

Fachhochschule Münster

Abteilung Steinfurt

Fachbereich Maschinenbau

Prof. Dr. R. Ullrich

Übungen zur Vorlesung

Kolben-, Kraft- und

Arbeitsmaschinen

Vorbemerkungen:

Die vorliegende Aufgabensammlung ist zum Gebrauch für die Übungen zur Vorlesung "Kolben-, Kraft- und Arbeitsmaschinen" im Fachbereich Maschinenbau der Fachhochschule Münster gedacht. Die Übungsaufgaben sollten durch den Studenten im Zusammenhang mit den jeweiligem Vorlesungsstoff möglichst vor der Besprechung in der Übungen durchgearbeitet und bei Bedarf aufgrund von Nachfragen ergänzt oder auch korrigiert werden. Bei Fragen wird empfohlen, zunächst selbständig mit Hilfe einiger in Literaturverzeichnis zur Vorlesung genannter Lehrbücher die Lösung zu finden.

Für etwaige Fehler oder Mängel wird keine Haftung übernommen.

Der Autor dankt dem vorigen Leiter des Motorenlabors, Herrn Prof. Dr. Wrona, für die Überlassung seiner Übungs- und Praktikumsunterlagen, die z.T. in diese Aufgabensammlung eingearbeitet wurden. Ebenso wird unserem Laboringenieur, Herrn Dipl.-Ing. R. Schönfeld, für seine Unterstützung gedankt.

Rudolf Ullrich

Zur Beachtung:

Alle Nutzungs- und Urheberrechte liegen beim Autor. Vervielfältigung des Gesamtinhalts oder von Teilen dieser Aufgabensammlung ist nur mit Genehmigung des Autors zulässig.

1. Aufgabe

Für eine *Kolbenmaschine* ist die Beziehung zur Berechnung der Winkelgeschwindigkeit w als Funktion der Drehzahl n aufzustellen

1. als physikalische Größengleichung und
2. als dimensionsbehaftete Zahlenwertgleichung mit w in s^{-1} und n in min^{-1}

2. Aufgabe

Leiten Sie die Formel für die Wellenleistung P ab, und stellen Sie diese dar

1. als physikalische Größengleichung in Form einer Funktion $P(M, w)$ und
2. als dimensionsbehaftete Zahlenwertgleichung in Form einer Funktion $P(M, n)$ mit P in kW, M in Nm und n in min^{-1} !

3. Aufgabe

Ein 4-Takt-Dieselmotor hat während seines Arbeitstaktes im betreffenden Zylinder einen momentanen Druck von 60 bar. Die Zylinderbohrung beträgt $d = 125$ mm.

1. Wie groß ist die während einer Kolbenbewegung von 1 mm an den Kolben reversibel abgegebene Gasarbeit, wenn der Druck während dieser kleinen Kolbenbewegung als konstant angesehen werden kann?
2. Wie groß ist dabei die erreichte Volumenvergrößerung ΔV ?

4. Aufgabe

Bei einer Kolbenpumpe wird Wasser mit einem Druck von 8 bar während des Kolbenhubes $s = 40$ mm aus dem Zylinder ausgeschoben.

1. Berechne die Ausschiebearbeit Δw_i , die der Kolben an das Wasser abgibt, wenn der Kolbendurchmesser $d = 60$ mm beträgt.
2. Wie lange dauert der Ausschiebevorgang, wenn die Pumpe mit einer Drehzahl $n = 200$ min^{-1} läuft ?
3. Wie groß ist die Ausschiebeleistung ?

5. Aufgabe

Leiten Sie die Formel für die mittlere Kolbengeschwindigkeit bei Kubkolbenmaschinen ab, und stellen Sie diese dar

1. als physikalische Größengleichung in Form einer Funktion $v_m(s,n)$ und
2. als dimensionsbehaftete Zahlenwertgleichung mit v_m in m/s, s in mm und n in min^{-1} !

6. Aufgabe

Ein Vierzylinder-4-Takt-Ottomotor eines Kfz hat folgende Daten :

$$d = 80 \text{ mm} ; s = 75 \text{ mm} ; \varepsilon = 8,2 : 1 ; n = 5800 \text{ min}^{-1} .$$

Zu berechnen sind

1. V_h und V_H
2. $v_m(s,n)$ und s/d
3. die Größen p_c und t_c am Ende der Verdichtung bei einem Polytropenexponenten $n_{\text{ex}} = 1,38$, einem Anfangsdruck $p_{1,\text{abs}} = 0,98 \text{ bar}$ und einer Anfangstemperatur $t_1 = 80^\circ\text{C}$.

7. Aufgabe

Bei der Indizierung einer 1-Zylinder-Kolben-Wasserpumpe ergab sich für die umschlossene Fläche im (p,v) -Diagramm eine Größe von $A_D = 5114,3 \text{ cm}^2$.
Der Druckmaßstab war $f_D = 5 \text{ mm/bar}$ und der Volumenmaßstab $f_V = 10 \text{ mm/cm}^3$.

1. Wie groß ist die vom Kolben pro Arbeitsspiel an die Förderflüssigkeit abgegebene Arbeit w_i ?
2. Wie groß ist die vom Kolben abgegebene Leistung P_i ?

Gegeben : $n = 125 \text{ min}^{-1}$.

8. Aufgabe

Beim Indizieren eines 4-Zylinder-Kolbenverdichters wurde an *einem* Zylinder als umschlossene Fläche im (p,v)-Diagramm $A_D = 455 \text{ mm}^2$ ermittelt.

Der Druckmaßstab war $f_D = 2 \text{ mm/bar}$ und der Volumenmaßstab $f_V = 5 \text{ mm/dm}^3$.

1. Wie groß ist die von *einem* Kolben pro Arbeitsspiel an das Fördermedium abgegebene Arbeit $w_{i,1}$?
2. Wie groß ist die vom gesamten Verdichter abgegebene Leistung P_i ?
3. Wie groß ist die Kupplungsleistung P , wenn das Arbeitsmoment $M=3200\text{Nm}$ ist ?
4. Wie groß ist der mechanische Wirkungsgrad des Verdichters ?

Gegeben : $n = 1000 \text{ min}^{-1}$.

9. Aufgabe

Dimensionieren Sie den 4 Zylinder 4-Takt-Ottomotor eines KfZ für eine effektive Leistung $P_e = 44 \text{ kW}$ bei $n = 5800 \text{ min}^{-1}$ und bei folgenden Richtwerten :

$$v_m = 14 \text{ m/s} ; \quad s/d = 0,98; \quad P_e / z = 11 \text{ kW} .$$

Zu berechnen sind :

1. die Leistung eines Zylinders
2. die geometrischen Größen d , s , V_h , V_H
3. die Literleistung, d.h. die effektive Leistung pro Liter Hubraum
4. das Drehmoment M

10. Aufgabe

Für einen Ottomotor mit $\varepsilon=8:1$ und einen Dieselmotor mit $\varepsilon=17:1$ sind für einen Polytropenexponenten $n=1,36$ die Verdichtungsdrücke p_c und die zugehörigen Temperaturen t_c zu bestimmen.

$$\text{Gegeben : } t_1 = 80^\circ\text{C} , p_{1,\text{abs}} = 0,980 \text{ bar .}$$

11. Aufgabe

Bei einem einstufigen Kolbenverdichter zur Verdichtung von Luft sind folgende Daten gegeben :

$$p_{1,\text{abs}} = 1 \text{ bar; } \quad p_{2,\text{abs}} = 8 \text{ bar; } \quad t_1 = 20^\circ\text{C; } \quad n = 1,35 .$$

1. Wie groß ist die Temperatur t_2 am Ende der Verdichtung ?
2. Wie groß wäre die Temperatur t_2 am Ende einer adiabaten Verdichtung mit $\kappa=1,4$?
3. Wie groß ist das Volumenverhältnis V_2 / V_1 für polytrope ($n=1,35$), für adiabate ($n=\kappa=1,4$) und für isotherme Verdichtung ($n=1$) ?

12. Aufgabe

Ein 6-Zylinder-Viertakt-Ottomotor mit den Daten

$$d = 86 \text{ mm} , \quad s = 71,6 \text{ mm} \quad \text{und} \quad n_0 = 5800 \text{ min}^{-1}$$

wurde bei Vollast und bei Nenndrehzahl n_0 an *einem* Zylinder indiziert. Hierbei ergaben sich folgende Ergebnisse:

$$\text{Hochdruck-Diagrammfläche } A_{\text{HD}} = 1700 \text{ mm}^2 ,$$

$$\text{Niederdruck-Diagrammfläche } A_{\text{ND}} = 380 \text{ mm}^2 ,$$

$$\text{Diagrammlänge } l_{\text{D}} = 60 \text{ mm} , \quad \text{Druckmaßstab } f_{\text{D}} = 2 \text{ mm/bar} .$$

1. Wie groß ist die wirksame Diagrammfläche A_w , die der inneren Kolbenarbeit pro Zylinder entspricht ?
2. Wie groß ist der indizierte (innere) Mitteldruck p_i ?
3. Wie groß ist die indizierte Arbeit w_i pro Arbeitsspiel und Zylinder ?
4. Wie groß ist die Leistung P_i des gesamten Motors ?
5. Wie groß werden P_e und p_e bei einem mech. Wirkungsgrad $\eta_m = 0,8$?
6. Wie groß sind dann die Reibungsleistung P_r und der Reibungsdruckverlust Δp_r ?

13. Aufgabe

Ein 4-Zylinder-Fahrzeug-Ottomotor hat folgende Daten :

$$d = 69,5 \text{ mm}; \quad s = 59 \text{ mm}; \quad P_{e,\text{nenn}} = 29 \text{ kW} \quad \text{bei} \quad n_0 = 5900 \text{ min}^{-1};$$
$$M_{\text{max}} = 62 \text{ Nm} \quad \text{bei} \quad n_{M_{\text{max}}} = 3500 \text{ min}^{-1}.$$

1. Wie groß ist das Hubvolumen V_H ?
2. Wie groß ist der effektive Mitteldruck $p_{e,\text{nenn}}$ bei Nennleistung ?
3. Wie groß ist der effektive Mitteldruck $p_{e,\text{max}}$ bei maximalem Drehmoment ?
4. Wie groß ist das Drehmoment M_{nenn} bei Nennleistung und die Drehmomentüberhöhung $\delta = (M_{\text{max}} / M_{\text{nenn}}) - 1$?

14. Aufgabe

Der Viertakt-Ottomotor aus Aufgabe 13 wurde auf dem Prüfstand vermessen. Es ergaben sich folgende Meßwerte :

$$M = 47 \text{ Nm} \quad \text{bei} \quad n = 5900 \text{ min}^{-1} ;$$

$$\text{Stoppzeit für } 150 \text{ cm}^3 \text{ verbrauchten Kraftstoff : } z_{\text{Kr}} = 41,5 \text{ s} ;$$

$$\text{Dichte und Heizwert des Kraftstoffs : } \rho_{\text{Kr}} = 0,73 \text{ kg/l} ; H_u = 43 \text{ MJ/kg} .$$

1. Wie groß sind P_e , B , b_e und η_e ?
2. Wieviel Liter Benzin verbraucht ein Fahrzeug auf 100 km mit obigem Motor bei obiger Leistung, wenn es mit ihr eine Geschwindigkeit von 140 km/h erreicht ?

15. Aufgabe

Ein V8-Viertakt-Ottomotor mit $d = 97 \text{ mm}$, $s = 78,9 \text{ mm}$ hat eine Nennleistung $P_{e,\text{nenn}} = 221 \text{ kW}$ bei $n_0 = 5900 \text{ min}^{-1}$ und ein maximales Drehmoment $M_{\text{max}} = 385 \text{ Nm}$ bei $n_{M\text{max}} = 4500 \text{ min}^{-1}$.

1. Wie groß sind der Mitteldruck $p_{e,\text{nenn}}$ und das Drehmoment M_{nenn} bei Nennleistung ?
2. Wie groß ist der Mitteldruck $p_{e,\text{max}}$?
3. Wie groß ist die Drehmomentüberhöhung $\delta = (M_{\text{max}} / M_{\text{nenn}}) - 1$?
4. Welches Drehmoment und welcher Mitteldruck ergeben sich, wenn die Leistung des maximalen Drehmoments bei Nenndrehzahl n_0 gefahren wird ? Welcher Teillast entspricht das ?

16. Aufgabe

Ein 4-Takt-Fahrzeugdieselmotor hat folgende Daten:

$$s = 92,4 \text{ mm}, \quad l_p = 149 \text{ mm}, \quad n_0 = 4200 \text{ U/min.}$$

- a) In Abhängigkeit vom Kurbelwinkel α sind die Verläufe $s_K = f(\alpha)$, $v_K = f(\alpha)$ und $a_K = f(\alpha)$ zu berechnen und zeichnerisch darzustellen.
- b) Von v_K und a_K sind die Nullstellen ($a_K = 0 = r \cdot \omega^2 (\cos \alpha + \lambda_{p1} \cdot \cos 2\alpha)$; $\cos 2\alpha = 2 \cdot \cos^2 \alpha - 1$) und die Lage und Größe der Extremwerte zu bestimmen.
(Siehe Tabellenwerte auf den Hilfsblättern)

Lösung zu b) (für $\lambda=0,31$, genauere Interpolationswerte oder Berechnungen führen zu Abweichungen)

Nullstellen von v_K : Im OT und UT, d.h. bei $\alpha = 0^\circ$ KW und bei $\alpha = 180^\circ$ KW ;

Nullstellen von a_K : Bei $\alpha_{01} = 74,57^\circ$ KW und $\alpha_{02} = 285,43^\circ$ KW ;

Extrema von v_K bei $\alpha_{01} = 74,57^\circ$ KW : $v_{K\max} = +21,2 \text{ m/s}$
und bei $\alpha_{02} = 285,43^\circ$ KW : $v_{K\min} = -21,2 \text{ m/s}$.

Extrema von a_K bei 0° KW (OT) : $a_{K\max} = 11708,5 \text{ m/s}^{-2}$,
bei $\alpha_1 = 143,75^\circ$ KW und $\alpha_2 = 216,25^\circ$ KW : $a_{K\min} = -6374,18 \text{ m/s}^{-2}$,
bei 180° KW (UT) : $a_{kUT} = -6166,62 \text{ m/s}^{-2}$.

17. Aufgabe

Bei einem Ottomotor setzt die Zündung bei $\alpha = 25^\circ$ KW vor OT ein. Druck und Temperatur am Anfang der Verdichtung betragen:

$$p_1 = 0,98 \text{ bar}, \quad t_1 = 80^\circ \text{ C} \quad (d = 75 \text{ mm}, s = 73,5 \text{ mm}, \varepsilon = 8,2 : 1, \lambda_{PL} = 0,27)$$

- Wie groß sind bei Zündeinsatz Druck und Temperatur der Zylinderfüllung, wenn für die Verdichtung ein Polytropenexponent von $n = 1,38$ angenommen wird ?
- Wie groß werden bei gleichem n wie bei a) p_c und t_c ?
- Geben Sie eine möglichst einfache Formel an, durch die das während der Kolbenbewegung bei der Verdichtung „momentane“ Verdichtungsverhältnis ε_x aus dem jeweiligen Kurbelwinkel berechnet werden kann.

Lösung: a) $p_x = 10,98 \text{ bar}$, $t_x = 413,6^\circ \text{ C}$, b) $p_c = 17,88 \text{ bar}$, $t_c = 512,3^\circ \text{ C}$.

c)

$$e_x = \frac{e}{1 + \frac{1}{2}(1 - \cos a + \frac{l_{PL}}{2} \times \sin^2 a) (e - 1)} \quad \left| \quad e = \frac{V_h + V_c}{V_c} \right.$$

18. Aufgabe

Im Zylinder eines 4-Takt-Dieselmotors mit $d = 125 \text{ mm}$, $s = 130 \text{ mm}$ herrscht während des Arbeitstaktes beim Ausdehnen des Gases ein (momentaner) Druck im Zylinder von $p_G = 60 \text{ bar}$, bei einem Kurbelwinkel von $\alpha = 30^\circ$ KW nach OT. Die Drehzahl beträgt $n = 2500 \text{ U/min}$. Die Pleuelstangenlänge ist $l_p = 251 \text{ mm}$, die gesamte Pleuelmasse $m_p = 3 \text{ kg}$ und die gesamte Kolbenmasse ist $m_{Koges} = 3,5 \text{ kg}$.

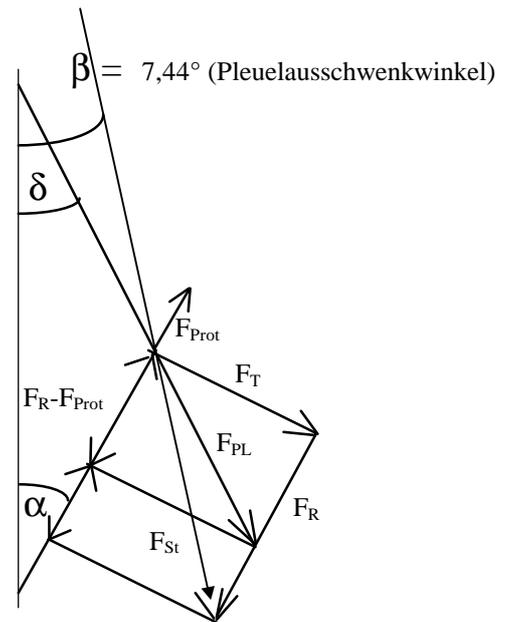
- Wie groß ist die augenblickliche Gaskraft F_G ?
- Wie groß ist die transl. Massenkraft F_{mtr} ?
- Welchen Wert hat die resultierende Kolbenkraft F_K ?
- Wie groß ist die Kolbenseitenkraft F_N ?
- Wie groß ist die Pleuelstangenkraft F_{st} ?

- f) Wie groß werden die Komponenten der Stangenkraft in tangentialer und radialer Richtung F_T und F_R ?
- g) Welches augenblickliche Drehmoment ergibt sich ?
- h) Wie groß wird die Pleuellagerkraft nach Größe und Richtung ?

Lösung:

- a) $F_G = 73,63 \text{ kN}$
 b) $F_{mtr} = -19,96 \text{ kN}$
 c) $F_K = 53,67 \text{ kN}$
 d) $F_N = 7,0 \text{ kN}$
 e) $F_{St} = 54,125 \text{ kN}$
 f) $F_T = 32,9 \text{ kN}$, $F_R = 42,97 \text{ kN}$
 g) $M_\alpha = 2138,5 \text{ Nm}$
 h) $F_{Pl} = 47,35 \text{ kN}$, $\delta = 14^\circ$

Anmerkung: Bei allen Kräften sind auch die Richtungen zu überlegen!

**19. Aufgabe**

Berechne die maximalen Durchbiegung und Ovalverformung eines Kolbenbolzens in einem abgasturboaufgeladenem Fahrzeugdieselmotor. Die Berechnung wird nach Föppl & Schlaefke bei Wirkung des maximalen Zünddruckes $p_{max} = 120 \text{ bar}$ durchgeführt.

Gegeben:

$$d = 125 \text{ mm}, \quad c = 44 \text{ mm}, \quad b = 38 \text{ mm}, \quad l = 97 \text{ mm},$$

$$d_a = 47 \text{ mm}, \quad d_i = 22 \text{ mm}.$$

Maximale Durchbiegung in Bolzenmitte:

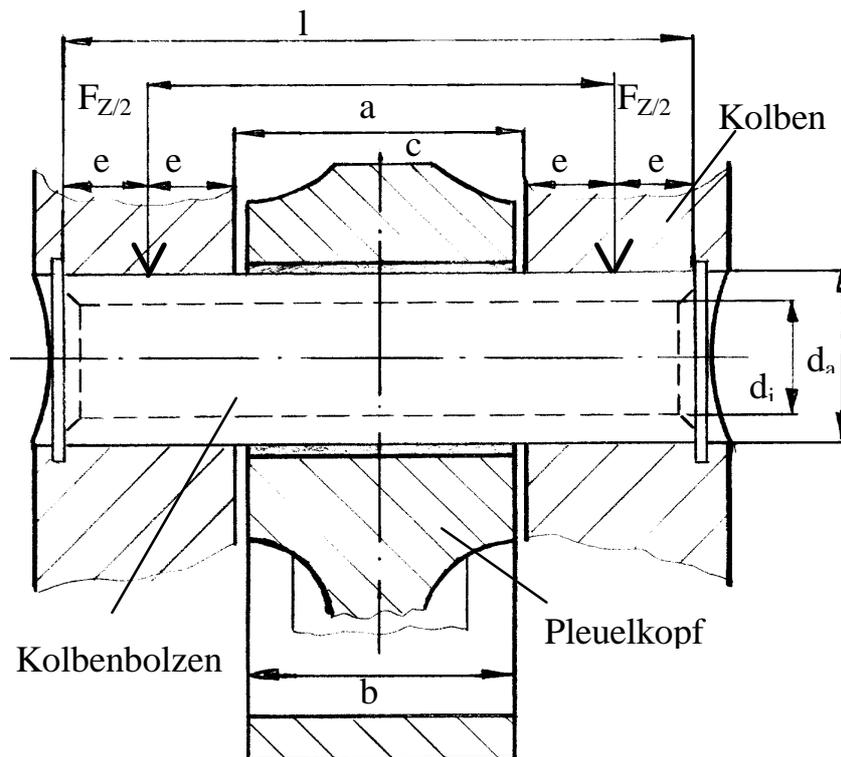
$$f = g \cdot \frac{F_Z \cdot a^3}{48 \cdot E \cdot I_{AQ}}$$

Es bedeuten: $F_Z = p_{\max} \cdot A_k =$ maximale Zündkraft

$I_{AQ} = \pi/64(d_a^4 - d_i^4) =$ axiales Trägheitsmoment des Bolzenquerschnittes

$E =$ Elastizitätsmodul für den Kolbenbolzen (Stahl)

$\gamma = 1 - b / (2a) =$ Lastverteilungsfaktor, berücksichtigt deren Gleichmäßigkeit im Pleuellager.



Ovalverformung:

Der Durchmesser des Kolbenbolzens nimmt unter der Last senkrecht zur Last-richtung um Δd zu. Der Wert Δd_{zul} darf nicht überschritten werden, damit die Kolben-nabe nicht gesprengt wird.

Nach Schlaefke gilt:

$$\Delta d = \frac{1}{12} \times \frac{F_Z \cdot r^3}{E \cdot I_L} \leq \Delta d_{zul}$$

Dabei ist

der mittlere Bolzenradius : $r = 0,25 \cdot (d_a + d_i)$

und das Flächenträgheitsmoment des auf Biegung beanspruchten Rohrlängsquerschnitts

$$I_L = L/12 \cdot ((d_a - d_i)/2)^3$$

Nach Kuhm, Fa. Karl Schmidt, Neckarsulm, werden die zulässigen Werte für Durchbiegung und Ovalverformung wie folgt berechnet:

$$f_{zul} = 15 \cdot 10^{-5} \cdot d \quad \text{und} \quad \Delta d_{zul} = 25 \cdot 10^{-5} \cdot (100 + 0,5 \cdot (d - 100)) \text{ [mm]}$$

(d ist der Zylinderdurchmesser in [mm])

20. Aufgabe

Im Zylinder eines 4-Takt-Dieselmotors mit $d = 125 \text{ mm}$, $s = 130 \text{ mm}$ herrscht bei einem Kurbelwinkel von $\alpha = 100^\circ$ KW nach OT beim Ausdehnen des Gases während des Arbeitstaktes im Zylinder ein (momentaner) Druck von $p_G = 4 \text{ bar}$. Die Drehzahl beträgt $n = 2500 \text{ U/min}$. Die Pleuelstangenlänge ist $l_p = 251 \text{ mm}$, die gesamte Pleuelmasse $m_p = 3 \text{ kg}$ und die gesamte Kolbenmasse ist $m_{K_{\text{oges}}} = 3,5 \text{ kg}$.

- a) Wie groß ist die augenblickliche Gaskraft F_G ?
- b) Wie groß ist die transl. Massenkraft F_{mtr} ?
- c) Welchen Wert hat die resultierende Kolbenkraft F_K ?
- d) Wie groß ist die Kolbenseitenkraft F_N ?
- e) Wie groß ist die Pleuelstangenkraft F_{St} ?
- f) Wie groß werden die Komponenten der Stangenkraft in tangentialer und radialer Richtung F_T und F_R und das augenblickliche Moment M_α ?
- g) Wie groß wird die Pleuellagerkraft F_{Pl} nach Größe und Richtung ?

Diese Aufgabe entspricht der Aufgabe 18 bei geändertem Kurbelwinkel ($>90^\circ$).
Achten Sie besonders auf die Richtungen der einzelnen Kräfte (Skizze !)

Lösungen :

- zu c) Kolbenkraft $F_K = 13,269 \text{ kN}$
 (Gas- und Massenkraft sind beide positiv !)
- zu e) Pleuelstangenkraft $F_{St} = 13,723 \text{ kN}$
- zu f) Komponente der Stangenkraft in radialer Richtung ist
 in diesem Fall nach außen gerichtet (wie $F_{pl,rot}$)
 $F_R = -5,751 \text{ kN} !$
- zu g) Pleuellagerkraft $F_{pl} = 19,24 \text{ kN}$ in Richtung $\delta = 39,64^\circ$

21. Aufgabe

Für die Pleuellagerkraft eines 4-Zylinder-4-Takt-Reihenmotors sind die Gegengewichte zu dimensionieren, wenn durch diese alle rotatorischen Massenkräfte an jeder Kröpfung ausgeglichen werden sollen. Dabei soll in Verlängerung jeder Pleuellagerkraft ein gleich großes Gegengewicht vorgesehen werden, also 2 Gegengewichte pro Kröpfung.

Gegeben:

- gesamte Pleuelmasse : $m_p = 1 \text{ kg} ;$
- rotatorische Umwucht einer
 Kröpfung der Pleuellagerkraft : $m_{Ku,rot} = 1 \text{ kg}$
 (bezogen auf den Pleuellagerradius $r = 35 \text{ mm}$) .

- a) Wie groß müssen die Gegengewichte für den Fall werden, wenn ihr Schwerpunktradius gleich dem Pleuellagerradius ist ?
- b) Wie groß müssen die Gegengewichte für den Fall werden, wenn ihr Schwerpunktradius gleich 33 mm ist ?

Anmerkung:

Obige Pleuellagerkraft ist auch ohne Gegengewichte rotatorisch ausgeglichen, weil sie jeweils 2 um 180° versetzte Kröpfungen hat. Um aber die in der Pleuellagerkraft auftretenden Biegemomente zu verringern und um die Pleuellagerkraft zu entlasten, werden dennoch in der beschriebenen Weise Gegengewichte vorgesehen.

22. Aufgabe

Für die Kurbelwelle der vorigen Aufgabe (4-Zylinder-4-Takt-Reihenmotor) ist für das Kurbelwellen-Hauptlager zwischen den Zylindern 1 und 2 die Hauptlagerkraft nach Größe und Richtung für den maximalen Zünddruck in Zylinder 1 (bei $\alpha = 15^\circ$ nach OT) zu berechnen. Dabei sollen alle rotatorischen Umwuchten ausgeglichen sein.

In Ergänzung zu den Daten von Aufgabe 21 ist folgendes gegeben:

maximaler Zünddruck für Zyl. 1 : $p_{\max} = 42 \text{ bar}$; (Gasdruck für Zyl. 2 vernachlässigbar)

$\lambda_{p1} = 0,3$; $m_{K0,ges} = 0,6 \text{ kg}$; $n = 5500 \text{ U/min}$; $d = 80 \text{ mm}$.

23. Aufgabe

Die Kurbelwelle eines 5-Zylinder-4-Takt-Reihenmotors ist 6-fach gelagert und hat 5 Kröpfungen in 5 Ebenen. Ihre rotatorischen Massenkräfte sind durch Gegengewichte vollständig ausgeglichen. Der Motor hat die übliche Zündfolge 1-2-4-5-3 mit gleichmäßigem Zündabstand.

Für das Kurbelwellen-Hauptlager zwischen den Zylindern 1 und 2 ist die Hauptlagerkraft nach Größe und Richtung zu berechnen.

Folgende Daten sind gegeben:

$\varepsilon = 21,5 : 1$; Polytrophenexponent $n_{ex} = 1,38$;

Gasdruck für Zyl. 1 : $p_{G,1} = 6 \text{ bar}$ bei Kurbelstellung $\alpha_1 = 120^\circ$ nach Zünd-OT ;

Anfangsdruck der Verdichtung für alle Zylinder : $p_{abs,anf} = 1 \text{ bar}$;

$\lambda_{p1} = 0,31$; $m_{K0,ges} = 0,52 \text{ kg}$; $m_{p1} = 0,75 \text{ kg}$;

$n = 4200 \text{ U/min}$; $d = 90,4 \text{ mm}$; $s = 92,4 \text{ mm}$.

24. Aufgabe

Für einen 4-Zylinder-4-Takt-Reihenmotor mit üblichem Zündabstand und üblicher Zündfolge ist das momentane Drehmoment zu berechnen, welches in die 4 Kröpfungen der Kurbelwelle eingeleitet wird, wenn Zylinder 1 am Arbeitsende bei $\alpha_1 = 135^\circ$ nach Zünd-OT steht und in ihm ein Druck $p_{G,1} = 3$ bar vorhanden ist.

In Ergänzung zu den Daten ist folgendes gegeben:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 10 : 1 ; & m_{PI} &= 0,6 \text{ kg} ; & \lambda_{PI} &= 0,28 ; \\ m_{Ko,ges} &= 0,35 \text{ kg} ; & n &= 6000 \text{ U/min} ; & d &= 80 \text{ mm} ; & s &= 75 \text{ mm} . \end{aligned}$$

Einzelschritte der Aufgabe:

- Skizzieren Sie die Kurbelwelle mit Bezeichnung der Zylinder und Angabe der Zündfolge !
- Berechnen Sie das momentane Drehmoment !
- Skizzieren Sie für den Motor den Drehmomentenverlauf über dem Kurbelwinkel α ! Warum wurde $\alpha = 135^\circ$ gewählt ?

25. Aufgabe

An einem Kolbenverdichter mit $d = 140$ mm Kolbendurchmesser, $s = 210$ mm Hub und einer Drehzahl von $n = 1450 \text{ min}^{-1} = 24,17 \text{ s}^{-1}$ wurde mit Hilfe eines Indikators ein mittlerer Druck $p_i = 3,432327 \text{ bar} = 343232,7 \text{ N/m}^2$ gemessen.

Wie groß ist die Kupplungsleistung P_K , wenn der mechanische Wirkungsgrad $\eta_m = 0,93$ beträgt?

26. Aufgabe

Ein Kompressor fördert $\dot{m}_k = 25 \text{ kg/h}$ Luft von 28°C über einen nachgeschalteten Kühler in einen Windkessel mit $V_W = 4 \text{ m}^3$. Der Windkessel, in dem die Temperatur konstant bleibt, beliefert einen Verbraucher, der stündlich $V_V = 5 \text{ m}^3$ Luft mit einem Druck von $p_{\text{abs},V} = 3 \text{ bar}$ benötigt. In der Zuleitung vom Windkessel zum Verbraucher erfolgt eine Abkühlung der Luft von 28°C auf 20°C .

Der Kompressor wird druckabhängig ein- bzw. ausgeschaltet. Die Einschaltung erfolgt bei $p_{\text{abs},2} = 3,5 \text{ bar}$, die Ausschaltung bei $p_{\text{abs},1} = 8 \text{ bar}$.

Wie groß ist die Stillstandszeit t_s und die Laufzeit t_1 des Kompressors ?

Gegeben: $R_L = 287 \text{ J/(kgK)}$