

Grundlagen der Fahrzeugantriebe / Verbrennungsmotoren

Modulprüfung

8.10.2019

Name, Vorname

Matrikel-Nr.

Prüfnummer

Unterschrift (Student)

	Punkte Verständnis (max 80 Pkte)	Punkte Berechnung (max. 80 Punkte)		
	(V)	(B) Teil 1	(B) Teil 2	
Erstkorrektor				
Zweitkorrektor				
Datum, Kürzel/ Unterschrift				
Datum, Kürzel/ Unterschrift				

Grundlagen der Fahrzeugantriebe / Verbrennungsmotoren

Berechnungsklausur

Hinweise:

Zusätzlich zu den vorher gegebenen Hinweisen gilt hier im Speziellen:

- Bitte geben Sie alle beschriebenen Blätter zusammen mit den Aufgabenblättern ab.
- Schreiben Sie mit dokumentenechten Stiften (z.B. mit Kugelschreiber, Tintenstift, usw.; kein Bleistift!) und benutzen Sie keinen Rot- oder Grünstift.
- Kennzeichnen Sie alle Blätter mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer.

Beachten Sie, dass die Berechnungsteile unabhängig voneinander lösbar sind.

- Bei unrealistischen Zwischenergebnissen rechnen Sie mit plausiblen Annahmen dieser Werte weiter.
- Eine Temperatur T ist dann hinreichend genau berechnet, wenn sie vom Schätzwert der jeweiligen Iterationsstufe um nicht mehr als 10 K abweicht.
- Fehlende Werte entnehmen Sie bitte dem Vorlesungsmanuskript und den beigefügten Unterlagen.
- Näherungsformeln im Bereich der Triebwerksdynamik sind ausdrücklich zugelassen.
- Beachten Sie die Abbildungen am Ende der Aufgabenstellungen.
- Rückwärtsrechnungen sind ausdrücklich untersagt und werden nicht bewertet!
- Ergebnisse werden nur mit Rechengang bewertet. Hierzu gehören Formel, Formel mitsamt eingesetzter Zahlenwerte, Einheiten und Ergebnis.

Es soll eine thermodynamische und mechanische Analyse eines turboaufgeladenen 4-Takt PKW-Dieselmotors mit Ladeluftkühlung und Hochdruck-Abgasrückführung durchgeführt werden, der nach dem Gleichdruckprozess betrachtet wird. In Abbildung 1 ist der Luftpfad des Motors schematisch dargestellt.

Berücksichtigen Sie bei der Rechnung der Aufgabenteile **a) bis f)** entsprechend eines **vollkommenen Motors** die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazitäten ($c_v = f(T) = A + B \cdot T, R = \text{const.}$). Für den Aufgabenteile **g)** kann der Kreisprozess als **idealer Vorgang** betrachtet werden ($c_v = \text{const.}$). Für alle Aufgabenteile kann Luft als ideales Gas betrachtet werden. In folgender Tabelle sind die Kenngrößen des Motors sowie die zur Berechnung der Aufgaben benötigten Größen angegeben.

Gegebene Größen:

Symbol	Wert	Einheit	Beschreibung
b	81	mm	Zylinderbohrung
h	95,5	mm	Kolbenhub
z	4	-	Zylinderanzahl
ε	16	-	Verdichtungsverhältnis
T_{nV}	100	°C	Temperatur nach Verdichter
η_{LLK}	0,9	-	Wirkungsgrad Ladeluftkühler
$T_{KW,LLK}$	25	°C	Kühlwassertemperatur Ladeluftkühler
T_{AGR}	160	°C	Temperatur des zurückgeführten Abgases
x_{AGR}	30	%	Abgasrückführrate
p_1	1,5	bar	Druck bei Arbeitsspielbeginn
R	292,5	$\frac{J}{kg \cdot K}$	Spezifische Gaskonstante (Frischlufte und Abgas)
A	753,6	$\frac{J}{kg \cdot K}$	Konstante für die Berechnung der spezifischen Wärmekapazität
B	0,228	$\frac{J}{kg \cdot K}$	Konstante für die Berechnung der spezifischen Wärmekapazität
H_u	43 250	$\frac{kJ}{kg}$	Unterer Heizwert von Diesel
$\dot{m}_{B,ges}$	2	$\frac{g}{s}$	Kraftstoffmassenstrom des Motors bei Normalbetrieb
n	2 500	$\frac{1}{min}$	Drehzahl des Motors

Teil 1: BERECHNUNG KREISPROZESS UND LUFTPFAD (49 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Temperatur der Frischluft nach dem Ladeluftkühler. **(2,5 Punkte)**
- b) Nach dem Ladeluftkühler wird der Frischluft gekühltes Abgas (AGR) beigemischt. Berechnen Sie die Temperatur nach der Mischung im Einlasskrümmer unter der Annahme, dass die Wärmekapazität von Abgas und Frischluft gleich sind. **(3,5 Punkte)**
- c) Berechnen Sie zunächst das Hubvolumen des Aggregats. Berechnen Sie anschließend das Zylindervolumen im unteren Totpunkt und die Luftmasse, die sich für den angegebenen Betriebspunkt in einem Zylinder befindet. Gehen Sie davon aus, dass auf dem Weg von der AGR-Beimischung bis zum Brennraum keine Temperaturverluste auftreten. **(7,5 Punkte)**
- d) Bestimmen Sie die Kompressionsendtemperatur T_2 und den Kompressionsenddruck p_2 unter der Annahme eines **vollkommenen Motors**. **(6 Punkte)**
- e) Berechnen Sie die Verbrennungsendtemperatur T_3 unter der Annahme, dass der gesamte Kraftstoff im Punkt 2 in den Brennraum eingebracht wird und isobar verbrennt. **(5,5 Punkte)**
Hinweis: Ersatzwert für die Luftmasse im Zylinder und die Kompressionsendtemperatur, falls Sie diese nicht berechnen konnten: 800 mg bzw. 600 C.
- f) Berechnen Sie die Temperatur T_4 und den Druck p_4 am Ende der Expansion. **(7,5 Punkte)**
Hinweis: Ersatzwert für die Verbrennungsendtemperatur, falls Sie diese nicht berechnen konnten: 1800 K.
- g) Für eine Regeneration eines Partikelfilters muss die Abgastemperatur angehoben werden. Dies soll durch eine späte Nacheinspritzung realisiert werden.
Die Nacheinspritzung soll in Punkt 5 bei 40 °KW nach OT eingebracht und bei konstantem Druck komplett umgesetzt werden. Zur Bestimmung des Volumens in Punkt 5 kann Diagramm 1 verwendet werden. Die Nacheinspritzung soll die Temperatur beim Öffnen des Auslassventils um 200 K anheben. Berechnen sie die hierfür nötige Menge an zusätzlich eingespritztem Kraftstoff. Rechnen Sie in dieser Teilaufgabe mit den Annahmen des **idealen Gases** und bestimmen aus den Temperaturen der Punkte 3 und 4 ein linear gemitteltes $c_{v,mitt}$, $c_{p,mitt}$ und κ_{mitt} . **(16,5 Punkte)**

Annahmen:

Die Masse des mit der Nacheinspritzung zusätzlich eingebrachten Kraftstoffes kann in den Bestimmungen der Zustandsgrößen vernachlässigt werden.

*In dieser Teilaufgabe **darf Rückwärts** im Kreisprozess **gerechnet werden!***

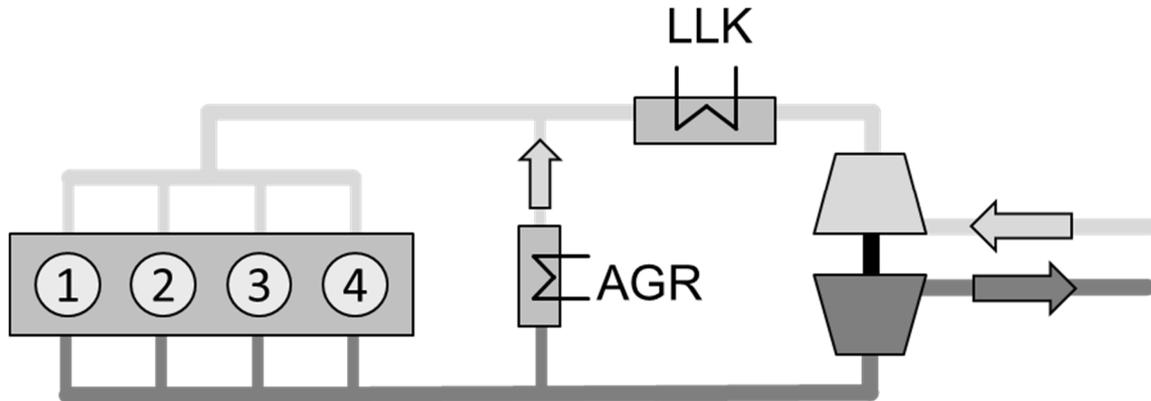


Abbildung 1: schematische Darstellung des Luftpfades

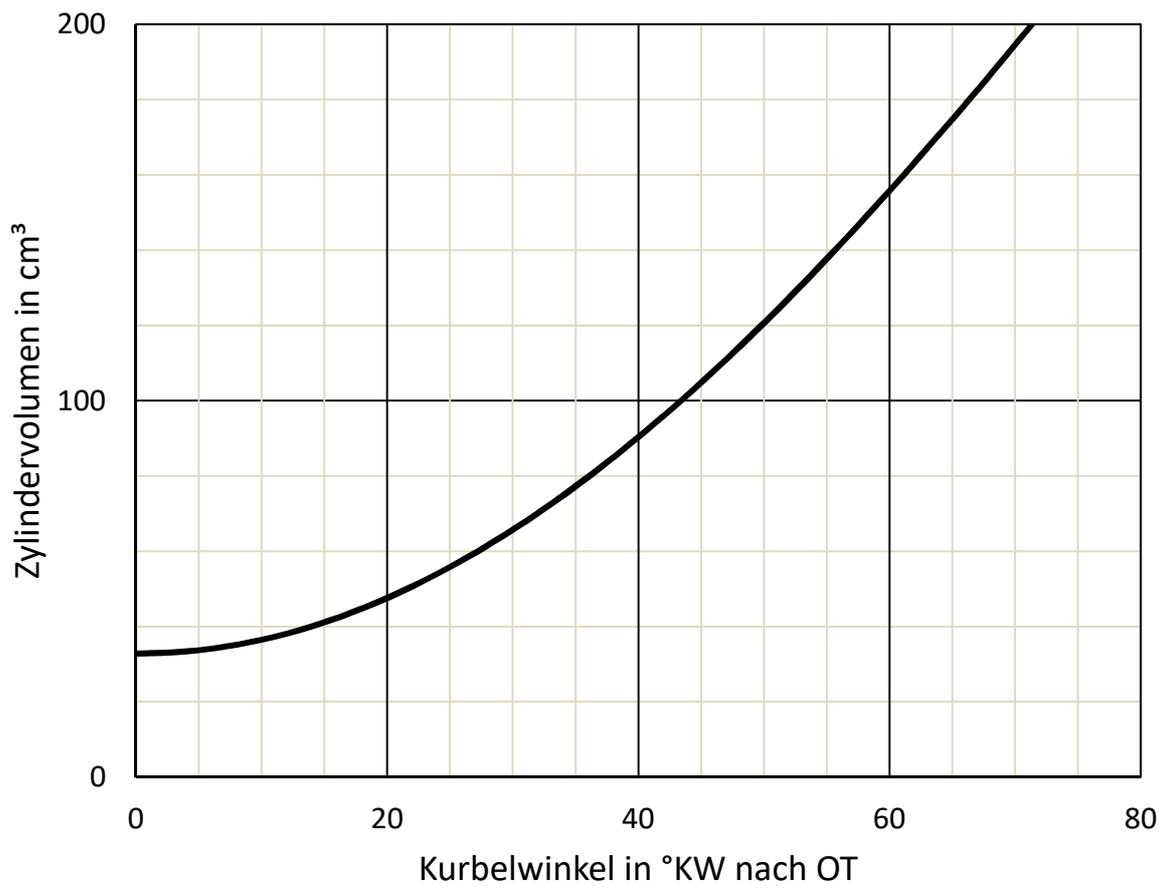


Diagramm 1: Zusammenhang zwischen Kurbelwinkel und Volumen

Teil 2: MOTORMECHANIK (31 Punkte)

Achtung: Für die Berechnungen in Teil 2 wird derselbe Motor wie in Teil 1 betrachtet. Weitere nur für Teil 2 geltende Größen entnehmen Sie bitte untenstehender Tabelle.

Symbol	Wert	Einheit	Beschreibung
l	0.16	m	Pleuellänge
l_{SP}	0.05	m	Schwerpunktstand des Pleuel vom großen Pleuelauge
m_P	2	kg	Pleuelmasse (incl. Lagerschalen und Schrauben)
m_{KW}	7.8	kg	Masse der Pleuelwelle (Anteil für einen Zylinder)
r_{SKW}	0.04	m	Schwerpunktstand der Pleuelwelle von der Drehachse
m_{AGW}	3.7	kg	Masse einer Ausgleichswange
h	0.0955	m	Hub
n	2500	1/min	Drehzahl

- Wie groß ist der rotierende m_{prot} und oszillierende Massenanteil m_{posz} des Pleuels. **(5 Punkte)**
- Wie groß sind die auf den Pleuelradius bezogenen rotierenden Massen m_{Rot} ? **(2,5 Punkte)**
- Wie groß ist das Pleuelstangenverhältnis λ_s ? **(2,5 Punkte)**.
- Wie groß ist Winkelgeschwindigkeit ω und die mittlere Pleuelgeschwindigkeit c_m im angegebenen Betriebspunkt? **(5 Punkte)**
- Bei welchem Pleuelschwenkwinkel β ist der Pleueltrieb radialkraftfrei **(2,5 Punkte)**?
- Auf welchem umlaufenden Radius r_{AG} müssen die Ausgleichsgewichte bei einer zur Pleuelschwingebene symmetrischen Anordnung der Ausgleichsgewichte positioniert werden um eine 100%ige Kompensation der rotierenden Massenkräfte zu erreichen? **(2,5 Punkte)**
- Um wieviel Prozent X ändert sich näherungsweise die maximale Pleuelbeschleunigung bei einem geänderten Pleuelstangenverhältnis von 0.25? **(3,5 Punkte)**
- Wie groß ist der exakte Abstand des kleinen Pleuelauges von der Mitte der Pleuelwelle s_{KW} 43°KW nach OT? **(5 Punkte)**
- Wie groß ist 43°KW nach OT die Pleuelgeschwindigkeit v_k näherungsweise? **(2,5 Punkte)**