



## tgt HP 2014/15-1: Müllsammelfahrzeug

Pflichtaufgabe

Das Müllsammelfahrzeug entleert die Container über das Führerhaus.

Gewichtskraft Container:

$$F_{G1} = 10 \text{ kN}$$

Gewichtskraft Fahrzeug mit Aufbau:

$$F_{G2} = 190 \text{ kN}$$

Maximale Zuladung:

$$F_{G3} = 120 \text{ kN}$$

$$\alpha = 58^\circ$$

$$l_1 = 500 \text{ mm}$$

$$l_2 = 800 \text{ mm}$$

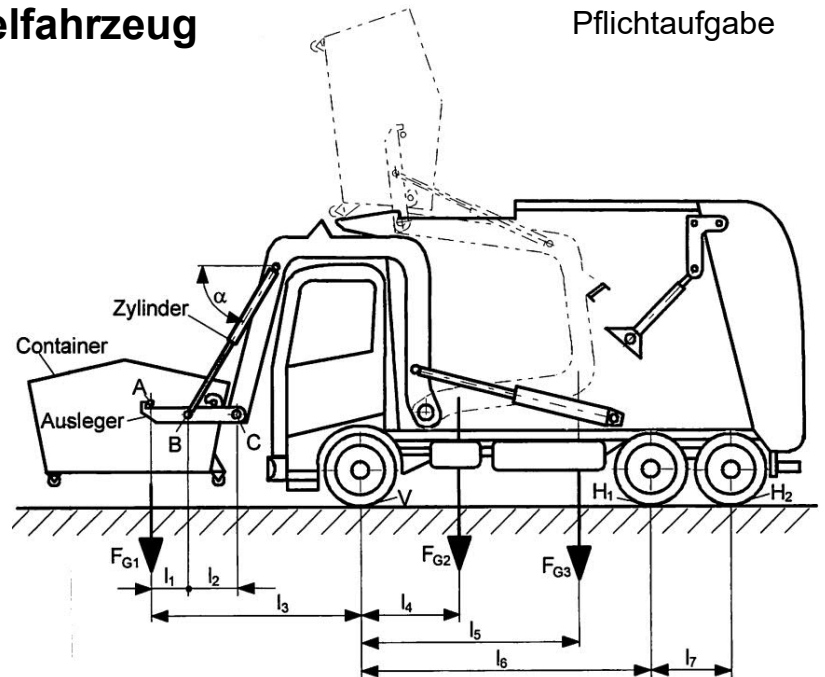
$$l_3 = 3400 \text{ mm}$$

$$l_4 = 1600 \text{ mm}$$

$$l_5 = 3400 \text{ mm}$$

$$l_6 = 4800 \text{ mm}$$

$$l_7 = 1200 \text{ mm}$$



### 1 Aufstandskräfte

1.1 Berechnen Sie die Aufstandskräfte der Einzelräder  $F_V$ ,  $F_{H1}$  und  $F_{H2}$  bei maximaler Zuladung und angehobenem Container. Hierbei gilt:  $F_{H1} = F_{H2}$  4,0

1.2 Beweisen Sie durch Rechnung, dass das leere Fahrzeug den Container ohne zu kippen anheben kann. 2,0

### 2 Ausleger

2.1 Bestimmen Sie für eine Seite die Kräfte  $F_B$  und  $F_C$  im Ausleger. 4,0

2.2 Beschreiben Sie die auftretenden Beanspruchungsarten der Kolbenstange des Zylinders in B vom Aufnehmen des Containers bis zur Entleerung. 2,0

2.3 Ermitteln Sie für einen Ausleger das maximale Biegemoment in der gezeichneten Stellung. 2,0

2.4 Das rechteckige Vollprofil des Auslegers besteht aus S275. 4,0

Dimensionieren Sie die erforderlichen Abmessungen des Profilquerschnitts, wenn das Verhältnis  $h/b = 2,5$  beträgt und eine Sicherheit von  $v = 3$  gefordert wird.

### 3 Das Fahrzeug wird von einem Dieselmotor angetrieben.

3.1 Skizzieren Sie den Kreisprozess in einem p-V-Diagramm. Nummerieren Sie die Eckpunkte beginnend bei der Kompression. Kennzeichnen Sie die zu- und abgeführten Wärmemengen sowie die Nutzarbeit. 3,0

3.2 Die folgenden Zustandsgrößen sind bekannt: 5,0

Umgebungstemperatur	$\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$
Druck	$p_1 = 1 \text{ bar}$
Zylindervolumen	$V_1 = 1,25 \text{ l}$
Verdichtungsverhältnis	$\varepsilon = 16$
Temperatur	$\vartheta_2 = 616^\circ\text{C}$
Temperatur	$\vartheta_3 = 2060^\circ\text{C}$

Berechnen Sie die fehlenden Zustandsgrößen und stellen Sie diese in einer Tabelle dar.

3.3 Berechnen Sie die Nutzarbeit und den thermischen Wirkungsgrad. 4,0

30,0



## Lösungsvorschläge

### 1 Aufstandskräfte

#### 1.1 Lageskizze des Müllsammelfahrzeuges

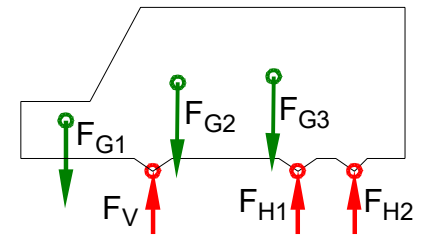
Die Berechnungen sind auf Achsen bezogen:

$$\Sigma M_V = 0 = +F_{G1} \cdot l_3 - F_{G2} \cdot l_4 - F_{G3} \cdot l_5 + F_{H1} \cdot l_6 + F_{H2} \cdot (l_6 + l_7) \Rightarrow$$

$$F_H = \frac{-F_{G1} \cdot l_3 + F_{G2} \cdot l_4 + F_{G3} \cdot l_5}{2 \cdot l_6 + l_7} = \frac{-10 \text{ kN} \cdot 3400 \text{ mm} + 190 \text{ kN} \cdot 1600 \text{ mm} + 120 \text{ kN} \cdot 3400 \text{ mm}}{2 \cdot 4800 \text{ mm} + 1200 \text{ mm}} = 62,8 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = -F_{G1} + F_V - F_{G2} - F_{G3} + 2 \cdot F_H \Rightarrow$$

$$F_V = +F_{G1} + F_{G2} + F_{G3} - 2 \cdot F_H = 10 \text{ kN} + 190 \text{ kN} + 120 \text{ kN} - 2 \cdot 62,8 \text{ kN} = 194,4 \text{ kN}$$



Kräfte pro Rad unter der Annahme, dass keine Zwillingbereifung vorliegt:

$$F_{V\text{Rad}} = F_V / 2 = 97,2 \text{ kN} \quad \text{und} \quad F_{H1\text{Rad}} = F_{H2\text{Rad}} = F_H / 2 = 31,4 \text{ kN}$$

#### 1.2 Der Einfachheit halber wird der Ansatz aus Aufg. 1.1 ohne $F_{G3}$ übernommen und geeignet interpretiert. Andere Ansätze sind möglich.

$$\Sigma M_V = 0 = +F_{G1} \cdot l_3 - F_{G2} \cdot l_4 + F_{H1} \cdot l_6 + F_{H2} \cdot (l_6 + l_7) \Rightarrow$$

$$F_H = \frac{-F_{G1} \cdot l_3 + F_{G2} \cdot l_4}{2 \cdot l_6 + l_7} = \frac{-10 \text{ kN} \cdot 3400 \text{ mm} + 190 \text{ kN} \cdot 1600 \text{ mm}}{2 \cdot 4800 \text{ mm} + 1200 \text{ mm}} = 25 \text{ kN}$$

Da die Kräfte auf die Hinterachsen  $> 0$  sind, kippt der leere Lkw nicht.

### 2 Ausleger

#### 2.1 Lageskizze des Auslegers + Container (mit dem Container umgeht man den Haken zwischen B und C und wäre auch für ein $F_{G1}$ gewappnet, das mittig o.ä. im Container liegt).

Die Berechnungen sind auf beide Seiten bezogen:

$$\Sigma M_B = 0 = +F_{G1} \cdot l_1 + F_{Cy} \cdot l_2 \Rightarrow F_{Cy} = -F_{G1} \cdot \frac{l_1}{l_2} = -10 \text{ kN} \cdot \frac{500 \text{ mm}}{800 \text{ mm}} = -6,25 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = -F_{G1} + F_{By} + F_{Cy} \Rightarrow F_{By} = F_{G1} - F_{Cy} = 10 \text{ kN} - (-6,25 \text{ kN}) = 16,25 \text{ kN}$$

$$F_B = \frac{F_{By}}{\sin \alpha} = \frac{16,25 \text{ kN}}{\sin 58^\circ} = 19,16 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0 = F_{Bx} + F_{Cx} \Rightarrow F_{Cx} = -F_{Bx} = -F_B \cdot \cos \alpha = -19,16 \text{ kN} \cdot \cos 58^\circ = -10,15 \text{ kN}$$

$$F_C = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} = \sqrt{(-10,15 \text{ kN})^2 + (-6,25 \text{ kN})^2} = 11,9 \text{ kN}$$

$$\alpha_C = \arctan \frac{F_{Cy}}{F_{Cx}} = \arctan \frac{-6,25 \text{ kN}}{-10,15 \text{ kN}} = 31,6^\circ$$

$\alpha_C = 31,6^\circ$  nach links unten gegen die negative x-Achse bzw.

$\alpha_C = 211,6^\circ$  gegen die positive x-Achse

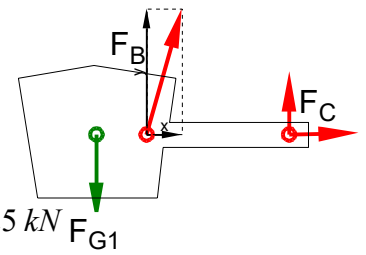
$$\text{Kräfte pro Seite: } F_{B\text{Seite}} = 9,6 \text{ kN} \quad \text{und} \quad F_{C\text{Seite}} = 5,95 \text{ kN}$$

#### 2.2 Die Kolbenstange, deren Öse in B verankert ist, erfährt beim Anheben eine Zugspannung, die allmählich absinkt. Jenseits des Scheitelpunktes, bei dem der Schwerpunkt des Containers über dem Punkt C steht, geht die Spannung in Druck über, sofern der Container nicht aus der Verankerung A fällt.

Oder: „Der Bolzen in B ..“ ;-)

#### 2.3 Das maximale Biegemoment kann nur an einem inneren Kräfteinleitungspunkt liegen, hier also im Punkt B.

$$M_B(\text{von links}) = \frac{F_{G1}}{2} \cdot l_1 = \frac{10 \text{ kN}}{2} \cdot 500 \text{ mm} = 2,5 \text{ kNm}$$





2.4  $R_e = 275 \text{ N/mm}^2$  (S275 → Tabellenbuch Metall, Europa, 46.Auflage, S.131)

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e = 1,2 \cdot 275 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 330 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (\rightarrow [\text{EuroTabM46}], 46.\text{Auflage, S.41})$$

$$\frac{\sigma_{bF}}{\sqrt{v}} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{\sqrt{v}} = \frac{330 \text{ N/mm}^2}{3} = 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{2,5 \text{ kNm}}{110 \text{ N/mm}^2} = 22,7 \text{ cm}^3$$

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b \cdot (2,5 \cdot b)^2}{6} = \frac{6,25 \cdot b^3}{6} \Rightarrow$$

$$b_{erf} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot W_{erf}}{6,25}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 22,7 \text{ cm}^3}{6,25}} = 27,9 \text{ mm}$$

$$h_{erf} = 2,5 \cdot b_{erf} = 2,5 \cdot 27,9 \text{ mm} = 69,9 \text{ mm}$$

Gewählt: 70x28 (nächste Größe → TabB „Flachstahl“)

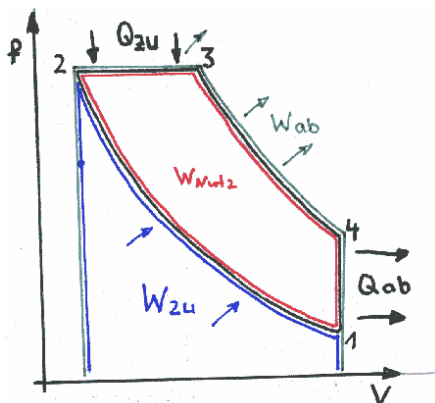
Für die errechnete Erzeugnisdicke beträgt  $R_e = 265 \text{ N/mm}^2$ , deshalb müsste ein Konstrukteur die Rechnung wiederholen. In Prüfungssituationen ist dies nicht nötig.

### 3 Dieselmotor

Ergebnisse															Aufgabe: tg HP 2014/15-1 Müllsammelfahrzeug 3														
		1E+05	1E-03	1E+00	1E+00	1E+03	1E+00	1E+03	1E+00	1E-03	1E+00	1E-03	1E+03	1E+03	1E+03	1E+00	1E+00												
		0	bar	l	K	°C	kJ/kg	J	kJ/kg	J	g	kJ/kgK	kJ/kgK	kJ/kgK	kJ/kgK	1	1												
Zustand	Typ	p	V	T	ϑ	w	W	q	Q	m	cp	cv	Rs	χ	ε														
1		1,00	1,250	293,2	20,0					1,486	1,005	0,718	0,287	1,400															
12	a					428	635,8	0,0	0,0		1,005	0,718	0,287	1,400	16,00														
2		48,47	0,078	889,2	616,0					1,484	1,005	0,718	0,287	1,400															
23	b					-414	-614,9	1451,2	2153,3		1,005	0,718	0,287	1,400	0,38														
3		48,47	0,205	2333,2	2060,0					1,484	1,005	0,718	0,287	1,400															
34	a					-862	-1278,9	0,0	0,0		1,005	0,718	0,287	1,400	0,16														
4		3,86	1,250	1132,7	859,5					1,486	1,005	0,718	0,287	1,400															
41	c					0	0,0	-602,8	-895,5		1,005	0,718	0,287	1,400	1,00														
1		1,00	1,250	293,2	20,0					1,486	1,005	0,718	0,287	1,400															
											1,005	0,718	0,287	1,400															
											1,005	0,718	0,287	1,400															
						$\Sigma w_{Nutz}$	$\Sigma W_{Nu}$	$\Sigma q$	$\Sigma Q$		$\eta_{therm}$																		
						-848	-1258,1	848,5	1257,7		0,58																		
						$\Sigma w_{ab}$	$\Sigma W_{ab}$	$\Sigma q_{ab}$	$\Sigma Q_{ab}$		$\eta_{carnot}$																		
						-1276	-1893,8	-602,8	-895,5		0,87																		
Lösungen für Kreisprozesse mit idealen Gasen (p,V-Diagramm)						$\Sigma w_{zu}$	$\Sigma W_{zu}$	$\Sigma q_{zu}$	$\Sigma Q_{zu}$																				
© www.ulrich-rapp.de						428	635,8	1451,2	2153,3																				

Hinweis 1: Die Aufgabe ist überbestimmt, d.h. man kann  $\epsilon$  aus  $\vartheta_2$  u.u. ermitteln.

### 3.1



$W_{zu}$  und  $W_{ab}$  sind nicht gefragt.



## 3.2 Zustandsgrößen (Tabelle siehe oben)

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{\epsilon} = \frac{1,25 \text{ l}}{16} = 0,781 \text{ l}$$

Zustandsänderung 1-2 (adiabat)

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1005 \text{ J/kgK}}{718 \text{ J/kgK}} = 1,40$$

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa} = p_1 \cdot \epsilon^{\kappa} = 1 \text{ bar} \cdot 16^{1,40} = 48,5 \text{ bar}$$

Zustandsänderung 2-3 (isobar)

$$p_3 = p_2 = 48,5 \text{ bar}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_3 = V_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 0,781 \text{ l} \cdot \frac{(2060+273) \text{ K}}{(616+273) \text{ K}} = 0,205 \text{ l}$$

Zustandsänderung 4-1 (isochor)

$$V_3 = V_4 = 1,25 \text{ l}$$

Zustandsänderung 3-4 (adiabat)

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} \Rightarrow p_4 = p_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa} = 48,5 \text{ bar} \cdot \left(\frac{0,205 \text{ l}}{1,25 \text{ l}}\right)^{1,40} = 3,86 \text{ bar}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{V_2}{V_1}\right]^{\kappa-1} \Rightarrow T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa-1} = (2060+273) \text{ K} \cdot \left(\frac{0,205 \text{ l}}{1,25 \text{ l}}\right)^{1,40-1} = 1132 \text{ K}$$

## 3.3

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T \Rightarrow m = \frac{p_1 \cdot V_1}{R_i \cdot T_1} = \frac{1 \text{ bar} \cdot 1,25 \text{ l}}{287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (273+20) \text{ K}} = 1,49 \text{ g}$$

$$0 = \Sigma Q + \Sigma W = \Sigma Q + W_{\text{Nutz}} \Rightarrow$$

$$W_{\text{Nutz}} = -Q_{12} - Q_{23} - Q_{34} - Q_{41} = 0 - 2162 \text{ J} - 0 \text{ J} - (-898 \text{ J}) = -1264 \text{ J}$$

$$Q_{23} = c_p \cdot m \cdot \Delta T_{23} = 1005 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1,49 \text{ g} \cdot (2060^\circ \text{C} - 616^\circ \text{C}) = 2162 \text{ J}$$

$$Q_{41} = c_v \cdot m \cdot \Delta T_{41} = 718 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1,49 \text{ g} \cdot (293 \text{ K} - 1132 \text{ K}) = -898 \text{ J}$$

$$\eta_{\text{therm}} = 1 - \frac{|Q_{\text{ab}}|}{Q_{\text{zu}}} = \frac{Q_{\text{zu}} - |Q_{\text{ab}}|}{Q_{\text{zu}}} = \frac{|W_{\text{Nutz}}|}{Q_{\text{zu}}} = \frac{|W_{\text{Nutz}}|}{Q_{23}} = \frac{|-1264 \text{ J}|}{2162 \text{ J}} = 0,58$$

*Hinweis 2: Wegen der Rundungen sind scheinbar erhebliche Abweichungen typisch, sie sollten aber im Prozentbereich bleiben.*