



## tgtm HP 2009/10-1: Lastenlift L-TM-300

Alle Aufgaben beziehen sich auf das nachfolgend skizzierte Unternehmen.

Die Firma Kronos AG beschäftigt derzeit 71 Mitarbeiter in Freudenstadt und hat sich in den letzten 25 Jahren auf die Herstellung von Hebezeugen spezialisiert. Kronos bietet individuelle Lösungen zum Transportieren und Heben kleinerer und mittlerer Lasten an.

Das Absatzgebiet beschränkt sich bisher auf den deutschsprachigen Raum, jedoch plant die Kronos AG zur Ausweitung des Absatzes nach Osteuropa die Neugründung einer Produktionsstätte in günstiger Lage.

Der Lastenlift L-TM - 300 dient zum Heben von Lasten bis 300 kg.

Bei Betrieb durch die Handkurbel bewegen sich Schiene 1, Schiene 2 und der Mast teleskopartig auseinander.

Ein Seilzug, der von der Kurbelrolle über mehrere Rollen in Mast und Schienen verläuft, bewirkt durch Verkürzung (aufrollen) bzw. Verlängerung (abrollen) die entsprechende Auf- und Abbewegung der Schienen und damit des Lasthakens.

### 1 Lastenlift (vereinfacht)

Daten:

maximal zulässige Last:

$$F_L = 3 \text{ kN}$$

Masse Kran:

$$m = 100 \text{ kg in S}$$

Abmessungen:

$$l_1 = 800 \text{ mm}$$

$$l_2 = 1600 \text{ mm}$$

$$l_3 = 1300 \text{ mm}$$

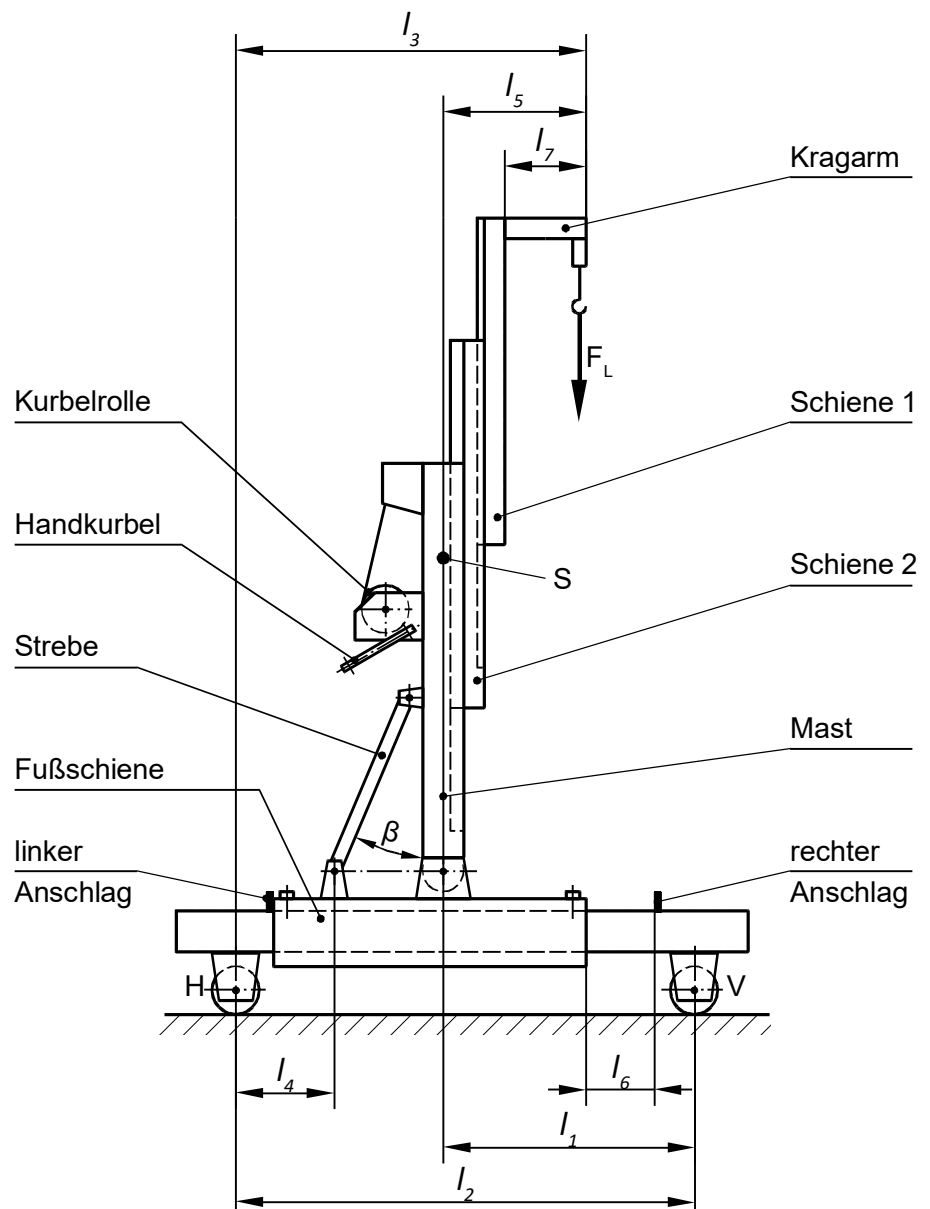
$$l_4 = 400 \text{ mm}$$

$$l_5 = 500 \text{ mm}$$

$$l_6 = 250 \text{ mm}$$

$$l_7 = 250 \text{ mm}$$

$$\beta = 30^\circ$$





- 1.1 Berechnen Sie die Radkräfte  $F_V$  und  $F_H$  für die oben gezeichnete Stellung mit der maximal zulässigen Last. 4,0
- 1.2 Entwickeln Sie einen Lösungsansatz für die Ermittlung der Kraft  $F$  in der Strebe und der Lagerkraft  $F_A$  im Mastlager und berechnen Sie diese Kräfte. 5,0
- 1.3 Beschreiben Sie die Auswirkung auf die Kraft in der Strebe, wenn der Kran weiter nach oben ausfährt. 1,0
- 1.4 Bestimmen Sie die Stelle und Größe des maximalen Biegemoments im Kragarm. 1,0
- 1.5 Der Kragarm soll aus einem quadratischen Hohlprofil aus Al 99,5 hergestellt werden. 4,0

Für die Konstruktion sind folgende Vorgaben einzuhalten:

$$\sigma_{b,zul} = 24 \frac{N}{mm^2}$$

Dimensionieren Sie unter diesen Voraussetzungen die Seitenlänge  $H$ .

$$\frac{h}{H} = 0,8$$

$$W_x = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H}$$

- 1.6 Der Lastenlift wird umgerüstet, indem die Fußschiene mit dem Kranaufbau gegen den rechten Anschlag geschoben und ein längerer Kragarm eingewechselt wird, so dass der Abstand von der Mastachse bis zum Haken dann  $l_5^* = 1400 \text{ mm}$  beträgt. Weisen Sie nach, ob nun Kippgefahr besteht. 5,0

## 2 Kurbeltrieb und Seilzugführung

Die Abbildung zeigt schematisch Kurbeltrieb und Seilzugführung. Lager B ist am Mast befestigt, die Lager C und D an der Schiene 2. Die Schiene 1 mit dem Lasthaken wird in Schiene 2 so geführt, dass eine senkrechte Verfahrbewegung möglich ist.

Daten:

maximal zulässige Last:

$$F_L = 3 \text{ kN}$$

Getriebewirkungsgrad:

$$\eta_G = 85 \%$$

Kurbelradius:

$$r_K = 210 \text{ mm}$$

Seiltrommeldurchmesser

$$d_{Tr} = 50 \text{ mm}$$

Verluste je Rolle:

$$5 \%$$

Verluste Schienenführung:

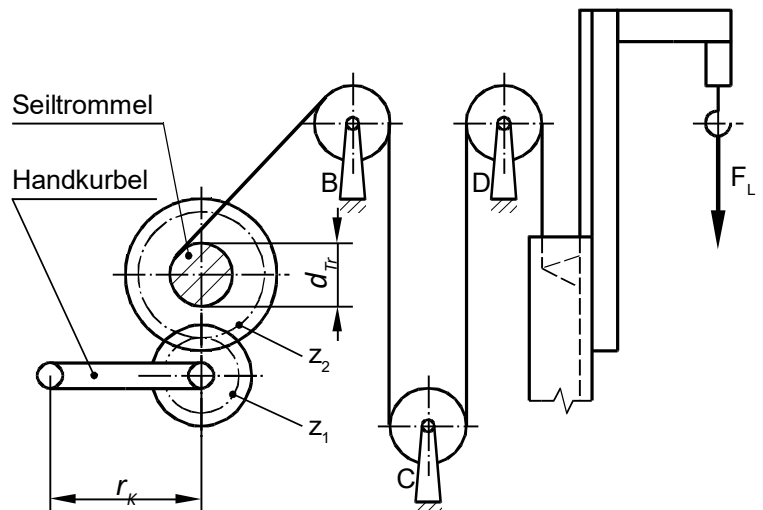
$$20 \%$$

Zahnrad Kurbelwelle:

$$z_1 = 18$$

Zahnrad Trommelwelle:

$$z_2 = 63$$



- 2.1 Zeichnen Sie den Energiefluss für das System Kurbeltrieb und Seilzugführung und bestimmen Sie den Gesamtwirkungsgrad. 3,0




- 2.2 Für den Seilzug stehen zwei Seilquerschnitte zur Auswahl: Er besteht entweder aus 6 Litzen mit jeweils 19 Einzeldrähten oder aus 6 Litzen mit 37 Einzeldrähten. 3,0

In der Seilmitte befindet sich eine Fasereinlage, die hier für die Berechnung zur Belastbarkeit nicht berücksichtigt wird.

Die Grenzspannung für den Seilwerkstoff beträgt  $\sigma_{lim} = 1770 \text{ N/mm}^2$  und es ist eine Sicherheit von  $v = 4$  zu berücksichtigen.

Berechnen Sie für eine Seilkraft von  $F_S = 3000 \text{ N}$  einen geeigneten Seilquerschnitt und weisen Sie nach, welcher Seilquerschnitt der kostengünstigste ist.

Seilquerschnitt	Einzeldraht $\varnothing d_e$ in mm	Preis in € / m	
		Hersteller A	Hersteller B
	0,20	0,88	1,02
	0,31	1,31	1,25
	0,20	1,57	1,49
	0,24	1,92	1,88

- 3 Der Kragarm mit der Maximallast von 3 kN wird mit einer Geschwindigkeit von  $V_{Hub} = 2,4 \text{ m/min}$  nach oben gekurbelt. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt  $\eta_G = 58\%$ .
- 3.1 Berechnen Sie die Leistung an der Handkurbel. 2,0
- 3.2 Entwickeln Sie einen Lösungsansatz zur Ermittlung des Drehmoments an der Seiltrommel und berechnen Sie das Drehmoment. 3,0
- 3.3 Weisen Sie die notwendige Kraft an der Handkurbel nach. 2,0
- 3.4 Bestimmen Sie den Hubweg des Kranhakens bei 10 Kurbelumdrehungen. 2,0
- 4 Fertigung des Lastenlifts
- Beim Schweißen der Aluminiumteile des Lastenlifts wird zum Abschirmen der Schweißstelle vor schädlichem Luftzutritt das Schutzgas Argon verwendet.
- Bei einem Füllvorgang werden 16kg Argon von  $p_1 = 2 \text{ bar}$  auf  $p_2 = 200 \text{ bar}$  bei  $20^\circ\text{C}$  isotherm verdichtet.
- 4.1 Berechnen Sie das Gasvolumen  $V_1$  vor dem Füllvorgang sowie das Gasvolumen  $V_2$  nach dem Füllvorgang ( $R_i = 208 \text{ J/kgK}$ ). 2,0
- 4.2 Zeichnen Sie den Prozessverlauf in ein p-V-Diagramm ein und stellen Sie im Diagramm die Verdichtungsarbeit und den Wärmeumsatz dar. 2,0
- 4.3 Berechnen Sie die zum Befüllen der Gasflasche notwendige Verdichtungsarbeit und die dabei umgesetzte Wärmemenge. 2,0

40,0



## Lösungsvorschläge

1

### 1.1 LS Lastenlift (siehe rechts)

$$F_G = m \cdot g = 100 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_V = 0 = -F_H \cdot l_2 + F_G \cdot l_1 + F_L \cdot (l_1 - l_5) \Rightarrow$$

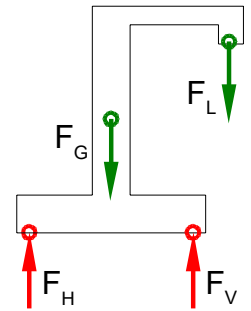
$$F_H = \frac{F_G \cdot l_1 + F_L \cdot (l_1 - l_5)}{l_2} = \frac{1 \text{ kN} \cdot 800 \text{ mm} + 3 \text{ kN} \cdot (800 - 500) \text{ mm}}{1600 \text{ mm}} = 1,06 \text{ kN}$$

$$F_{HRad} = \frac{F_H}{2} = \frac{1,06 \text{ kN}}{2} = 0,53 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_H - F_G - F_L + F_V \Rightarrow$$

$$F_V = -F_H + F_G + F_L = -1,06 \text{ kN} + 1 \text{ kN} + 3 \text{ kN} = 2,94 \text{ kN}$$

$$F_{VRad} = \frac{F_V}{2} = \frac{2,94 \text{ kN}}{2} = 1,47 \text{ kN}$$



### 1.2 LS Mast + Strebe (siehe rechts)

$$\Sigma M_A = 0 = F_{By} \cdot (l_2 - l_1 - l_4) - F_L \cdot l_5 \Rightarrow$$

$$F_{By} = F_L \cdot \frac{l_5}{l_2 - l_1 - l_4} = 3 \text{ kN} \cdot \frac{500 \text{ mm}}{(1600 - 800 - 400) \text{ mm}} = 3,75 \text{ kN}$$

$$F_B = \frac{F_{By}}{\cos \beta} = \frac{3,75 \text{ kN}}{\cos 30^\circ} = 4,33 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0 = F_{Ax} - F_{Bx} \Rightarrow F_{Ax} = F_{Bx} = F_B \cdot \sin \beta = 4,33 \cdot \sin 30^\circ = 2,17 \text{ kN}$$

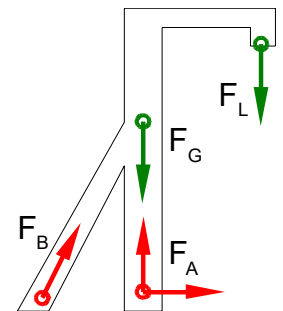
$$\Sigma F_y = 0 = -F_{By} + F_{Ay} - F_G - F_L \Rightarrow$$

$$F_{Ay} = F_{By} + F_G + F_L = 3,75 \text{ kN} + 1 \text{ kN} + 3 \text{ kN} = 7,75 \text{ kN}$$

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} = \sqrt{(2,17 \text{ kN})^2 + (7,75 \text{ kN})^2} = 8,05 \text{ kN}$$

$$\alpha_A = \arctan \frac{F_{Ay}}{F_{Ax}} = \arctan \frac{7,75 \text{ kN}}{2,17 \text{ kN}} = 74,4^\circ$$

$\alpha_A = 74,4^\circ$  nach links oben gegen die positive x-Achse



1.3 Mit dem Heben der Last ändern sich weder Hebelarme noch Lasten, also auch nicht die Lagerkräfte.

1.4 Das maximale Biegemoment im Kragarm wirkt an der Stelle, die am weitesten von der Last entfernt ist. Der Hebelarm entspricht also der Länge des Kragarmes.

$$M_{bmax} = |-F_L \cdot l_7| = 3 \text{ kN} \cdot 250 \text{ mm} = 750 \text{ Nm}$$

1.5 Für ein quadratisches Hohlprofil gilt:  $B = H$  und  $b = h$ , dazu  $h = 0,8 \cdot H$

$$\frac{\sigma_{bF}}{V} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{750 \text{ Nm}}{24 \text{ N/mm}^2} = 31,25 \text{ cm}^3$$

$$W = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H} = \frac{H^4 - h^4}{6 \cdot H} = \frac{H^4 - (0,8 \cdot H)^4}{6 \cdot H} = 0,0984 \cdot H^3 \Rightarrow$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{W}{0,0984}} = \sqrt[3]{\frac{31,25 \text{ cm}^3}{0,0984}} = 68,2 \text{ mm}$$

Gewählt:  $H = 70 \text{ mm}$



## 1.6 Kippgefahr

Lageskizze des Lastenliftes wie in Aufg. 1.1 mit anderen Maßen.

Berechnung über die Achskraft  $F_H$ :

$$\begin{aligned} \Sigma M_V = 0 &= -F_H \cdot l_2 + F_G \cdot (l_1 - l_6) + F_L \cdot (l_1 - l_6 - l_5^*) \Rightarrow \\ F_H &= \frac{F_G \cdot (l_1 - l_6) + F_L \cdot (l_1 - l_6 - l_5^*)}{l_2} = \frac{1 \text{ kN} \cdot (800 - 250) \text{ mm} + 3 \text{ kN} \cdot (800 - 250 - 1400) \text{ mm}}{1600 \text{ mm}} \\ &= -1,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$F_H < 0$  bedeutet, dass der Kran kippt.

Berechnung über den Kippsicherheitsfaktor:

Der Kippsicherheitsfaktor  $\gamma$  ist der Quotient aus der Summe der haltenden (hier: linksdrehenden) Momente zu den kippenden (hier: rechtsdrehenden) Momenten.

$$\gamma = 0 = \frac{|\Sigma M_{V-Links}|}{|\Sigma M_{V-Rechts}|} = \frac{|F_G \cdot (l_1 - l_6)|}{|F_L \cdot (l_5^* - l_1 + l_6)|} = \frac{1 \text{ kN} \cdot (800 - 250) \text{ mm}}{3 \text{ kN} \cdot (1400 - 800 + 250) \text{ mm}} = 0,22$$

$\gamma < 1$  bedeutet, dass der Kran kippt.

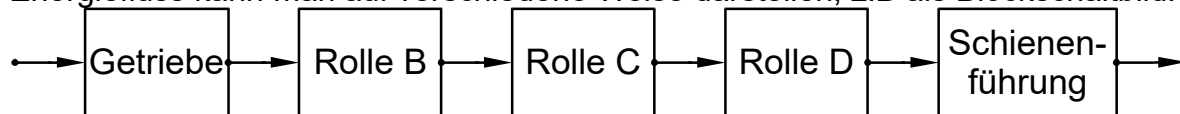
Berechnung über die zulässige Last ( $F_H = 0$ ):

$$\begin{aligned} \Sigma M_V = 0 &= +F_G \cdot (l_1 - l_6) + F_{Lzul} \cdot (l_1 - l_6 - l_5^*) \Rightarrow \\ F_{Lzul} &= F_G \cdot \frac{l_1 - l_6}{l_1 - l_6 - l_5^*} = -1 \text{ kN} \cdot \frac{800 - 250}{800 - 250 - 1400} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}} = 0,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

$F_{Lzul} < F_L$  bedeutet, dass der Kran kippt.

## 2 Kurbeltrieb und Seilzugführung

### 2.1 Energiefluss kann man auf verschiedene Weise darstellen, z.B als Blockschaltbild:



oder Energieflussdiagramm

fehlt

$$\eta_{ges} = \eta_G \cdot \eta_B \cdot \eta_C \cdot \eta_{SF} = 0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,80 = 0,583 = 58,3 \%$$

$$2.2 \quad \frac{\sigma_{zlim}}{\sqrt{v}} = \sigma_{zzul} > \sigma_z = \frac{F}{S} \Rightarrow$$

$$\sigma_{zzul} = \frac{\sigma_{lim}}{\sqrt{v}} = \frac{1770 \text{ N/mm}^2}{4} = 442,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_s}{\sigma_{zzul}} = \frac{3000 \text{ N}}{442,5 \text{ N/mm}^2} = 6,8 \text{ mm}^2$$

Querschnitte der Drahtseile

Seil	Litzen	Einzeldrähte	DrahtØ	Fläche S	günstigster Preis	Hersteller
1	6	19	0,20 mm	3,5 mm <sup>2</sup>	0,88	A
2	6	19	0,31 mm	8,6 mm <sup>2</sup>	1,25	B
3	6	37	0,20 mm	6,9 mm <sup>2</sup>	1,49	B
4	6	37	0,24 mm	10,0 mm <sup>2</sup>	1,88	B

Beispielrechnung für das 1. Seil

$$S = 6 \cdot 19 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 6 \cdot 19 \cdot \frac{\pi \cdot (0,20 \text{ mm})^2}{4} = 6 \cdot 19 \cdot 0,0314 \text{ mm}^2 = 3,58 \text{ mm}^2$$

Ausreichende Querschnittsfläche S haben die Drahtseile 2 bis 4, darunter ist Seil 2 von Hersteller B das kostengünstige.



## 3 Kurbel

$$3.1 \quad P_{ab} = F \cdot v_{Hub} = 3 \text{ kN} \cdot 2,4 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 120 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_M = \frac{P_{ab}}{\eta} = \frac{120 \text{ W}}{0,58} = 206,9 \text{ W}$$

Hinweis 1: Für 200 Watt Dauerleistung braucht es trainierte Bediener...

$$3.2 \quad F_{Kurbel} = \frac{F_L}{\eta_B \cdot \eta_C \cdot \eta_D \cdot \eta_{SF}} = \frac{3 \text{ kN}}{0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,80} = 4374 \text{ N}$$

$$M_{Tr} = F_{Kurbel} \cdot \frac{d_{Tr}}{2} = 4374 \text{ kN} \cdot \frac{50 \text{ mm}}{2} = 109,3 \text{ Nm}$$

$$3.3 \quad i_G = \frac{z_2}{z_1} = \frac{63}{18} = 3,5$$

$$M_{Kurbel} = \frac{M_{Tr}}{\eta_G \cdot i_G} = \frac{109,3 \text{ Nm}}{0,85 \cdot 3,5} = 36,8 \text{ Nm}$$

$$M = F \cdot \frac{d}{2} \Rightarrow F_{Kurbel} = \frac{M_{Kurbel}}{r_K} = \frac{36,8 \text{ Nm}}{210 \text{ mm}} = 175,0 \text{ N}$$

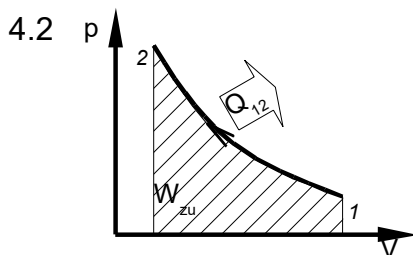
$$3.4 \quad s = \frac{10}{i_G} \cdot \text{Seiltrommelumfang} = \frac{10}{i_G} \cdot \pi \cdot d_{Tr} = \frac{10}{3,5} \cdot \pi \cdot 50 \text{ mm} = 2,857 \cdot 157,1 \text{ mm} = 449 \text{ mm}$$

## 4 Fertigung

$$4.1 \quad p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T \Rightarrow$$

$$V_1 = \frac{m \cdot R_i \cdot T_1}{p_1} = \frac{16 \text{ kg} \cdot 208 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (273 + 20) \text{ K}}{2 \text{ bar}} = 4,88 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{m \cdot R_i \cdot T_2}{p_2} = \frac{16 \text{ kg} \cdot 208 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (273 + 20) \text{ K}}{200 \text{ bar}} = 48,8 \text{ dm}^3$$



$$4.3 \quad W_{12} = -m \cdot R_i \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} = -16 \text{ kg} \cdot 208 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (273 + 20) \text{ K} \cdot \ln \frac{2 \text{ bar}}{200 \text{ bar}} = 4,49 \text{ MJ}$$

$$Q_{12} = -W_{12} = -4,49 \text{ MJ}$$

Statik (15 P): Freimachen ohne Vorgabe; Kräfte berechnen; Verständnisfragen Maßänderungen  
 Festigkeit (8 P):  $M_{bmax}$ ; Kastenprofil (Biegung); Drahtseil (mit Preisbetrachtung)  
 Getriebe (12 P): Energiefluss zeichnen; Handkurbel  
 Energie (6 P): Schweißgas; Gasvolumen;  $p, V$ -Diagramm; Verdichtungsarbeit