

1. Aufgabe (10 Punkte $\hat{=}$ 20,0 %)

Ein Kran hebt eine Last 15 m hoch. Anfangs wird die Last mit $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ bis zum Erreichen der normalen Hubgeschwindigkeit von $27 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ beschleunigt. Am Ende wird die Last auf einer Strecke von 0,7 m gleichmäßig bis zum Stillstand abgebremst. Bestimmen Sie die Dauer des Hubvorgangs in Sekunden. (10 P $\hat{=}$ 20 %)

$$s_1 = \frac{v^2}{2a} = \frac{\left(0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,01 \text{ m} \quad \checkmark \checkmark$$

$$t_1 = \frac{2s_1}{v} = \frac{2 \cdot 1,01 \text{ m}}{0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4,49 \text{ s} \quad \checkmark \checkmark$$

$$t_3 = \frac{2s_3}{v} = \frac{2 \cdot 0,7 \text{ m}}{0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3,11 \text{ s} \quad \checkmark$$

$$s_2 = 15 \text{ m} - 1,01 \text{ m} - 0,7 \text{ m} = 13,29 \text{ m} \quad \checkmark$$

$$t_2 = \frac{s_2}{v} = \frac{13,29 \text{ m}}{0,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 29,53 \text{ s} \quad \checkmark \checkmark$$

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 4,49 \text{ s} + 29,53 \text{ s} + 3,11 \text{ s} \quad \checkmark$$

$$\underline{\underline{t = 37,13 \text{ s}}} \quad \checkmark$$

2. Aufgabe (12 Punkte $\hat{=}$ 24,0 %)

Ein Raupenbagger hat ein Einsatzgewicht von 17 t, eine Motorleistung von 90 kW und einen Fahrwiderstandswert von 0,08.

Der Bagger steht an einem Hang, der eine Steigung von 7 % aufweist.

- a) Wie hoch muss die Motorkraft mindestens sein, um den Bagger bergauf zu bewegen? (6 P $\hat{=}$ 12 %)

$$\alpha = \arctan 0,07 = 4^\circ \quad \checkmark$$

$$F_G = m \cdot g = 17000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 166770 \text{ N} \quad \checkmark$$

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha = 166770 \text{ N} \cdot \sin 4^\circ = 11633,3 \text{ N} \quad \checkmark$$

$$F_R = \mu \cdot F_G \cdot \cos \alpha = 0,08 \cdot 166770 \text{ N} \cdot \cos 4^\circ = 13309,1 \text{ N} \quad \checkmark$$

$$F_{res} = F_H + F_R = 11633,3 \text{ N} + 13309,1 \text{ N} \quad \checkmark$$

$$\underline{\underline{F_{res} = 24942,4 \text{ N}}} \quad \checkmark$$

- b) Wie viel Prozent der Motorleistung sind erforderlich, um den Bagger am Hang bergauf in 10 s aus dem Stand auf $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu beschleunigen? (6 P $\hat{=}$ 12 %)

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{2,78 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \text{ s}} = 0,278 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \checkmark$$

$$F = F_{\text{res}} + m \cdot a = 24942,4 \text{ N} + 17000 \text{ kg} \cdot 0,278 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \checkmark$$

$$F = 29668,4 \text{ N} \quad \checkmark$$

$$P = F \cdot v = 29668,4 \text{ N} \cdot 2,78 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 82478 \text{ W} \quad \checkmark$$

$$p = \frac{82,5 \text{ kW}}{90 \text{ kW}} \cdot 100 \% \quad \checkmark$$

$$\underline{\underline{p = 92 \%}} \quad \checkmark$$

3. Aufgabe (12 Punkte $\hat{=}$ 24,0 %)

Eine 12 m \times 2,7 m große zweischalige Außenwand enthält Fenster von insgesamt 8 m² Oberfläche.

Die Wand besteht aus 1 cm Innenputz $\left(\lambda_{IP} = 0,70 \frac{W}{m \cdot K}\right)$, 11,5 cm Tragschale $\left(\lambda_T = 0,99 \frac{W}{m \cdot K}\right)$, 12 cm Kerndämmung $\left(\lambda_D = 0,04 \frac{W}{m \cdot K}\right)$ sowie 11,5 cm Verblendschale.

Der U-Wert dieser zweischaligen Wand beträgt $0,28 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Die Übergangswiderstände sind $R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ und $R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$.

a) Berechnen Sie den Wärmeleitwert λ_v der Verblendschale. (5 Punkte $\hat{=}$ 10 %)

$$R_{MW} = \frac{1}{U} = \frac{1}{0,28 \frac{W}{m^2 \cdot K}} = 3,57 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \checkmark$$

$$3,57 \frac{m^2 \cdot K}{W} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W} + \frac{0,01m}{0,70 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,115m}{0,99 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,12m}{0,04 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0,115m}{\lambda_v} + 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \checkmark$$

$$\frac{0,115m}{\lambda_v} = 3,57 \frac{m^2 \cdot K}{W} - 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W} - \frac{0,01m}{0,70 \frac{W}{m \cdot K}} - \frac{0,115m}{0,99 \frac{W}{m \cdot K}} - \frac{0,12m}{0,04 \frac{W}{m \cdot K}} - 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \checkmark$$

$$\frac{0,115m}{\lambda_v} = 0,2696 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \checkmark$$

$$\lambda_v = \frac{0,115m}{0,2696 \frac{m^2 \cdot K}{W}}$$

$$\lambda_v = 0,43 \frac{W}{m \cdot K} \quad \checkmark$$

- b) Der mittlere Wärmedurchgangswert der Wand einschließlich Fenster soll unter $0,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ bleiben.
Ermitteln Sie den höchstzulässigen U-Wert der Fenster. (5 P $\hat{=}$ 10 %)

$$A_{\text{ges}} = 32,4 \text{ m}^2, \quad A_{\text{MW}} = 24,4 \text{ m}^2 \quad \checkmark$$

$$U_m = \frac{U_{\text{MW}} \cdot A_{\text{MW}} + U_F \cdot A_F}{A_{\text{ges}}}$$

$$U_F = \frac{U_m \cdot A_{\text{ges}} - U_{\text{MW}} \cdot A_{\text{MW}}}{A_F} \quad \checkmark$$

$$U_F = \frac{0,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 32,4 \text{ m}^2 - 0,28 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 24,4 \text{ m}^2}{8 \text{ m}^2} \quad \checkmark \checkmark$$

$$\underline{\underline{U_F = 0,56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}} \quad \checkmark$$

- c) Wie groß ist der Wärmestrom bei einer Außentemperatur von $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Raumtemperatur von $22 \text{ }^\circ\text{C}$ wenn der gewünschte Wärmedurchgangswert $0,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ genau eingehalten wird? (2 Punkte $\hat{=}$ 4 %)

$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T = 0,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 32,4 \text{ m}^2 \cdot 32 \text{ K} \quad \checkmark$$

$$\underline{\underline{\Phi = 363 \text{ W}}} \quad \checkmark$$

4. Aufgabe (8 Punkte $\hat{=}$ 16,0 %)

Eine Außenwand besteht aus 1,5 cm Innenputz $\left(\lambda_{IP} = 0,70 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right)$, 36,5 cm Ziegel $\left(\lambda_Z = 0,36 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right)$ und 2 cm Außenputz $\left(\lambda_{AP} = 0,87 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right)$.

Die Übergangswiderstände sind $R_{si} = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ und $R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$.

Die Innentemperatur beträgt 21 °C und die relative Luftfeuchtigkeit 65 %. Beurteilen Sie die Gefahr von Tauwasseranfall an der Innenfläche der Wand. Beachten Sie bitte auch die in der Anlage beigefügte Tabelle.

$$R = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,015 \text{ m}}{0,7 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,365 \text{ m}}{0,36 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,87 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \checkmark$$

$$R = 1,23 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad \checkmark$$

Tabelle: $T_{\text{Tau}} = 14,2 \text{ °C} \quad \checkmark$

$$\frac{\Delta T_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{\Delta T_{\text{Teil}}}{R_{\text{Teil}}} \quad \checkmark$$

$$\frac{\Delta T_{\text{ges}}}{1,23 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = \frac{21 \text{ °C} - 14,2 \text{ °C}}{0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} \quad \checkmark$$

$$\Delta T_{\text{ges}} = 64,3 \text{ K} \quad \checkmark$$

$$T_e = 21 \text{ °C} - 64 \text{ °C} = -43,3 \text{ °C} \quad \checkmark$$

Es besteht keine Gefahr der Tauwasserbildung in Mitteleuropa. \checkmark

5. Aufgabe (8 Punkte $\hat{=}$ 16,0 %)

Eine Wand besteht aus 24 cm Mauerwerk $\left(\rho = 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$, 60 mm Mineralwolle mit einer dynamischen Biegesteifigkeit von $s' = 15 \frac{\text{MN}}{\text{m}^3}$ und 12,5 mm Gipskarton $\left(\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

Beurteilen Sie die Resonanzfrequenz dieser Wand mit der Zahlengleichung

$$f_0 = \frac{1000}{2\pi} \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2}\right)} \quad \left(s' \text{ in } \frac{\text{MN}}{\text{m}^3}, m' \text{ in } \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}, f_0 \text{ in Hz}\right).$$

$$m'_1 = 0,24 \text{ m} \cdot 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 432 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \checkmark$$

$$m'_2 = 0,0125 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 12,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad \checkmark$$

$$f_0 = \frac{1000}{2\pi} \sqrt{15 \cdot \left(\frac{1}{432} + \frac{1}{12,5}\right)} \text{ Hz} \quad \checkmark\checkmark$$

$$f_0 = 177 \text{ Hz} \quad \checkmark$$

$$f_0 \in [100 \text{ Hz}; 3200 \text{ Hz}] \quad \checkmark\checkmark$$

Eigenfrequenz ist ungünstig. \checkmark

Anlage zu Aufgabe 4

Lufttemperatur θ_s , °C	Taupunkttemperatur θ_T in °C bei einer relativen Luftfeuchte von														
	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	100 %
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1	30,0
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1	29,0
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1	28,0
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1	27,0
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1	26,0
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1	25,0
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1	24,0
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2	23,0
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2	22,0
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2	21,0
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2	20,0
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2	19,0
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2	18,0
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2	17,0
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2	16,0
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2	15,0
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2	14,0
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2	13,0
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2	12,0
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2	11,0
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2	10,0
Raumzustand	zu trocken	trocken	normal feucht				feucht			zu feucht	zu nass				
Behaglichkeit	unbehaglich	noch behaglich	besonders behaglich				noch behaglich			unbehaglich					