenlänge in Umfangsrichtung: $L_{\phi} = \pi * 12500 \text{ mm} / 24 / 2 = 818 \text{ mm}$

Elementlänge höchstens 1/5 der Halbwellenlänge: $818 \text{ mm} / 5 = 164 \text{ mm}$

Längsteilung $16500 \text{ mm} / 164 \text{ mm} = 101$; gewählt: 100 Elemente; Länge = ca. 165 mm

Seitenverhältnis ca. 1/1

Ergebnis (3P):

.....
.....

Zusätzliche Aufgaben für Master-Studenten:

16. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 13:
Führen Sie den Beulnachweis für Axialdruck nach DIN 18800 Teil 4 im Bemessungszustand für einen Bemessungswert der Dachlast von $F_{d} = 350 \text{ kN}$, die Eigenlast des Zylindermantels wird vernachlässigt.
Berücksichtigen Sie nur das maßgebende Beulfeld.
Es handelt sich um einen "mittellangen Zylinder" nach Gl. 27.

Ergebnisse:

. Lösung: maßgebend wird das Beulfeld zwischen 8,00 m und 12,50 m mit $L = 4,50 \text{ m}$

Behälterumfang U (0 P):

. Lösung: $U = \pi * 12,50 \text{ m} = 39,30 \text{ m}$.

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

. Lösung: $\sigma_{x,d} = 350000 \text{ N} / (39300 \text{ mm} * 3 \text{ mm}) = 2,97 \text{ N/mm}^2$.

Beiwert C_x (1P):

. Lösung: $C_x = 1,000$.

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

.....

. Lösung: $L_{H,Ring} = 237 \text{ mm}$.

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

. Lösung: $\sigma_{x,Si} = 61,1 \text{ N/mm}^2$.

Schlankheit λ (1P):

. Lösung: $\lambda = 2,428$.

Abminderungsfaktor κ_2 (1P):

. Lösung: $\kappa_2 = 0,0339$.

Reale Beulspannung $\sigma_{x,S,R,k}$ (1P):

. Lösung: $\sigma_{x,S,R,k} = 12,2 \text{ N/mm}^2$.

Teilsicherheitsbeiwert γ_M (1P):

. Lösung: $\gamma_M = 1,450$.

Grenzbeulspannung $\sigma_{x,S,R,d}$ (1P):

. Lösung: $\sigma_{x,S,R,d} = 8,42 \text{ N/mm}^2$.

Ausnutzungsgrad η (1P):

. Lösung: $\eta = 2,97 \text{ N/mm}^2 / 8,42 \text{ N/mm}^2 = 0,353$.

17. Gegeben ist ein zylindrischer stehender Behälter mit den Angaben aus Aufgabe 16:
Warum muß man diesen Beulsicherheitsnachweis führen, obwohl er meistens zu kleinen Ausnutzungsgraden führt?

Lösung: weil man das Ergebnis für den Interaktionsnachweis braucht

Ergebnis (2P):