

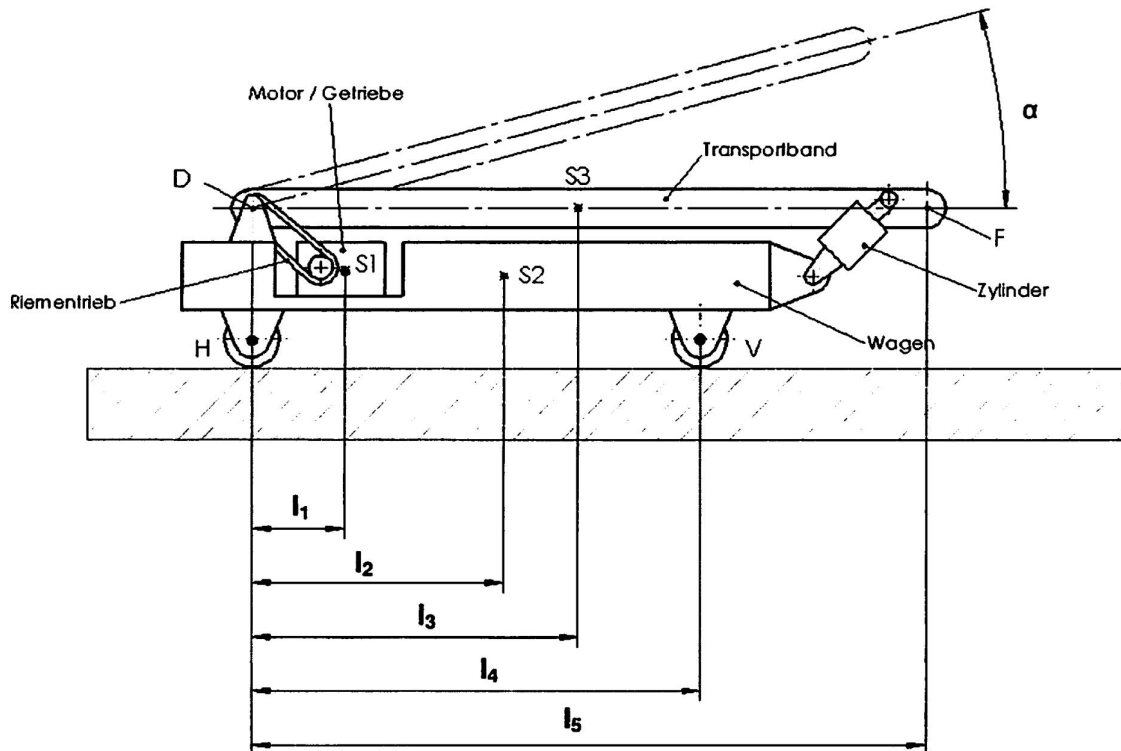


tgtm HP 2011/12-1: Fördereinrichtung

(Pflichtaufgabe)

1 Fördereinrichtung

Die dargestellte mobile Fördereinrichtung MB-100 besteht aus einem Wagen mit je zwei Rädern pro Achse. Das Transportband ist am Punkt D gelagert und kann mit Hilfe eines Zylinders in seiner Neigung um bis zu 15° verstellt werden.



Abmessungen: $l_1 = 400\text{mm}$; $l_2 = 1000\text{mm}$; $l_3 = 1500\text{mm}$; $l_4 = 1800\text{mm}$; $l_5 = 3300\text{mm}$

Gewichtskräfte: Motor und Getriebe an der Stelle S_1 : $F_{G1} = 1100\text{ N}$

Wagen an der Stelle S_2 : $F_{G2} = 3000\text{ N}$

Transportband an der Stelle S_3 : $F_{G3} = 2500\text{ N}$

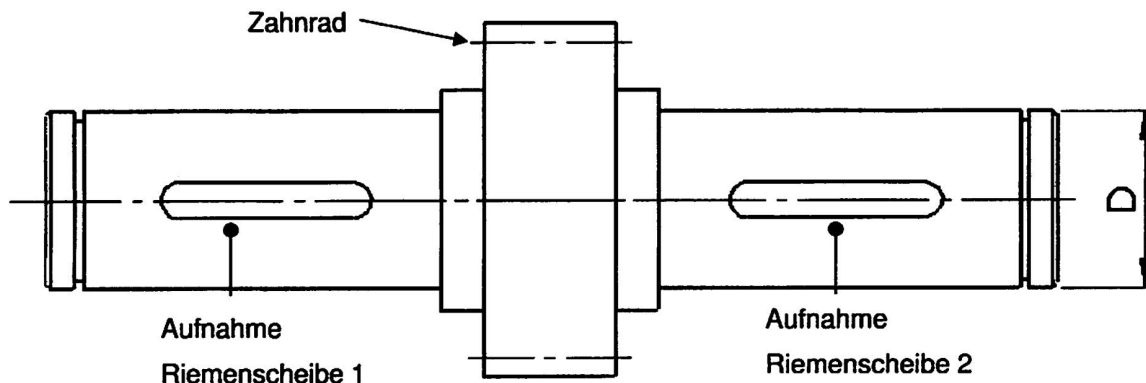
Neigungswinkel $\alpha = 15^\circ$

- 1.1 Schneiden Sie die gesamte mobile Fördereinrichtung in ihrer waagerechten Ausgangslage zur Berechnung der Radkräfte frei. 3,0
- 1.2 Berechnen Sie die Radkräfte F_H und F_V für die mobile Fördereinrichtung. 4,0
- 1.3 Das Transportband befindet sich in waagrechter Position. 4,0
Überprüfen Sie, bei welcher Last am Punkt F die mobile Fördereinrichtung gerade nicht kippt.



2 Konstruktion des Antriebs

Das erforderliche Drehmoment zum Antrieb des Transportbandes wird vom Motor über das Getriebe auf das Zahnrad der Antriebswelle übertragen. Wie in der folgenden Skizze dargestellt, sind auf der Antriebswelle zwei Aufnahmestellen für Riemenscheiben vorgesehen. Zwei Passfedern nach DIN 6885 - B 8x7x32 sorgen für die Drehmomentübertragung.



Werkstoff der Antriebswelle:	16MnCr5
Werkstoff der Passfeder:	S235
Schwellendes Drehmoment am Zahnrad:	$M_z = 600 \text{ Nm}$
Sicherheit bei Torsionsbeanspruchung:	4
Sicherheit bei Abscherung:	2
zulässige Flächenpressung:	$P_{zul} = 150 \text{ N/mm}^2$

- 2.1 Dimensionieren Sie den erforderlichen Mindestdurchmesser D der Antriebswelle. 5,0
- 2.2 Weisen Sie nach, ob die gegebenen Passfedern bei einem Wellendurchmesser von $D = 30 \text{ mm}$ die geforderten Sicherheiten erfüllen. 4,0
- 2.3 Die Festigkeitsberechnung hat ergeben, dass die Passfeder den geforderten Sicherheiten nicht entspricht. 2,0

Analysieren und entwerfen Sie eine Lösung für dieses Problem und begründen Sie Ihre Antwort.

3 Antriebssystem

Der Antrieb erfolgt mit Hilfe eines Elektromotors. Zwischen Elektromotor und Transportband befinden sich ein 2-stufiges Zahnradgetriebe und ein Riementrieb.

Daten Elektromotor:

$$P_M = 16 \text{ kW} \quad n_M = 1480 \text{ min}^{-1}$$

Daten Zahnradgetriebe:

$$z_1 = 12; \quad z_2 = 24; \quad \eta_1 = 94\%; \quad z_3 = 15; \quad z_4 = 38; \quad \eta_2 = 92\%$$

Daten Riementrieb:

$$d_1 = 120 \text{ mm}; \quad d_2 = 200 \text{ mm}; \quad \eta_3 = 96\%$$

- 3.1 Stellen Sie die Energieumwandlungskette vom Elektromotor zum Transportband mittels Blockschaltbild dar und berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad. 2,0
- 3.2 Bestimmen Sie das Gesamtübersetzungsverhältnis. 2,0
- 3.3 Das Transportband hat eine Antriebsrolle mit $d = 250 \text{ mm}$. 2,0

Dokumentieren Sie die Geschwindigkeit des Transportbandes in m/s mit Hilfe einer Rechnung.



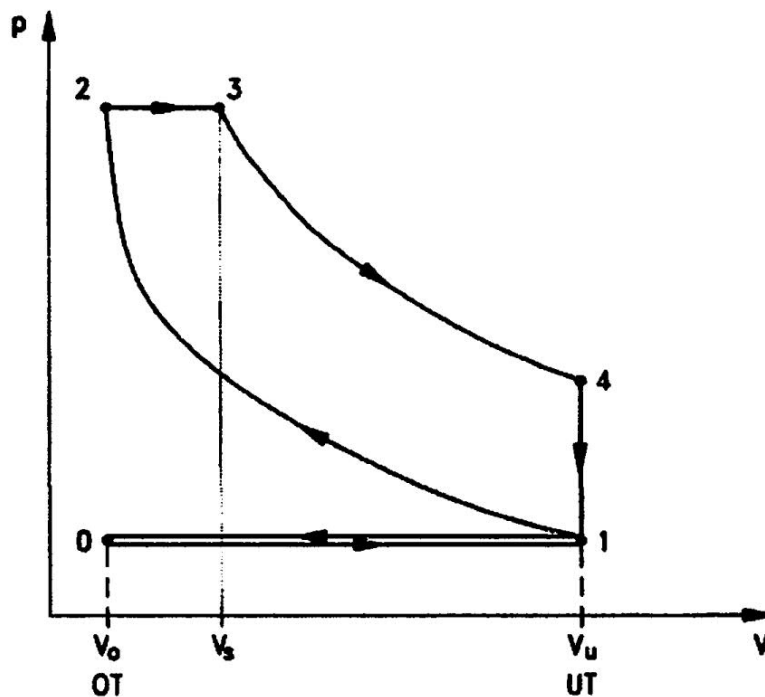
4 Motor zur Stromerzeugung

Die mobile Fördereinrichtung MB-100 soll auch einsetzbar sein, wenn kein Stromanschluss vorhanden ist. Zur Stromerzeugung wird folgendes Aggregat eingesetzt.

- 2-Zylinder
- Gesamthubraum 2100 cm^3
- Verdichtungsverhältnis $\varepsilon = 22$
- Ansaugtemperatur 20°C
- Ansaugdruck 1 bar
- Prozesstemperatur $T_3 = 2100 \text{ K}$

4.1 Der Kreisprozess des Aggregats ist im folgenden p-V-Diagramm dargestellt.

2,0



Nennen Sie die Motorart und begründen Sie Ihre Antwort.

4.2 Beschreiben Sie den vollständigen Ablauf eines Arbeitszyklus und nennen Sie dabei die jeweiligen thermodynamischen Zustandsänderungen.

3,0

4.3 Ermitteln Sie V_1 und V_2 .

2,0

Hinweis: $\varepsilon = 1 + V_{\text{Hub}} / V_2$

4.4 Bestimmen Sie die angesaugte Luftmasse je Zylinder.

2,0

4.5 Ermitteln Sie T_2 und V_3 .

3,0

40,0



Lösungsvorschläge

Statik (11 P): Benannte BG freimachen; Auflagerkräfte; Kipplast;

Festigkeit (9 P): Welle mit Passfedernut und verteiltem Torsionsmoment; Passfeder überprüfen (missverständlich);

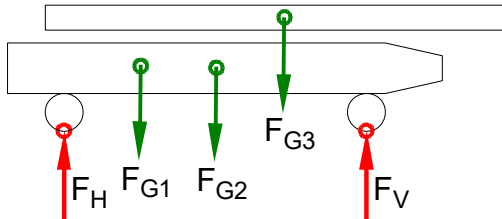
ME (2 P): Welle-Nabe-Verbindung vorschlagen

Getriebe (6 P): Blockschaltbild

Energie (12 P): Motorbauart aus p, V -Diagramm ablesen; Zustandsänderungen eines Viertaktmotors einschließlich Gaswechselschleife beschreiben; V_{OT} und V_{UT} aus V_H und ϵ berechnen (Formel gegeben); Luftmasse; Zustandsgrößen

1

1.1 LS



1.2 Annahme 1: Das Förderband befindet sich wie in Aufg. 1.1 in waagerechter Position.

$$\Sigma M_H = 0 = -F_{G1} \cdot l_1 - F_{G2} \cdot l_2 - F_{G3} \cdot l_3 + F_V \cdot l_4 \Rightarrow$$

$$F_V = \frac{F_{G1} \cdot l_1 + F_{G2} \cdot l_2 + F_{G3} \cdot l_3}{l_4}$$

$$= \frac{1100 \text{ N} \cdot 400 \text{ mm} + 3000 \text{ N} \cdot 1000 \text{ mm} + 2500 \text{ N} \cdot 1500 \text{ mm}}{1800 \text{ mm}} = 3994,4 \text{ N}$$

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

$$F_H = +F_{G1} + F_{G2} + F_{G3} - F_V = 1100 \text{ N} + 3000 \text{ N} + 2500 \text{ N} - 3994,4 \text{ N} = 2605,6 \text{ N}$$

$$F_{VRad} = \frac{F_V}{2} = \frac{3994,4 \text{ N}}{2} = 1997 \text{ N}$$

$$F_{HRad} = \frac{F_H}{2} = \frac{2605,6 \text{ N}}{2} = 1303 \text{ N}$$

1.3 LS Fördereinrichtung im Moment des Kippens

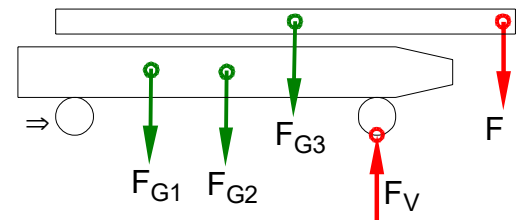
Im Moment "kippt gerade nicht" wird $F_H = 0$.

$$\Sigma M_V = 0 = F_{G1} \cdot (l_4 - l_1) + F_{G2} \cdot (l_4 - l_2) + F_{G3} \cdot (l_4 - l_3) - F \cdot (l_5 - l_4) \Rightarrow$$

$$F = \frac{F_{G1} \cdot (l_4 - l_1) + F_{G2} \cdot (l_4 - l_2) + F_{G3} \cdot (l_4 - l_3)}{l_5 - l_4}$$

$$= \frac{1100 \text{ N} \cdot (1800 - 400) \text{ mm} + 3000 \text{ N} \cdot (1800 - 1000) \text{ mm} + 2500 \text{ N} \cdot (1800 - 1500) \text{ mm}}{3300 \text{ mm} - 1800 \text{ mm}}$$

$$= 3127 \text{ N}$$





2 Konstruktion des Antriebs

2.1 $R_e = 590 \text{ N/mm}^2$ (16MnCr5 \rightarrow [EuroTabM] „Einsatzstähle“)

Da das Drehmoment M_Z vom Zahnrad in verschiedene Richtungen zu den beiden Riemenscheiben geleitet wird, muss die Welle nur das halbe Moment übertragen.

$$M_t = \frac{M_Z}{2} = \frac{600 \text{ Nm}}{2} = 300 \text{ Nm}$$

$$\tau_{tF} = 0,7 \cdot R_e = 0,7 \cdot 590 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 413 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_{tF}}{\sqrt{v}} = \tau_{tzul} > \tau_t = \frac{M_t}{W_p} \Rightarrow \tau_{tzul} = \frac{\tau_{tF}}{\sqrt{v}} = \frac{413 \text{ N/mm}^2}{4} = 103,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{perf} = \frac{M_t}{\tau_{tzul}} = \frac{300 \text{ Nm}}{103,25 \text{ N/mm}^2} = 2,91 \text{ cm}^3$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \Rightarrow d_{erf} = \sqrt[3]{\frac{W_{perf} \cdot 16}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2,91 \text{ cm}^3 \cdot 16}{\pi}} = 24,6 \text{ mm}$$

Für die im Maschinenbau erforderliche Genauigkeit reicht es aus, die Tiefe der Passfedernuten auf den Durchmesser aufzuschlagen.

$t_1 = 4 \text{ mm}$ (Passfeder 6885 – 8x7 \rightarrow [EuroTabM] „Passfedern“)

$D_{erf} = d_{erf} + 4 \text{ mm} = 24,6 \text{ mm} + 4 \text{ mm} = 28,6 \text{ mm}$; gewählt: $D = 30 \text{ mm}$

2.2 Passfedern: Kraft F_P , die auf eine Passfeder wirkt:

$$M = F \cdot \frac{D}{2} \Rightarrow F_P = \frac{2 \cdot M}{D} = \frac{2 \cdot 300 \text{ Nm}}{30 \text{ mm}} = 20 \text{ kN}$$

Gegen Abscherung

$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e$ (\rightarrow [EuroTabM] „Abscherung, Beanspruchung“)

$R_e = 235 \text{ N/mm}^2$ (aus der Bezeichnung von S235 oder \rightarrow [EuroTabM] „Baustähle“)

$b = 8 \text{ mm}$; $l = 32 \text{ mm}$; $t_2 = 3,3 \text{ mm}$ (Passfeder 6885 – 8x7x32 \rightarrow TabB s.o., S.240)

$$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 235 \text{ N/mm}^2 = 141 \text{ N/mm}^2$$

$$S = b \cdot l = 8 \text{ mm} \cdot 32 \text{ mm} = 256 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\tau_{aF}}{\sqrt{v}} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{S} = \frac{20 \text{ kN}}{256 \text{ mm}^2} = 78,125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow$$

$$v_{aB} = \frac{\tau_{aF}}{\tau_a} = \frac{141 \text{ N/mm}^2}{78,125 \text{ N/mm}^2} = 1,8 > 2 \Rightarrow \text{ausreichend}$$

Gegen Flächenpressung

Hier steckt die Sicherheit in der zulässigen Flächenpressung p_{zul} :

$$A = t_2 \cdot l = 3,3 \text{ mm} \cdot 32 \text{ mm} = 105,6 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{20 \text{ kN}}{105,6 \text{ mm}^2} = 189 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > p_{zul} = 150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \Rightarrow \text{nicht ausreichend}$$

Die gegebene Querschnittsfläche kleiner als erforderlich \rightarrow nicht ausreichend.

Hinweise 2: Aus dem Wortlaut der Aufgabe könnte man schließen, dass man nicht gegen Flächenpressung berechnen muss, weil dafür keine Sicherheit angegeben ist. Ebenso könnte man die Flächenpressung zuerst berechnen, feststellen, dass "die geforderten Sicherheiten" nicht erfüllt sind, und dann auf weitere Rechnungen verzichten. Beide Entscheidungen würde ich vom Korrektor abhängig machen.



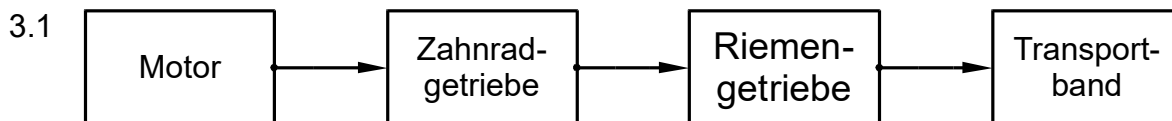
2.3 Analyse: Die Passfederverbindung ist nicht ausreichend belastbar, deshalb muss eine Welle-Nabe-Verbindung mit größerer Belastbarkeit gewählt werden.

Lösungen mit Begründung (laut Aufgabenstellung genügt eine Lösung):

- Verlängerung der Passfeder erhöht die Fläche und senkt die Flächenpressung
- Zwei gegenüberliegende Passfedern erhöhen ebenfalls die Fläche (ob das praktisch üblich ist, muss ein Schüler nicht wissen, aber tatsächlich ist diese Konstruktion in DIN 6892 „Passfedern-Berechnung und Gestaltung“ berücksichtigt (→ [Steinhilper 2007 I] S.519; [Decker 2009] S.292f, [Haberhauer 2008] S.146)
- Passfeder aus höherwertigem Werkstoff erhöht die zulässige Flächenpressung
- Ein größerer Wellendurchmesser senkt die Kraft, die durch die Passfeder übertragen wird, und ermöglicht zudem eine größere Passfeder.
- Andere Konstruktion mit höherer Belastbarkeit verwenden: Keilverbindung, Übermaßverbindung (Presssitz), Keilwelle, Polygonwelle
(→ [EuroTabM] „Welle-Naben-Verbindungen“)

Hinweise 3: Die Lösung braucht nicht analysiert zu werden.

3 Antriebssystem



$$\eta_g = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,94 \cdot 0,92 \cdot 0,96 = 0,83$$

3.2

$$i = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{d_2}{d_1} = \frac{24}{12} \cdot \frac{38}{15} \cdot \frac{200 \text{ mm}}{120 \text{ mm}} = 8,44$$

3.3

$$i = \frac{n_{zu}}{n_{ab}} \Rightarrow n_T = \frac{n_M}{i} = \frac{1480 \text{ min}^{-1}}{8,44} = 175 \frac{1}{\text{min}} = 2,9 \frac{1}{s}$$

$$v = \pi \cdot n \cdot d = \pi \cdot 175 \frac{1}{\text{min}} \cdot 250 \text{ mm} = 138 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



4 Motor zur Stromerzeugung

4.1 Die Verbrennung (Prozess 2 – 3) erfolgt isobar (Gleichdruckverbrennung) und dies ist typisch für einen Dieselmotor.

4.2 0 – 1 : Ansaugen des Frischgases (isobar, Ansaugtakt)

1 – 2 : Verdichtung (adiabatisch, Verdichtungstakt)

2 – 3 : Verbrennung (isobar, Arbeitstakt)

3 – 4 : Entspannung (adiabatisch, Arbeitstakt)

4 – 1 : Ausströmen des Abgases (isochor, Ausstoßtakt)

1 – 0 : Ausstoßen der Restgase (isobar, Ausstoßtakt)

$$4.3 \quad \epsilon = 1 + \frac{V_{Hub}}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_{Hub}}{\epsilon - 1} = \frac{2100 \text{ cm}^3}{22 - 1} = 100 \text{ cm}^3 \quad \text{für Motor (50 cm}^3 \text{ für Zylinder)}$$

$$V_1 = V_2 + V_{Hub} = 100 \text{ cm}^3 + 2100 \text{ cm}^3 = 2200 \text{ cm}^3 \quad \text{für Motor (1100 cm}^3 \text{ für Zylinder)}$$

4.4 Die angesaugte Luftmasse wird vom Hubraum V_h eines Zylinders bestimmt.

$$V_h = \frac{V_{Hub}}{2} = \frac{2100 \text{ cm}^3}{2} = 1050 \text{ cm}^3$$

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T \Rightarrow m_h = \frac{p_1 \cdot V_h}{R_i \cdot T_1} = \frac{1 \text{ bar} \cdot 1050 \text{ cm}^3}{287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (273 + 20) \text{ K}} = 1,25 \text{ g}$$

In der Praxis wird dieser Wert nicht erreicht, weil sich der Ansaugvorgang im Zeitraum von hundertstel Sekunden ab

4.5 Adiabatischer Prozess 1 – 2

Für das Volumenverhältnis V_1 / V_2 spielt es in der Gleichung keine Rolle, ob man die Volumina des ganzen Motors oder eines einzelnen Zylinders einsetzt. Einfacher ist es, das Verdichtungsverhältnis ϵ zu verwenden. Aus der gegebenen Formel ergibt sich nämlich:

$$\epsilon = 1 + \frac{V_{Hub}}{V_2} = \frac{V_2}{V_2} + \frac{V_{Hub}}{V_2} = \frac{V_2 + V_{Hub}}{V_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

und damit

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{V_2}{V_1} \right]^{\kappa - 1} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{\kappa - 1} = T_1 \cdot \epsilon^{\kappa - 1} = (273 + 20) \text{ K} \cdot 22^{1,40 - 1} = 1009 \text{ K}$$

Isobarer Prozess 2 – 3

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow V_3 = V_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 100 \text{ cm}^3 \cdot \frac{2100 \text{ K}}{1009 \text{ K}} = 208 \text{ cm}^3 \quad \text{für Motor (104 cm}^3 \text{ für Zylinder)}$$