



tgtm HP 2007/08-1: Hubgerät HG500

Alle Aufgaben beziehen sich auf das nachfolgend skizzierte Unternehmen.

Die Firma Kevin Klein e. K. ist eine mittelständische Unternehmung im süddeutschen Raum, die sich auf die Herstellung von Hubgeräten für individuelle Transporte spezialisiert hat.

Des Weiteren konzipiert die Kevin Klein e. K. auch Sonderlösungen als Serviceleistungen für besonders gute Kunden. Zur besseren Auslastung der CNC-Fräsmaschine werden in geringem Umfang auch Lohnarbeiten durchgeführt

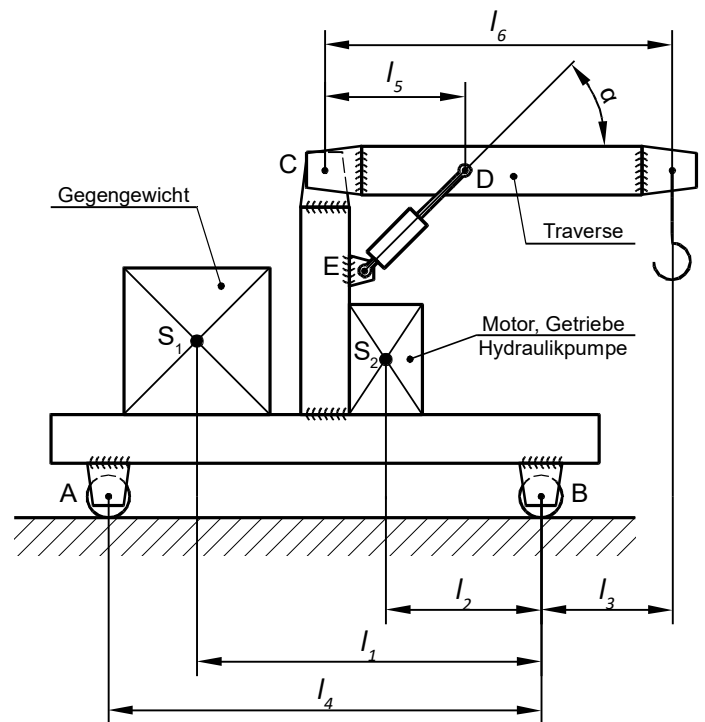
Momentan beschäftigt die Unternehmung 93 Mitarbeiter.

Der Umsatz der Unternehmung hat sich durch verstärkte Nachfrage aus dem asiatischen Raum derart erhöht, dass der Inhaber eine betriebliche Expansion verbunden mit einer Umfirmierung plant.

Aufgabe 1 (Pflichtaufgabe)

Hubgerät HG500 (unmaßstäbliche Skizze)

$$\begin{array}{llll}
 l_1 = 1650 \text{ mm} & l_4 = 2000 \text{ mm} & \alpha = 45^\circ & \\
 l_2 = 750 \text{ mm} & l_5 = 500 \text{ mm} & F_{G1} = 3 \text{ kN} & \\
 l_3 = 500 \text{ mm} & l_6 = 1500 \text{ mm} & F_{G2} = 1 \text{ kN} &
 \end{array}$$



- 1 Kräfte am Hubgerät

Das gesamte Hubgerät (ohne Gegengewicht) hat seinen Schwerpunkt in S_2 . Ein aufgelegtes Gegengewicht besitzt in S_1 seinen Schwerpunkt. Am Lasthaken hängt eine Last mit der Gewichtskraft $F_{G3} = 5000 \text{ N}$.

 - 1.1 Schneiden Sie das Hubgerät frei. 2,0
 - 1.2 Berechnen Sie die Achskräfte F_A und F_B . 2,0
 - 1.3 Bei welcher angehängten Grenzlast F_{G4} kippt das Hubgerät? 3,0
 - 1.4 Auf Kundenwunsch soll das Hubgerät bis zu einer Grenzlast von $F_{G5} = 20 \text{ kN}$ eingesetzt werden können. Berechnen Sie das Maß x , um welches die Achse B versetzt werden muss. Dabei wird angenommen, dass die Lage der Schwerpunkte unverändert bleibt. 4,0
- 2 Kräfte und Momente an der Traverse

Für die weitere Berechnung wird eine Grenzlast von $F_{G4} = 11 \text{ kN}$ angenommen.

 - 2.1 Berechnen Sie die Kräfte in den Lagerpunkten C und D der Traverse. 3,0
 - 2.2 Berechnen Sie das maximale Biegemoment in der Traverse. 2,0
 - 2.3 Die Traverse soll als schmaler Doppel-T-Träger (S275) ausgeführt werden. Beachten Sie eine 3,5-fache Sicherheit gegen plastische Verformung infolge Biegebeanspruchung. Die Art der Belastung ist schwelend. Geben Sie den erforderlichen Träger normgerecht an. 2,0



3 Zylinder und Zylinderbefestigungen

- 3.1 Ermitteln Sie für die Zylinderkraft F_D (Annahme $F_D = 50 \text{ kN}$) einen geeigneten Zylinder aus der Tabelle. Dabei darf ein Maximaldruck im System von 150 bar und eine zulässige Druckspannung in der Kolbenstange von 100 N/mm^2 nicht überschritten werden. 4,0

Der Zylinderwirkungsgrad beträgt 85%. Bewerten Sie ihr Ergebnis.

	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3	Zylinder 4
Kolbendurchmesser d_1	50 mm	63 mm	80 mm	100 mm
Kolbenstangendurchmesser d_2	36 mm	45 mm	56 mm	70 mm

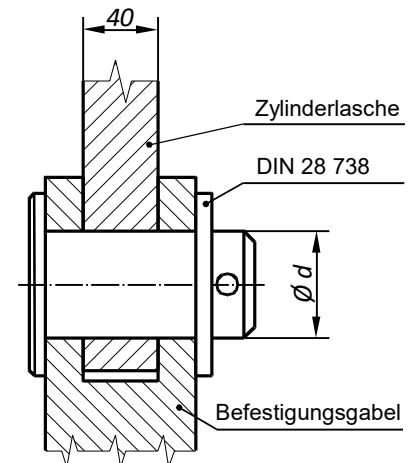
Konstruktive Lösung der Bolzenverbindung Zylinder - Traverse am Lager D :

- 3.2 Wählen Sie den geeigneten Bolzendurchmesser d (C60E) für die Aufnahme der Kolbenstange im Punkt D. 3,5

Die zulässige Flächenpressung beträgt 60 N/mm^2 . Die geforderte Sicherheit gegen Abscheren beträgt 4.

- 3.3 Beschreiben Sie in Stichworten die Ermittlung der Nennlänge l des Bolzens. 2,0

- 3.4 Bestimmen Sie die Nennlänge l und geben Sie die normgerechte Bezeichnung für den verwendeten Bolzen an. Zylinderlasche und Befestigungsgabel sind aus dem gleichen Werkstoff hergestellt. 2,5



4 Antrieb der Hydraulikpumpe

- 4.1 Der Elektromotor besitzt einen Wirkungsgrad von 91% und das Getriebe setzt 90% Energie um. Die Verluste der Hydraulikpumpe belaufen sich auf 10% und die des Zylinders auf 15%. Zeichnen Sie für diese Anlage ein Blockschaltbild und berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad. 2,0

- 4.2 Welche Leistung muss der Elektromotor aufnehmen, wenn der Zylinder mit der Geschwindigkeit 30 mm/s ausfährt und mit $F_D = 50 \text{ kN}$ belastet ist? 2,0

5 Verbrennungsmotor als Antrieb

Der Elektromotor wird durch einen Verbrennungsmotor, welcher mit einem Methan-Luft-Gemisch betrieben wird, ersetzt. Dieser arbeitet wie ein Otto-Motor (Gleichraumverbrennung) und wird näherungsweise mit den Stoffwerten von Luft berechnet.

- 5.1 Zeichnen Sie das p-V-Diagramm (nicht maßstäblich) mit idealisierten Zustandsänderungen und nummerieren Sie die Übergangspunkte aufsteigend, beginnend mit der Verdichtung. 2,0

- 5.2 Tragen Sie in das p-V-Diagramm ein: Q_{zu} , Q_{ab} , W_{zu} , W_{ab} , W_{nutz} . Darstellbare Flächen sind zu schraffieren. 2,0

- 5.3 Der Motor verdichtet im Verhältnis 9:1. Berechnen Sie den Verdichtungsdruck p_2 , sowie die Verdichtungstemperatur t_2 (in $^{\circ}\text{C}$) bei folgenden Motordaten: $V_1 = 500 \text{ cm}^3$; $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$; $p_1 = 0,9 \text{ bar}$. 2,0

$\Sigma = 40$



Formelsammlung

1 Erster Hauptsatz der Wärmelehre

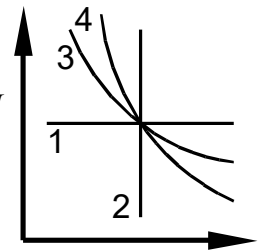
$$\Delta Q + \Delta W = \Delta U$$

→ Im Kreisprozess gilt: $\Sigma \Delta Q + \Sigma \Delta W = \Sigma \Delta U$

2 Allgemeines Gasgesetz

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T$$

3 Zustandsänderungen idealer Gase



1 Isobar	$Q_{12} = c_p \cdot m \cdot \Delta T$	$W_{12} = -p \cdot \Delta V$	$p = konst.$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
2 Isochor	$Q_{12} = c_v \cdot m \cdot \Delta T$	$W_{12} = 0$	$V = konst.$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
3 Isotherm	$Q_{12} = -W_{12}$	$W_{12} = -m \cdot R_i \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ $W_{12} = -m \cdot R_i \cdot T \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$	$T = konst.$ $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$
4 Adiabate	$Q_{12} = 0$	$W_{12} = -\frac{m \cdot R_i}{1 - \kappa} \cdot (T_2 - T_1)$ $W_{12} = -\frac{m \cdot R_i \cdot T_1}{1 - \kappa} \cdot \left[\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} - 1 \right]$ $W_{12} = -\frac{m \cdot R_i \cdot T_1}{1 - \kappa} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$	$p \cdot V^\kappa = konst.$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}$

4 Formelzeichen und Einheiten

Q	Wärmemenge [J] 1 J = 1 Ws = 1 Nm	W	Arbeit [J] 1 J = 1 Ws = 1 Nm	T	Absolute Temperatur [K]
q	Spez. Wärmemenge [J/kg]	w	Spez. Arbeit [J/kg]	m	Masse des Gases [kg]
Q ₁₂	Wärmeumsatz bei Zustandsänderung von Zustand 1 nach Zustand 2	W ₁₂	Arbeitsumsatz bei Zustandsänderung von Zustand 1 nach Zustand 2	R _i	Spezifische Gaskonstante für Gas i [J/kgK]
κ	Adiabatexponent $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$	c _p	Spez. Wärmekapazität bei konstantem Druck [J/kgK]	c _v	Spez. Wärmekapazität bei konstantem Volumen [J/kgK]
U	Innere Energie [J]	V	Volumen [m ³]	p	Druck [1 Pa = 1 N/m ²]

5 Wirkungsgrade

Wirkungsgrad allgemein	Thermischer Wirkungsgrad	Carnot-Wirkungsgrad
$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$	$\eta_{th} = 1 - \frac{ Q_{ab} }{Q_{zu}} = \frac{ W_{nutz} }{Q_{zu}}$	$\eta_c = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$

6 Ausgewählte Tabellenwerte

Gas	c _p [J/kgK]	c _v [J/kgK]	R _i [J/kgK]
Kohlendioxid	844	655	189
Luft	1005	718	287
Sauerstoff	917	658	260
Stickstoff	1038	741	297



Lösungsvorschlag

1 Kräfte am Hubgerät

1.1 Lageskizze des Hubgerätes siehe rechts

$$1.2 \quad \Sigma M_B = 0 = -F_A \cdot l_4 + F_{G1} \cdot l_1 + F_{G2} \cdot l_2 - F_{G3} \cdot l_3 \Rightarrow$$

$$F_A = \frac{+F_{G1} \cdot l_1 + F_{G2} \cdot l_2 - F_{G3} \cdot l_3}{l_4} = \frac{3 \text{ kN} \cdot 1650 \text{ mm} + 1 \text{ kN} \cdot 750 \text{ mm} - 5 \text{ kN} \cdot 500 \text{ mm}}{2000 \text{ mm}} = 1,6 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_A - F_{G1} - F_{G2} + F_B - F_{G3} \Rightarrow$$

$$F_B = -F_A + F_{G1} + F_{G2} + F_{G3} = -1,6 \text{ kN} + 3 \text{ kN} + 1 \text{ kN} + 5 \text{ kN} = 7,4 \text{ kN}$$

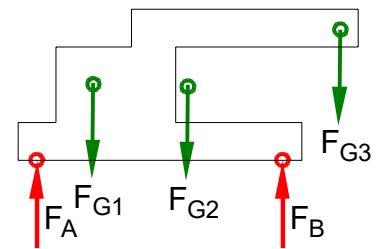
1.3 Kippbedingung: $F_A = 0$, $F_{G3\max}$ = unbekannt

$$\Sigma M_B = 0 = +F_{G1} \cdot l_1 + F_{G2} \cdot l_2 - F_{G3\max} \cdot l_3 \Rightarrow$$

$$F_{G3\max} = \frac{+F_{G1} \cdot l_1 + F_{G2} \cdot l_2}{l_3} = \frac{3 \text{ kN} \cdot 1650 \text{ mm} + 1 \text{ kN} \cdot 750 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 11,4 \text{ kN}$$

$$1.4 \quad \Sigma M_B = 0 = +F_{G1} \cdot (l_1 + x) + F_{G2} \cdot (l_2 + x) - F_{G5} \cdot (l_3 - x) \Rightarrow$$

$$x = \frac{-F_{G1} \cdot l_1 - F_{G2} \cdot l_2 + F_{G5} \cdot l_3}{F_{G1} + F_{G2} + F_{G5}} = \frac{-3 \text{ kN} \cdot 1650 \text{ mm} - 1 \text{ kN} \cdot 750 \text{ mm} + 20 \text{ kN} \cdot 500 \text{ mm}}{3 \text{ kN} + 1 \text{ kN} + 20 \text{ kN}} = 179 \text{ mm}$$



2 Kräfte und Momente an der Traverse

2.1 Lageskizze der Traverse siehe rechts

$$\Sigma M_C = 0 = F_{Dy} \cdot l_5 - F_{G4} \cdot l_6 \Rightarrow F_{Dy} = F_{G4} \cdot \frac{l_6}{l_5} = 11 \text{ kN} \cdot \frac{1500 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 33 \text{ kN}$$

$$F_D = \frac{F_{Dy}}{\sin \alpha} = \frac{33 \text{ kN}}{\sin 45^\circ} = 46,7 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_x = 0 = F_{Cx} + F_{Dx} \Rightarrow F_{Cx} = -F_D \cdot \cos \alpha = -46,7 \text{ kN} \cdot \cos 45^\circ = -33 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{Cy} + F_{Dy} - F_{G4} \Rightarrow F_{Cy} = -F_{Dy} + F_{G4} = -33 \text{ kN} + 11 \text{ kN} = -22 \text{ kN}$$

$$F_C = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} = \sqrt{(-33 \text{ kN})^2 + (-22 \text{ kN})^2} = 39,7 \text{ kN}$$

$$\alpha_C = \arctan \frac{F_{Cy}}{F_{Cx}} = \arctan \frac{-22 \text{ kN}}{-33 \text{ kN}} = 33,7^\circ$$

$\alpha_C = 33,7^\circ$ nach links unten gegen die negative x-Achse bzw.

$\alpha_C = 213,7^\circ$ gegen die positive x-Achse

$$2.2 \quad M_b = |-F_{G4} \cdot (l_6 - l_5)| = 11 \text{ kN} \cdot (1500 - 500) \text{ mm} = 11 \text{ kNm}$$

$$2.3 \quad R_e = 275 \text{ N/mm}^2 \text{ (aus der Bezeichnung oder } \rightarrow \text{ [EuroTabM] „Baustähle, unlegierte“)}$$

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e \text{ (} \rightarrow \text{ [EuroTabM] „Biegebeanspruchung“)}$$

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e = 1,2 \cdot 275 \text{ N/mm}^2 = 330 \text{ N/mm}^2$$

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

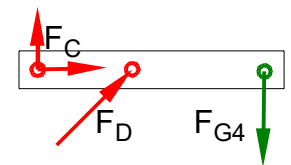
$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{\sqrt{v}} = \frac{330 \text{ N/mm}^2}{3,5} = 94,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{11 \text{ kNm}}{94,3 \text{ N/mm}^2} = 116,7 \text{ cm}^3$$

Gewählt: mittelbreites I-Profil DIN 1025 – S275 – IPE 180

mit $W_x = 146 \text{ cm}^3$

(\rightarrow [EuroTabM] „DIN 1025“ oder „IPE-Träger“)





3 Zylinder und Zylinderbefestigungen

3.1 Berechnung des Kolbendurchmessers d_1

$$\eta \cdot p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{\text{lerf}} = \frac{F}{p \cdot \eta} = \frac{50 \text{ kN}}{150 \text{ bar} \cdot 0,85} = \frac{50000 \text{ N}}{150 \cdot 10 \text{ N/cm}^2 \cdot 0,85} = 39,2 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \Rightarrow d_{\text{lerf}} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{\text{lerf}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 39,2 \text{ cm}^2}{\pi}} = 70,7 \text{ mm}$$

Gewählt: Zylinder 3 mit Kolben \varnothing $d_1 = 80 \text{ mm}$ und Kolbenstangen \varnothing $d_2 = 56 \text{ mm}$.

Kontrolle der Druckspannung:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (80 \text{ mm})^2 = 5026 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A_1 = 150 \text{ bar} \cdot 5026 \text{ mm}^2 = 150 \cdot 10 \text{ N/cm}^2 \cdot 50,3 \text{ cm}^2 = 75,4 \text{ kN}$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (56 \text{ mm})^2 = 2463 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{zul}} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq \sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{75,4 \text{ kN}}{2463 \text{ mm}^2} = 30,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Die zulässige Druckspannung wird nicht überschritten.

Die Kraft wurde ohne den Wirkungsgrad berechnet, da nicht bekannt ist, wie viel von ihm auf die Kolbenstange entfällt. Ohne Wirkungsgrad liegt man auf der sicheren Seite.

3.2 Erforderlicher Durchmesser gegen Flächenpressung

$$p_{\text{zul}} > p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{\text{erf}} = \frac{F}{p_{\text{zul}}} = \frac{75,4 \text{ kN}}{60 \text{ N/mm}^2} = 1256,5 \text{ mm}^2$$

$$A = d \cdot s \Rightarrow d_{\text{erf}} = \frac{A}{s} = \frac{1256,5 \text{ mm}^2}{40 \text{ mm}} = 31,4 \text{ mm}$$

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren

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

$R_e = 340 \text{ N/mm}^2$ (C60 \rightarrow [EuroTabM] „Vergütungsstähle“)

$$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 340 \text{ N/mm}^2 = 204 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_{aF}}{V} = \tau_{\text{azul}} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\tau_{\text{azul}} = \frac{\tau_{aF}}{V} = \frac{204 \text{ N/mm}^2}{4} = 51 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{\text{erf}} = \frac{F}{2 \cdot \tau_{\text{azul}}} = \frac{75,4 \text{ kN}}{2 \cdot 51 \text{ N/mm}^2} = 739,2 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d_{\text{erf}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 739,2 \text{ mm}^2}{\pi}} = 30,6 \text{ mm}$$

Maßgeblich ist der größere Durchmesser, gewählt wird $d = 40 \text{ mm}$.

3.3 Die Nennlänge eines Bolzen mit Kopf setzt sich zusammen aus: Gesamtbreite der Befestigungsgabel + l_e + $d_1 / 2$.

3.4 Für den notwendigen Durchmesser sind in gängigen Tabellenbüchern keine Werte enthalten, deshalb erstelle ich eine Lösung für $d = 24 \text{ mm}$.

Da die Befestigungsgabel aus dem gleichen Werkstoff wie die Zylinderlasche gefertigt ist, müssen ihre Laschen die gleiche Gesamtbreite 40 mm haben.

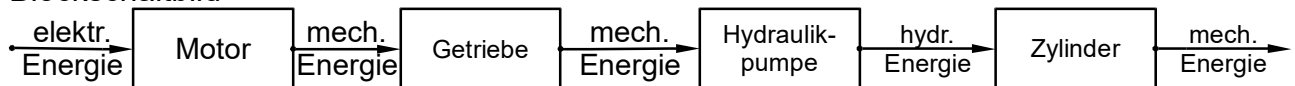
$$l_{\text{min}} = 2 \cdot 40 \text{ mm} + l_e + \frac{d_1}{2} = 80 \text{ mm} + 9 + \frac{6,3 \text{ mm}}{2} = 62,15 \text{ mm}$$

Gewählt: $l = 65 \text{ mm}$



4 Antrieb der Hydraulikpumpe

4.1 Blockschaltbild



Wirkungsgrad

$$\eta_{ges} = \eta_M \cdot \eta_G \cdot \eta_H \cdot \eta_Z = 0,91 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,85 = 0,626$$

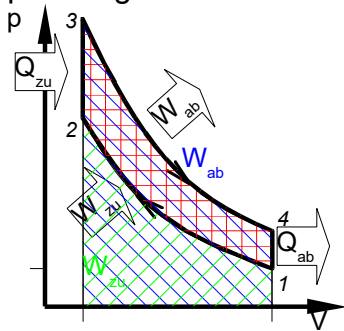
Blockschaltbild und Wirkungsgrad

$$4.2 \quad P_{ab} = F_D \cdot v = 50 \text{ kN} \cdot 30 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 1,5 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_M = \frac{P_{ab}}{\eta_{ges}} = \frac{1500 \text{ W}}{0,626} = 2,4 \text{ kW}$$

5 Verbrennungsmotor als Antrieb

5.1 p-V-Diagramm eines Ottomotors



5.2 siehe oben

$$5.3 \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1005 \text{ J/kgK}}{718 \text{ J/kgK}} = 1,40$$

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} \Rightarrow p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa} = 0,9 \text{ bar} \cdot \left(\frac{9}{1}\right)^{1,40} = 19,5 \text{ bar}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} = (273 + 20) \text{ K} \cdot \left(\frac{9}{1}\right)^{1,40-1} = 706 \text{ K}$$

$$t_2 = (T_2 - 273 \text{ K}) \cdot \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{K}} = (706 \text{ K} - 273 \text{ K}) \cdot \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{K}} = 433 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Statik (14 P): Freimachen mit geg. Baugruppe; Achskräfte; Kippen; Auswirkung einer Maßveränderung; Kräfte;

Festigkeit (12 P): M_{bmax} ; Doppel-T-Träger auf Biegung; Bolzendurchmesser gegen Abscheren und Flächenpressung; Bolzenlänge; ;

SPS (4 P): Zylinder auswählen;

Getriebe (4 P):

Energie (6 P): p, V-Diagramm; Zustandsänderungen