



Praktikum zur Vorlesung  
Verbrennungsmotoren 1  
Bachelor Studiengang der MSF

# *Praktikum 4 Verbrennungsmotorenkolben II*

*Prof. Dr.-Ing. Bert Buchhoz*

*Dr.-Ing. Volker Wichmann*

*Universität Rostock, Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren*



**5.20** Die Resistivität  $\rho$  wird aus dem Ohmschen Widerstand  $R$  und den Abmessungen des Leiters (Länge  $l$ , Querschnitt  $A$ ) bestimmt mit der Gleichung

(A)  $\rho = \frac{R}{l \cdot A}$

(B)  $\rho = \frac{R \cdot l}{A}$

(C)  $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$

(D)  $\rho = \frac{A}{R \cdot l}$

(E)  $\rho = \frac{l}{R \cdot A}$

**4.20** Um welchen Faktor ändert sich die absolute Temperatur eines idealen Gases, wenn man ihm soviel Wärme zuführt, dass sich sowohl das Volumen als auch der Druck verdoppeln?

(A) 2

(B) 4

(C) 6

(D) 8

(E) 10

**2.46** Welche Aussage trifft **nicht** zu?

Folgende Größen dienen zur Angabe der Menge eines festen Stoffes

- (A) die Stoffmenge
- (B) die Masse
- (C) die Dichte
- (D) das Volumen
- (E) die Teilchenzahl

Quelle:

1.ÄP Physik

Thieme Verlag 2009

ISBN 9783131149398

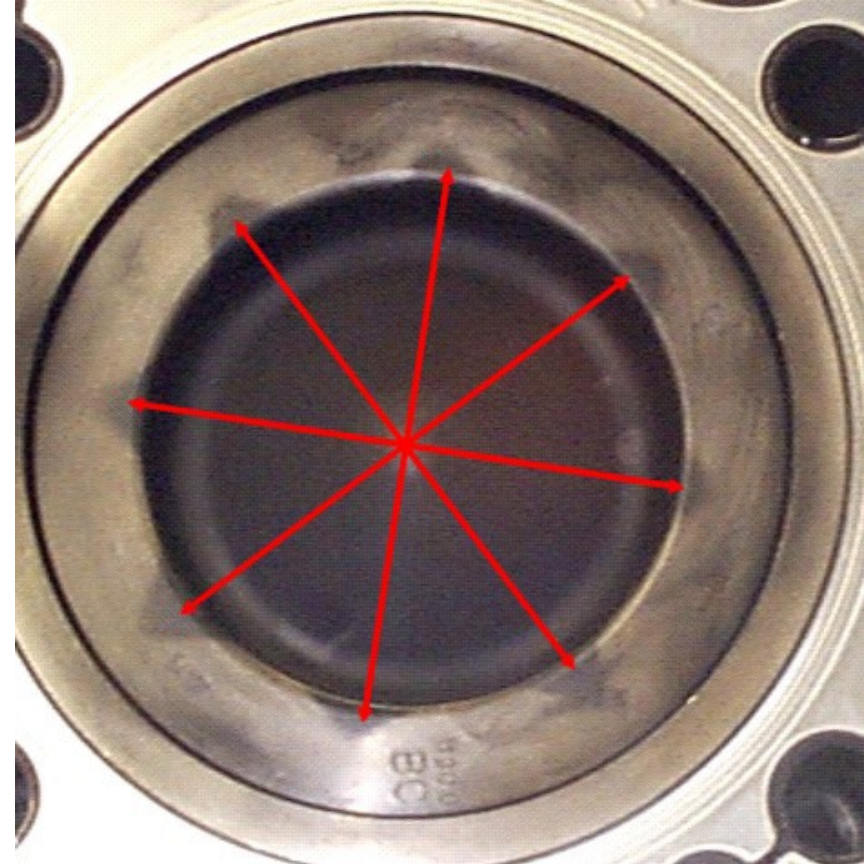
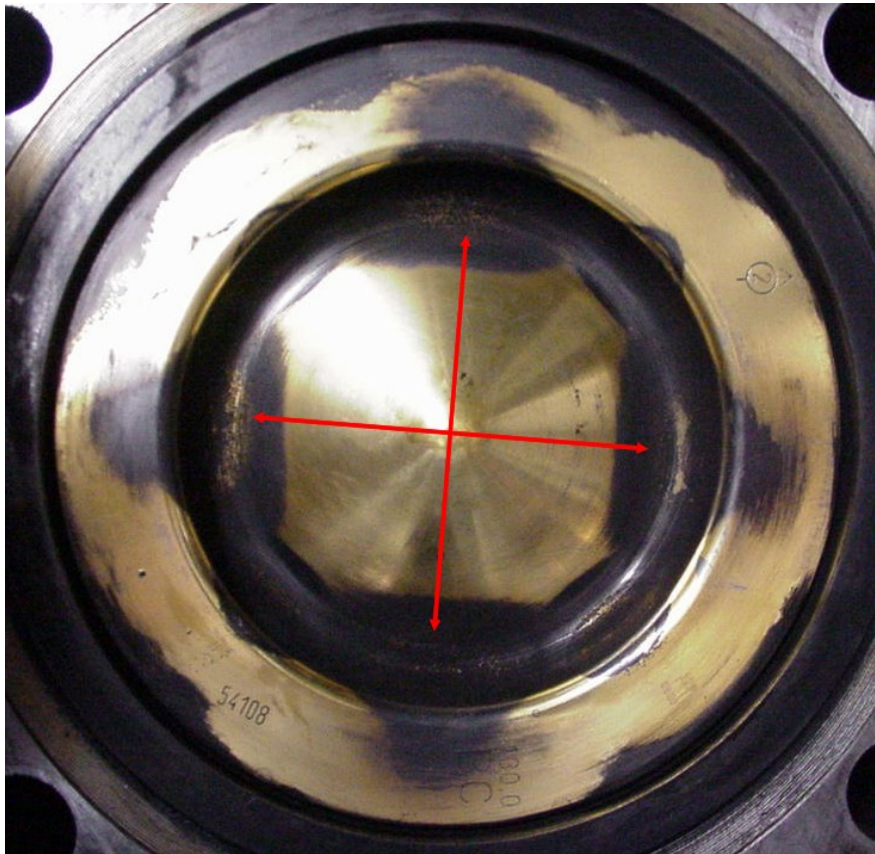


- **Einführung**
- **Aufgabenstellung**
- **Erarbeitung der Ergebnisse zur heutigen Übungsaufgaben**
- **Diskussion der Ergebnisse**
- **Zusammenfassung / Diskussion**

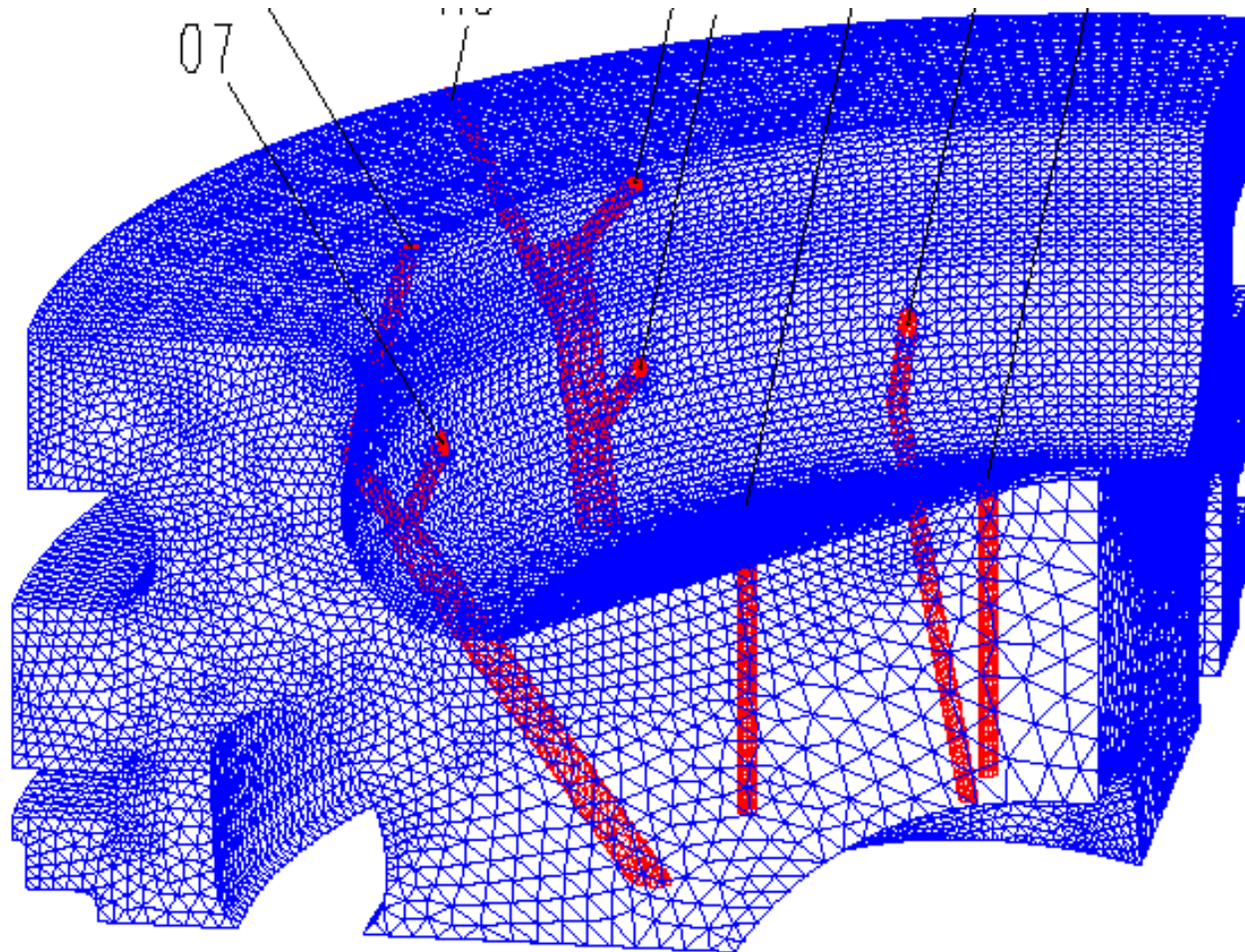


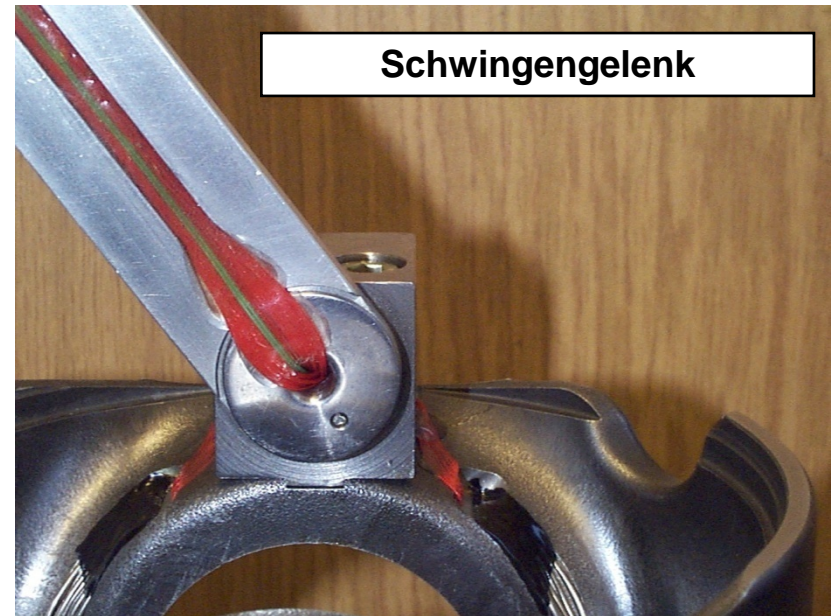
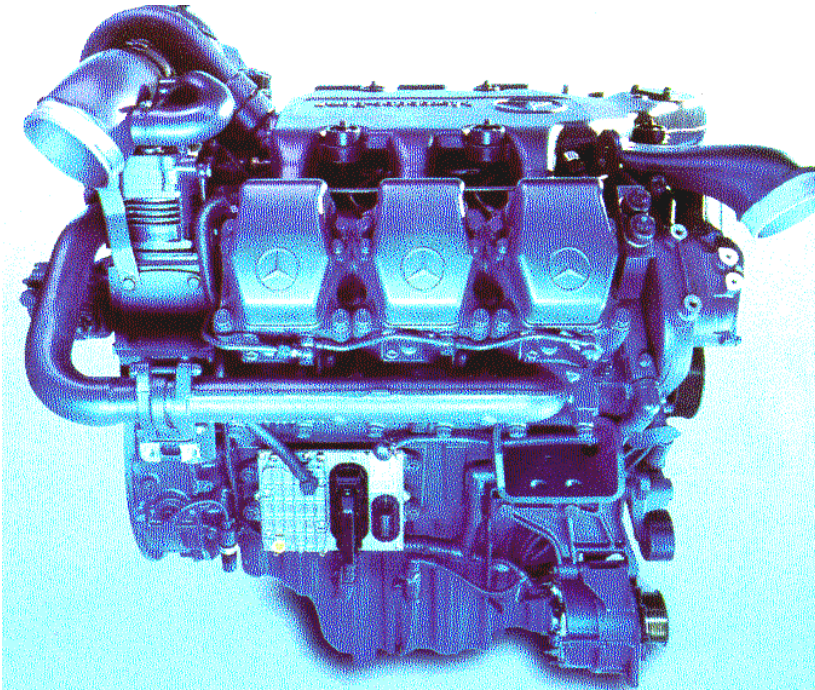


- **Herangehensweise an Probleme mit geringer Informationsverfügbarkeit**
- **Nutzung von Vereinfachungen um Teilprobleme berechenbar zu machen**
- **Stützen auf bekannte fundamentale Gesetzmäßigkeiten aus dem relevanten Wissenschaftsgebiet**
- **Abgleich der errechneten Ergebnisse mit real möglichen Werten als Stütze zur Kontrolle der Rechenwerte**



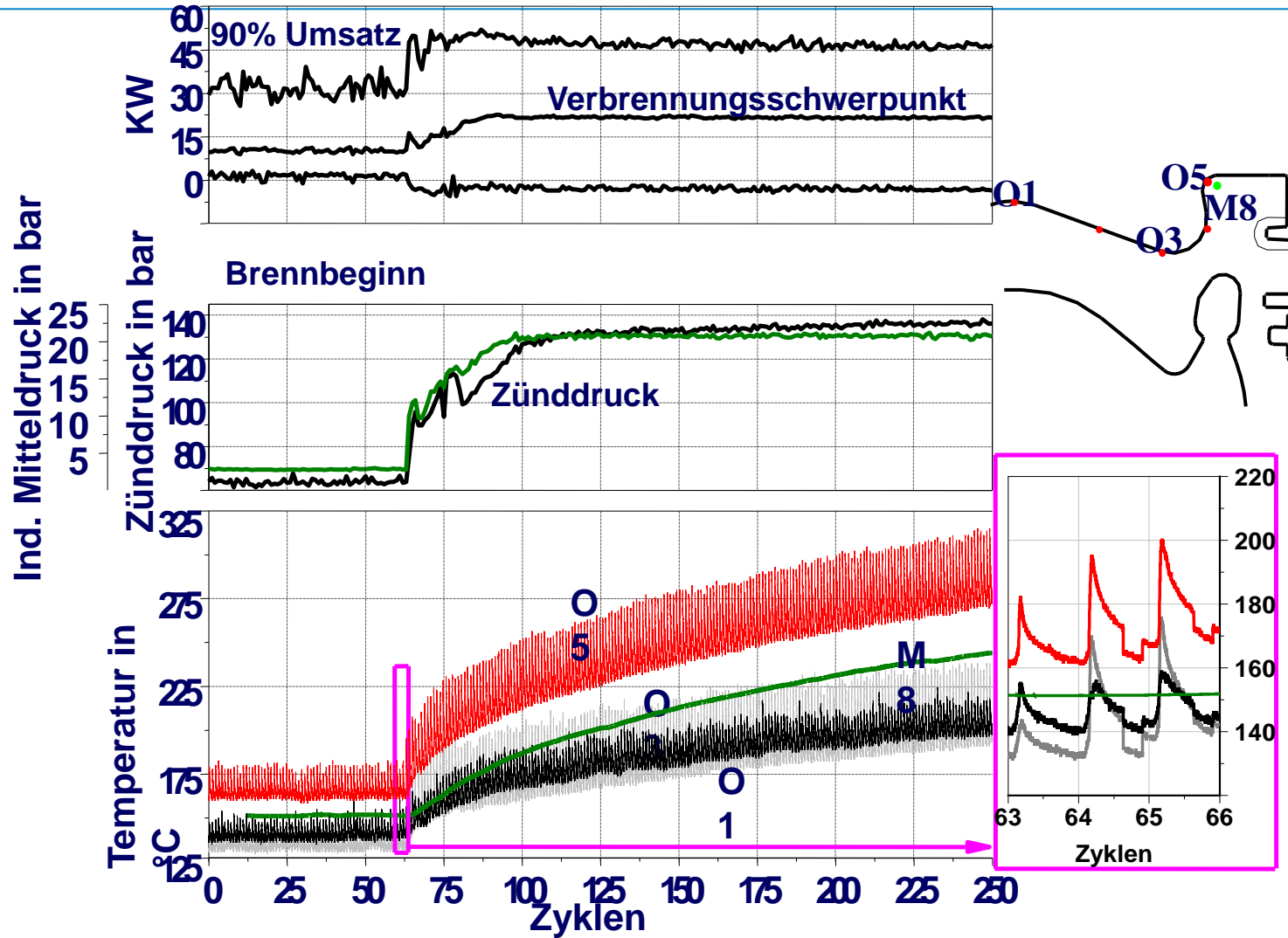
## FEM-Model eines Kolbens mit OTE



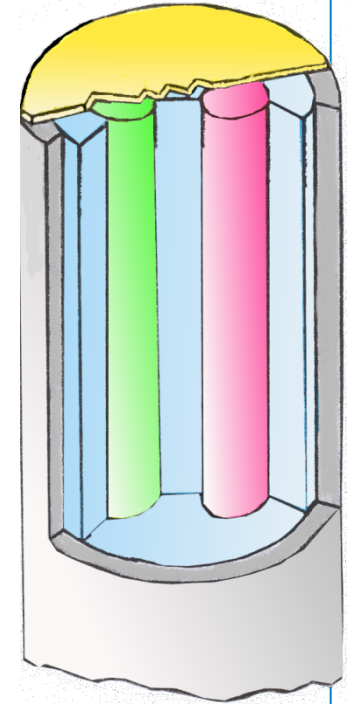
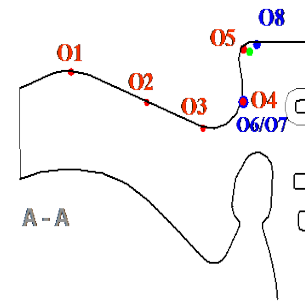
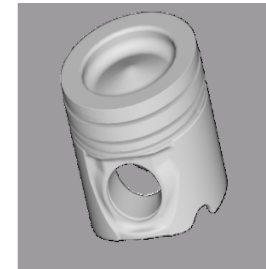
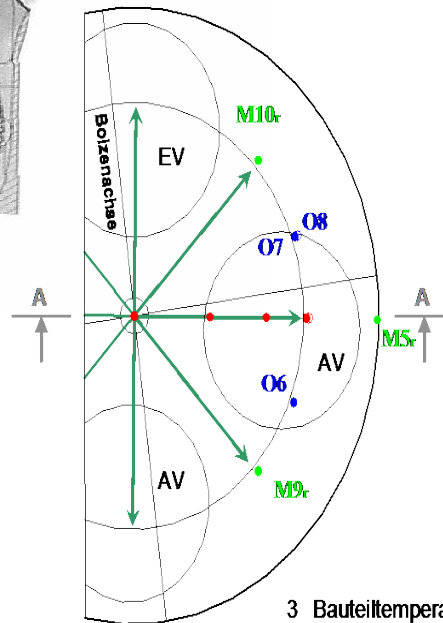
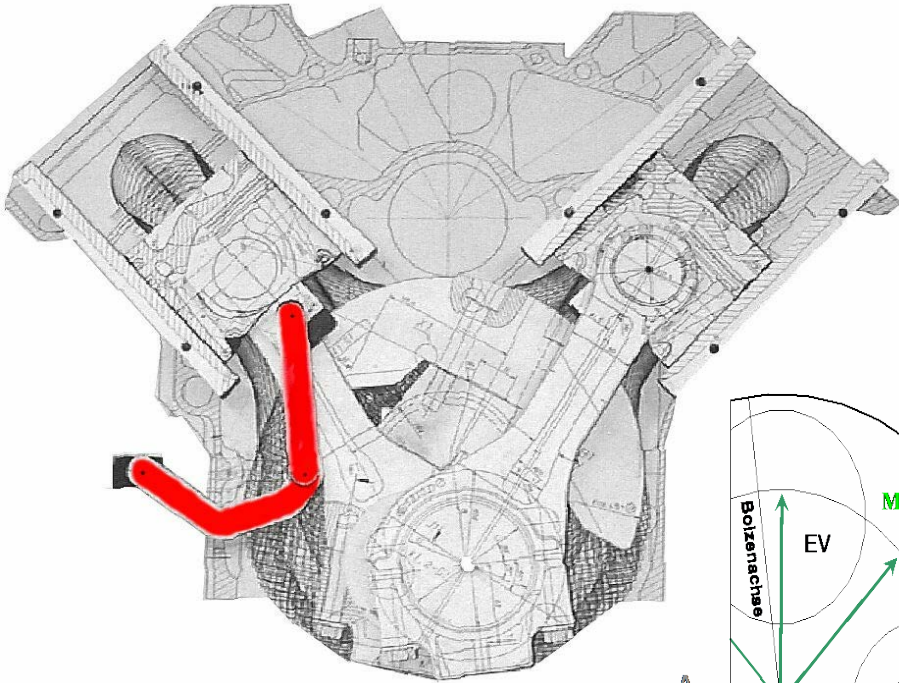


Schwingengelenk

Übertragungsschwinge für  
13 Meßsignale des Kolbens



# Temperaturbelastung Kolben mit Oberflächenthermoelementen



**OTE**

3 Bauteiltemperaturen 1mm unter der Oberfläche (M)

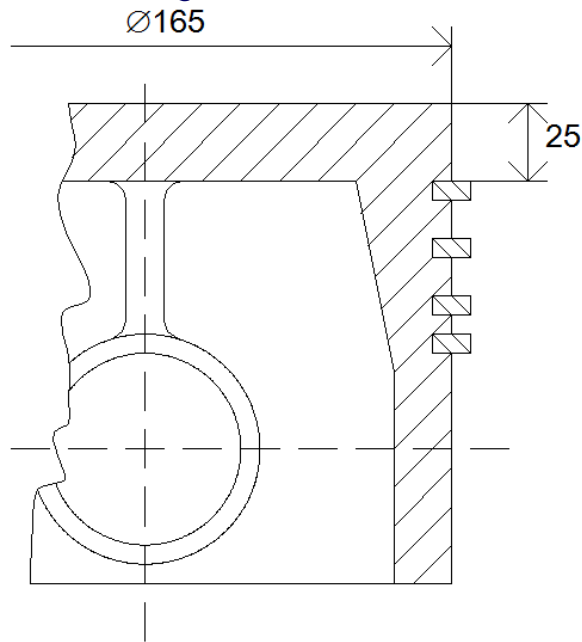
11 Oberflächentemperaturen (O)

## Inhalt: Wärmeübergang Kolben und Buchse

Ein freisaugender 4-Takt-Dieselmotor mit den Abmessungen

Bohrung	$D$	=	165 mm
Hub	$s$	=	155 mm
Pleuelstangenverhältnis	$\lambda_{pl}$	=	0,25
Verdichtungsverhältnis	$\varepsilon$	=	20
Drehzahl	$n$	=	2600 min <sup>-1</sup>
Nutzmitteldruck	$p_e$	=	8 bar (Saugmotor) / 11 bar (ATL)

soll durch Abgasturboaufladung auf  $p_e = 11$  bar gebracht werden. Dazu ist unter anderem zu untersuchen, ob der bisher ungekühlte Kolben beibehalten werden kann.



bisheriger Kolben  
Werkstoff: AlSi 12 CuNi, gepreßt  
 $\lambda = 150$  W/mK

Für Druck- und Temperaturverlauf, sowohl des frei saugenden als auch des aufgeladenen Motors, liegen die Ergebnisse einer einfachen Kreisprozessrechnung vor.



- a) Berechnen Sie anhand eines vereinfachten Modells, bei dem der Kolbenboden als Scheibe betrachtet wird, wie viel Wärme der Kolben pro Arbeitsspiel aus dem Verbrennungsgas aufnimmt? In erster Näherung soll die mittlere Kolbentemperatur mit **260 °C** angenommen werden.

Näherungsformel für den Wärmeübergangskoeffizienten:

$$\alpha = 0,41 \cdot (12,5 + p_e) \cdot \sqrt[3]{c_m} \sqrt{T_0} [W / m^2 \cdot K]$$

mit:  $p_e$  in bar;  $c_m$  in m/s und Ansauglufttemperatur  $T_0$  in K.

Die mittlere Gastemperatur während eines Arbeitsspieles sei aus der Kreisprozessrechnung mit **972 K** (aufgeladen **1012 K**) bekannt.

Die Ansauglufttemperatur des frei saugenden Motors sei **293 K** (aufgeladen: **380 K**).

- b) Um welchen Betrag steigt die aufgenommene Wärmeleistung bei der aufgeladenen Variante?
- c) Die Abgabe der Wärme erfolgt über die Zylinderwand. In der obersten Ringnut wurden **210°C** gemessen. Dieser Wert soll als konstant angenommen werden. Beschreiben Sie den radialen Temperaturverlauf des Kolbenbodens durch ein einfaches analytisches Modell. Stellen Sie den Temperaturverlauf über dem Radius qualitativ in einem Diagramm dar.



- d) Berechnen Sie die Temperatur in der Kolbenbodenmitte für die beiden Motorvarianten und überprüfen Sie, ob die Materialtemperatur einen für diesen Kolben kritischen Wert von  $300^{\circ}\text{C}$  überschreitet. Wenn ja, welche Maßnahmen würden Sie ergreifen?



## 1. Relevante Motordaten erfassen:

$$D = 165 \text{ mm}$$

$$s = 155 \text{ mm}$$

$$V_h = 3,314 \text{ dm}^3 = \frac{\pi}{4} D^2 s$$

$$n = 2600 \text{ min}^{-1}$$

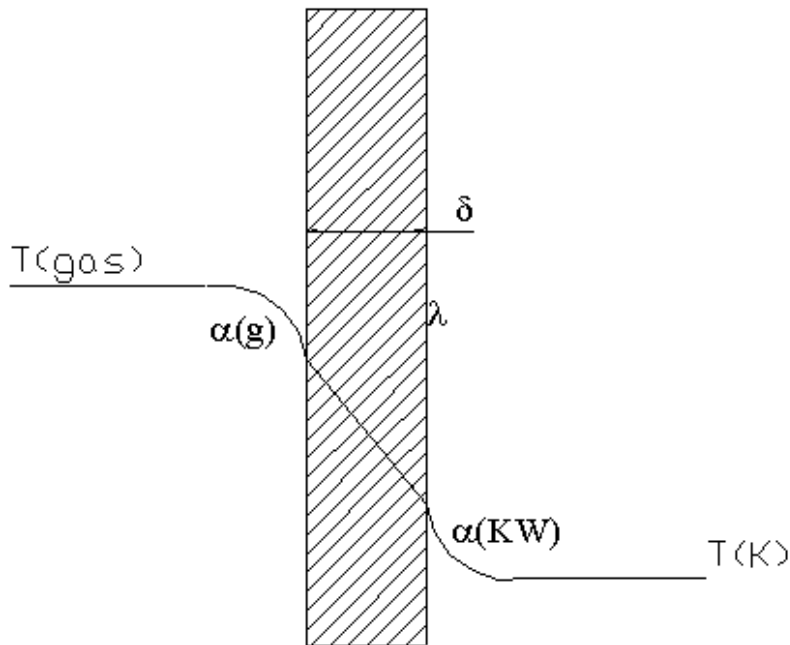
$$c_m = 13,43 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2 \cdot n \cdot s$$

$$A_{KB} = 21,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} D^2$$



## Wärmeübergang / Wärmeleitung:

-schematisch-



### Wärmeübergang (nach Newton):

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T = \alpha \cdot A \cdot (T_{\text{Gas}} - T_{\text{Wand}})$$

### Wärmeleitung:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

(für homogene Wand)

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\delta}$$



Frage a)

Aufgenommene Wärmemenge pro Arbeitsspiel:

$$Q = \dot{Q} \cdot \Delta t = \frac{\dot{Q} \cdot 2}{n}$$

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

Berechnung von  $\alpha$  für  $p_{es} = 8 \text{ bar}$

und

$p_{eATL} = 1 \text{ bar}$

$$\alpha_g = 0,41 \cdot (12,5 + p_e) \cdot \sqrt[3]{c_m} \cdot \sqrt{T_0}$$

$$\alpha_{g,s} = 0,41 \cdot (12,5 + 8) \cdot \sqrt[3]{13,4} \cdot \sqrt{293}$$

$$\alpha_{g,s} = 341,98 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$\alpha_{g,ATL} = 0,41 \cdot (12,5 + 11) \cdot \sqrt[3]{13,4} \cdot \sqrt{380}$$

$$\alpha_{g,ATL} = 446,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$



## Wärmestrom

### Saugmotor

$$\dot{Q}_s = \alpha_{g,s} \cdot A_{KB} \cdot \Delta T_s = 3 \cdot 2,6 \text{ W}$$

### ATL-Motor

$$\dot{Q}_{ATL} = \alpha_{g,ATL} \cdot A_{KB} \cdot \Delta T_{ATL} = 4 \cdot 5,9 \text{ W}$$



### a. Wärmemenge pro Arbeitsspiel

$$Q = \frac{\dot{Q} \cdot 2}{n}$$

$$Q_s = 291,2 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \cdot \frac{2 \cdot 60 \text{s}}{2600} = 1,0 \text{ J}$$

$$Q_{ATL} = 418,8 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \cdot \frac{2 \cdot 60 \text{s}}{2600} = 2,8 \text{ J}$$

Verhältnis?

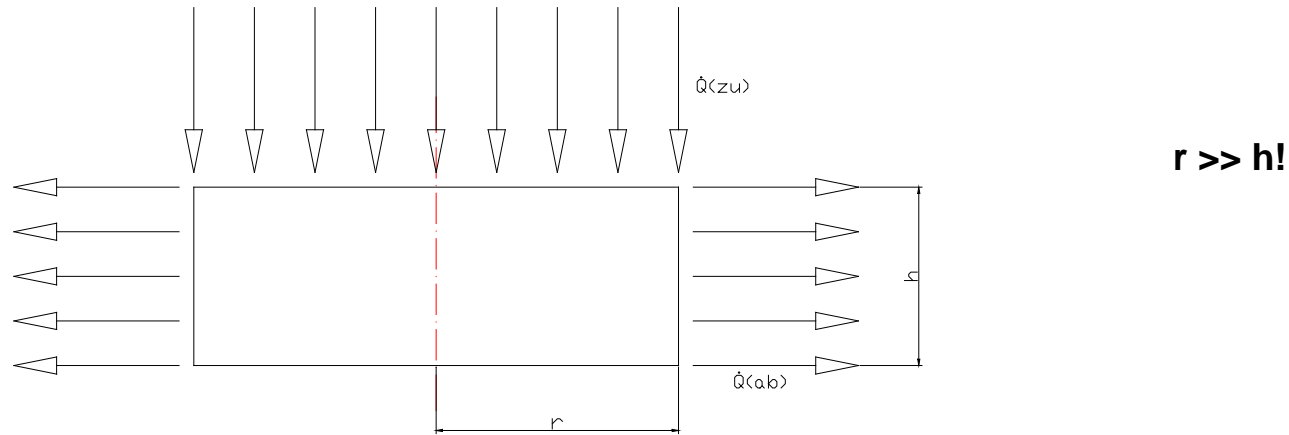
Zunahme der Wärmebelastung um **42,4%**, wenn von einer konstanten Kolbenbodentemperatur von 260°C ausgegangen wird.



Frage b)

Modell Wärmetransport

Annahme: Was in Kolbenbodenfläche einfällt, muss durch Ringfläche abgeführt werden.



weitere Annahme: Konstante Wärmestromdichte bei  $\dot{Q}_{zu}$

$$\dot{q}_{zu} = \frac{\dot{Q}_{zu}}{A} = \alpha_g \cdot \Delta T$$

Wärmezufuhr:  $\dot{Q}_{zu} = A_{KB}(r) \cdot \dot{q}_{zu}$  mit  $A_{KB} = \pi \cdot r^2$

Wärmefortleitung:  $\dot{Q}_L = -\lambda \cdot A_R \cdot \frac{dT}{dr}$  mit  $A_R = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$



### Wärmezufuhr = Wärmefortleitung

$$\longrightarrow \pi \cdot r^2 \cdot \dot{q}_{zu} = -\lambda \cdot 2\pi \cdot r \cdot h \cdot \frac{dT}{dr}$$

$$\longrightarrow dT = -\frac{\dot{q}_{zu} \cdot r}{\lambda \cdot 2 \cdot h} \cdot dr$$

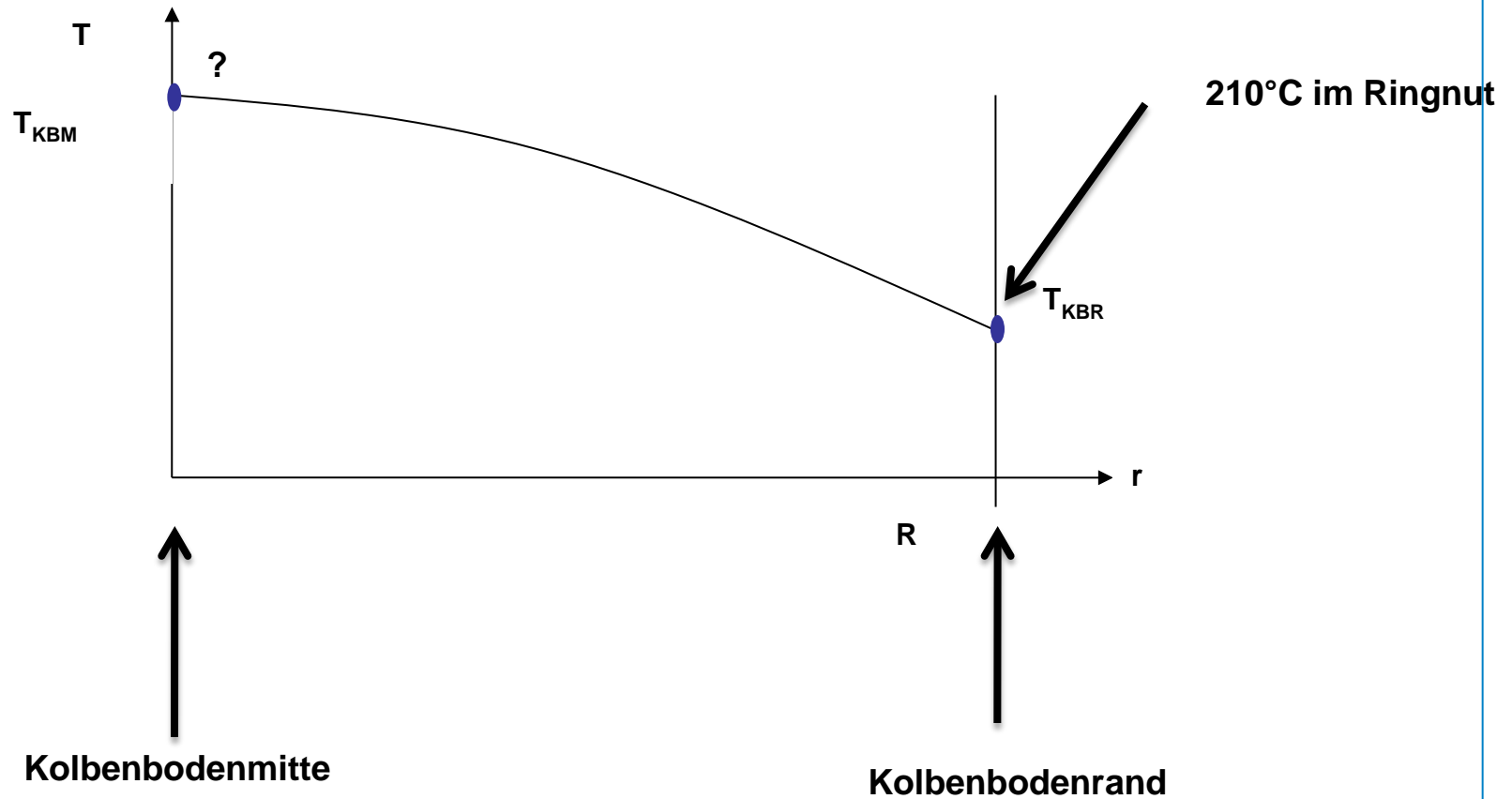
Integrieren:

$$T(r) = -\frac{\dot{q}_{zu} \cdot r^2}{4 \cdot \lambda \cdot h} + C$$

**C** Konstante, entspricht Temperatur in Kolbenmitte

$$T(r) = T_{KBM} - \frac{\dot{q}_{zu} \cdot r^2}{4 \cdot \lambda \cdot h}$$

$$C = T_{KBM}$$





•Wärmestromdichte für: Saugmotor

und

ATL-Version

$$\dot{q}_S = \frac{\dot{Q}_S}{A_{KB}} = 150 \frac{kW}{m^2}$$

$$\dot{q}_{ATL} = \frac{\dot{Q}_S}{A_{KB}} = 213 \frac{kW}{m^2}$$

Damit wird  $T_{KBM,S}$  zu:  $T_{KBM,S} = T_{KBR} + \frac{\dot{q}_8 \cdot R^2}{4 \cdot \lambda \cdot h}$

$$T_{KBM,S} = 483,15K + \frac{150 \cdot 10^3 \cdot (0,082)^2 W \cdot m^2 \cdot K \cdot m}{4 \cdot 150 \cdot 0,025 \cdot W \cdot m^2 \cdot m} = 551,2K$$

$$T_{KBM,S} = 278,07^\circ C$$

$$T_{KBM,ATL} = 483,15K + \frac{213,7 \cdot 10^3 \cdot (0,082)^2 W \cdot m^2 \cdot K \cdot m}{4 \cdot 150 \cdot 0,025 \cdot W \cdot m^2 \cdot m} = 580,1K$$

$$T_{KBM,ATL} = 307,0^\circ C$$

**Damit liegt die Temperatur oberhalb von 300°C -> Kühlmaßnahmen ergreifen!  
Oder Kolbenboden verstärken...**



## Diskussion / Fragen



- **Zur Berechnung des Temperaturverlaufes sind Wärmeleitung und Wärmeübergang als Funktionsmechanismen zu untersuchen**
- **Oft ist eine direkte Ermittlung gesuchter Werte nicht möglich. - dann können überschlägige Werte durch die Nutzung fundamentaler Zusammenhänge ermittelt werden.**
- **Das Verständnis der Mechanismen bildet die Grundlage zur erfolgreichen Anwendung moderner Berechnungswerkzeuge (CAD,CFD...) da diese die gleichen Gesetzmäßigkeiten nutzen.**



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**