

# Meisterkurs Teil II Kfz- Mechaniker Handwerk



## Mechanik

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Kurbeltrieb  
Schwungrad

**Mechanik**  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen

### Aufgabe

Dient als Energiespeicher  
Gespeicherte Energie wird benötigt  
um in „Leertakten“ Drehmoment  
abzugeben und zur  
„Totpunktüberwindung“  
Reduktion der Drehschwingungen

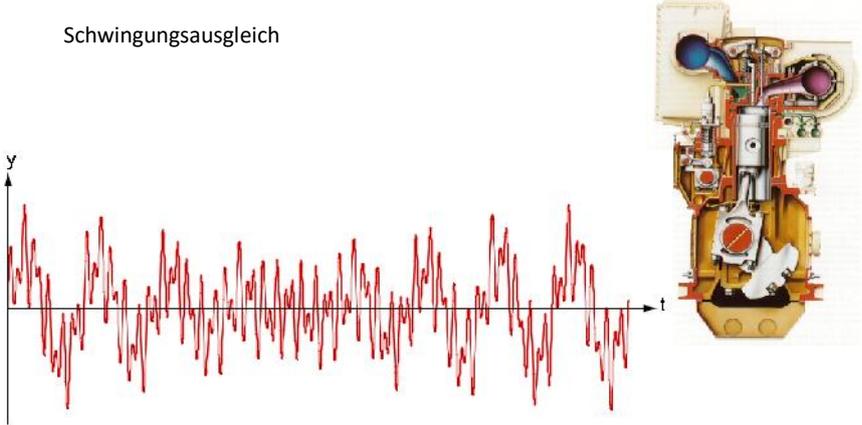


Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen

Schwingungsausgleich



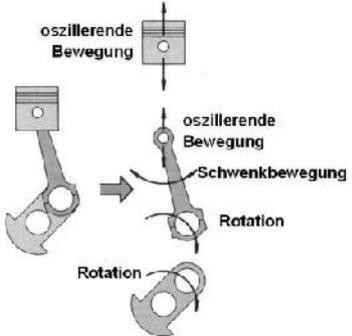
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen

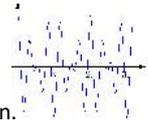
Schwingungsausgleich

Bewegungen der Triebwerksteile



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Die oszillierende Bewegung der Kolben und Pleuel im Kurbeltrieb erzeugen Massenkräfte, die durch Gegenmassen an der Kurbelwelle nur unvollkommen ausgeglichen werden können.



Bei Mehrzylindermaschinen entstehen durch die verschiedenen Angriffspunkte von Verbrennungs- und Massenkräften Momente hinzu.

Massenkräfte des Kolbens

→ in der Achse der Laufbüchse

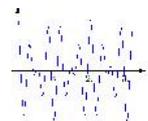
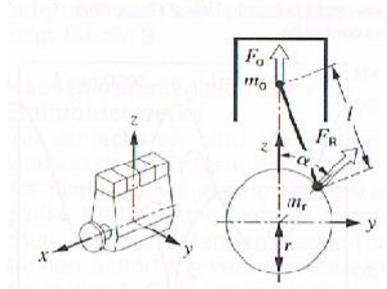
Massenkräfte des Pleuels

→ in der Achse und quer zur Achse der Laufbüchse

Massenkräfte der Gegengewichte

→ in der Achse und quer zur Achse der Laufbüchse

**Bezugskordinaten und Massenkräfte  
 (1-Zylinder-Triebwerk).**



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

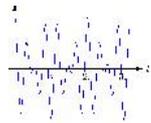
Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich

Beispiel: 1-Zylindermaschine

Mk = Kolbenmasse  
Mp = Pleuelmasse  
Mw = Kurbelwellenmasse  
r = Hub/2  
 $\lambda$  = Pleuelstangenverhältnis (r/l)

Oszillierende Masse (Mo) =  $Mp/3 + Mk$  (Annahme 1/3 Pleuel oszillierend)  
Rotierende Masse (M1) =  $2Mp/3 + Mw$

An der Kurbel wirkende Massenkraft  $F_1 = m_1 * r * \dot{\omega}^2$   
Oszillierende Massenkraft  $F_o = M_o * r * \dot{\omega}^2 * (\cos \alpha + \lambda * \cos 2 \alpha + \lambda \dots)$   
1. Ordnung    2. Ordnung    .....



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

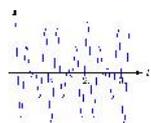
Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich

Massenkräfte und – momente werden entsprechend der Drehfrequenz bezeichnet

1. Ordnung → Motordrehzahl  
2. Ordnung → 2-fache Motordrehzahl  
3. Ordnung → 3- fache Motordrehzahl  
:  
:  
:

In der Praxis sind meist nur die Kräfte und Momente 1. und 2. Ordnung von Belang



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

### Motorbeanspruchung

Kräfte und Momente am Motor					
Bedeutung	Wechseldrehmoment Querkippmoment Rückdrehmoment	Freie Massenkraft	Freies Massenmoment Längskippmoment um y-(Quer)Achse („Galoppierendes“ Moment) um z-(Hoch)Achse („Schlingendes“ Moment)	Innere Biegemoment	
Ursache	Gas-Tangentalkräfte sowie Massen-Tangentalkräfte bei den Ordnungszahlen 1, 2, 3 und 4	Nicht ausgeglichene oszill. Massenkkräfte 1. Ordnung bei 1- u. 2 Zylinder; 2. Ordnung bei 1-, 2-, 4-Zylinder	Nicht ausgeglichene oszill. Massenkkräfte als Kräftepaar 1. und 2. Ordnung	Rotierende und oszillierende Massenkkräfte	
Einflussgrößen	Zylinderzahl, Zündabstände, Hubvolumen, $\rho, \epsilon, \rho_a, m_p, r, n, \lambda$	Zylinderzahl, Kurbelstern $m_p, r, \omega, \lambda$	Zylinderzahl, Kurbelstern, Zylinderabstand, Gegenrichtsgröße beeinflusst Massenmoment-Anteile um y- und z-Achse $m_p, r, \omega, \lambda, a$	Kröpfungsanzahl, Kurbelstern, Motorlänge, Gehäusesteifigkeit	
Abhilfe	Beeinflussung nur in Ausnahmefällen möglich  Abschirmung der Umgebung durch elastische Lagerung des Motors (insbesondere Ordnung $\geq 2$ )	Beseitigung der freien Massenwirkungen durch rotierende Ausgleichssysteme möglich, jedoch aufwendig und daher selten, Bevorzugung von Kurbelfolgen ohne oder mit nur geringen freien Massenwirkungen		Gegengewichte, steifes Motorgehäuse	

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

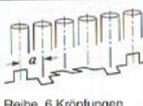
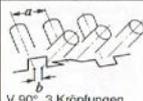
Zylinderanordnung	Freie Kräfte 1. Ordnung <sup>1)</sup>	Freie Kräfte 2. Ordnung	Freie Momente 1. Ordnung <sup>1)</sup>	Freie Momente 2. Ordnung	Zündabstände
<b>4-Zylinder</b>					
 Reihe, 4 Kröpfungen	0	$4 \cdot F_2$	0	0	$180^\circ/180^\circ$
 Boxer, 4 Kröpfungen	0	0	0	$2 \cdot F_2 \cdot b$	$180^\circ/180^\circ$
<b>5-Zylinder</b>					
 Reihe, 5 Kröpfungen	0	0	$0,449 \cdot F_1 \cdot a$	$4,98 \cdot F_2 \cdot a$	$144^\circ/144^\circ$

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich

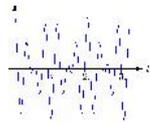
$F_1 = M_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha$   
 $F_2 = M_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha$

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechanik Handwerk

Zylinderanordnung	Freie Kräfte 1. Ordnung <sup>1)</sup>	Freie Kräfte 2. Ordnung	Freie Momente 1. Ordnung <sup>1)</sup>	Freie Momente 2. Ordnung	Zündabstände
 Reihe, 6 Kröpfungen	0	0	0	0	120°/120°
 V 90°, 3 Kröpfungen	0	0	$\sqrt{3} \cdot F_1 \cdot a^2$	$\sqrt{6} \cdot F_2 \cdot a$	150°/90° 150°/90°
 Boxer, 6 Kröpfungen	0	0	0	0	120°/120°

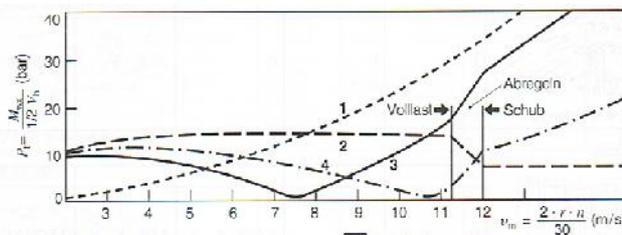
Mechanik  
**Motormechanik**  
 Kolbenmaschinen  
 Schwingungsausgleich

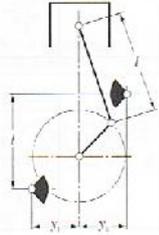


$F_1 = M_0 \cdot r \cdot \dot{\omega}^2 \cdot \cos \alpha$   
 $F_2 = M_0 \cdot r \cdot \dot{\omega}^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha$

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechanik Handwerk





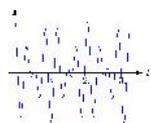
Massenkraft  $F_{z2}$

Massendrehmoment  $M_{y2}$

$$F_{z2} = 4 \cdot m_0 \cdot r \cdot \omega^2 \cdot A_2 \cdot \cos 2\omega t; A_2 = \lambda \left( \frac{1}{2} \lambda^2 + \frac{15}{28} \lambda^4 + \dots \right)$$

$$M_{y2} = 4 \cdot m_c \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot B_2 \cdot \sin 2\omega t; B_2 = -\frac{1}{2} - \frac{1}{32} \lambda^2 - \frac{1}{32} \lambda^4$$

Mechanik  
**Motormechanik**  
 Kolbenmaschinen  
 Schwingungsausgleich



Ausgleich durch zwei  
 Versetzt angeordnete  
 Ausgleichswellen

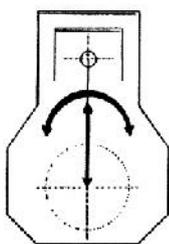
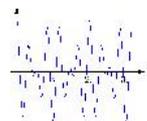
- 1 Nur Massenmoment
- 2 Verbrennungsdrehmoment
- 3 Verbrennungs- und Massendrehmoment ohne Ausgleich
- 4 Verbrennungs- und Massendrehmoment 50% Ausgleich

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

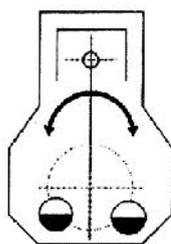
Massenausgleich 2. Ordnung  
-- Lancaster-Ausgleich --

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

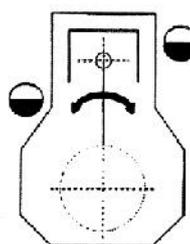
Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich



ohne Ausgleichswellen



Ausgleichswellen  
ohne Höhenversatz



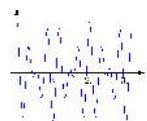
höhenversetzte  
Ausgleichswellen

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

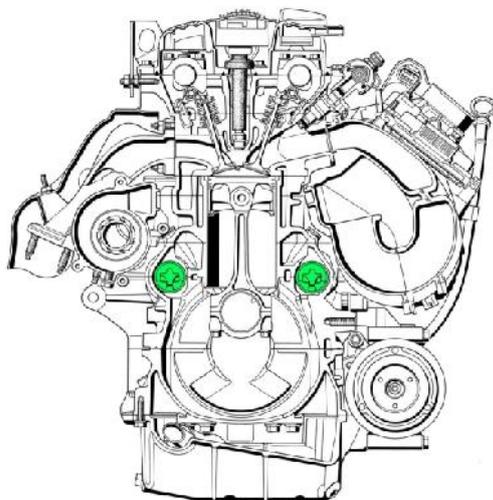
Massenausgleich 2. Ordnung  
-- Lancaster-Ausgleich --

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich



**GM Powertrain L850**

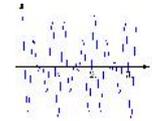


Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Massenausgleich 2. Ordnung  
-- Lancaster-Ausgleich --

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Ein Rechenbeispiel.

4-Zylinder Reihenmotor, Hub 80 mm  
Pleuellänge 140 mm,  $n = 6000 \text{ min}^{-1}$ ,  $KWW = 45^\circ$   
Masse Kolben 0,55 Kg, Masse Pleuel 0,65 Kg

$$\lambda = r/l = 80/2/140 = \mathbf{0,285}$$

$$\dot{\omega}^2 = (\pi \cdot n/30)^2 = (3,14 \cdot 6000/30)^2 = \mathbf{394000 \text{ rad/sec}^2}$$

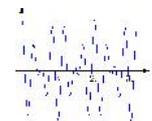
$$M_o = M_p/3 + M_k = 0,65/3 + 0,55 = \mathbf{0,766 \text{ Kg}}$$

$$F_2 = M_o \cdot r \cdot \dot{\omega}^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha = 0,766 \cdot 0,04 \cdot 394000 \cdot 0,285 \cdot 1 = \mathbf{3,4 \text{ KN}}$$

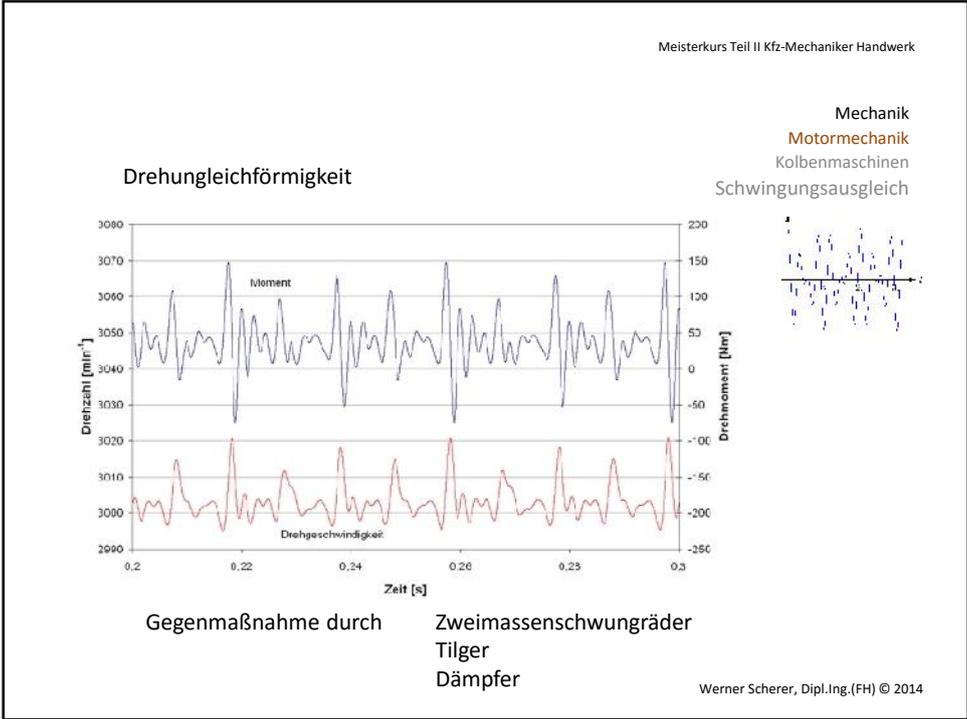
$$\text{Freie Kraft 2. Ordnung} = 4 \cdot F_2 = 4 \cdot 3,4 = \mathbf{13,6 \text{ KN}}$$

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich

Zweimassenschwungrad

Physikalisches Prinzip  
 $f_c = \frac{\Omega}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{L}{I}}$

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2013

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Schwingungsausgleich

Zweimassenschwungrad

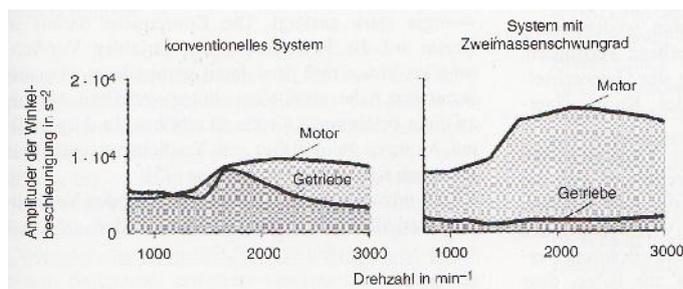
Zweimassenschwungrad (mechanischer Torsionsdämpfer)

GAT

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2013

Zweimassenschwungrad

Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Schwingungsausgleich



Typische Wirkung

Motorsteuerung

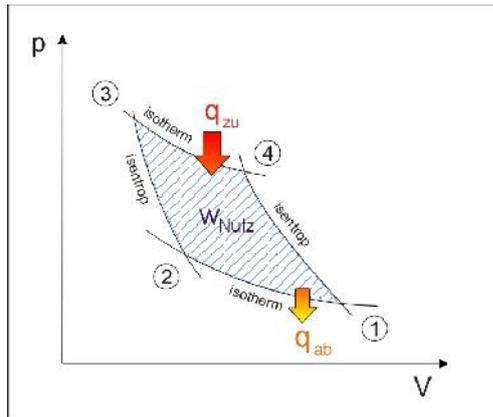
Der Kreisprozess  
 Gaswechsel  
 Steuerungszyklus

Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Motorsteuerung



Carnot – Prozess

Die Energiezuführung und –entnahme ist ein wiederholt ablaufender Prozess, der in einem „Kreisdiagramm“ beschrieben wird

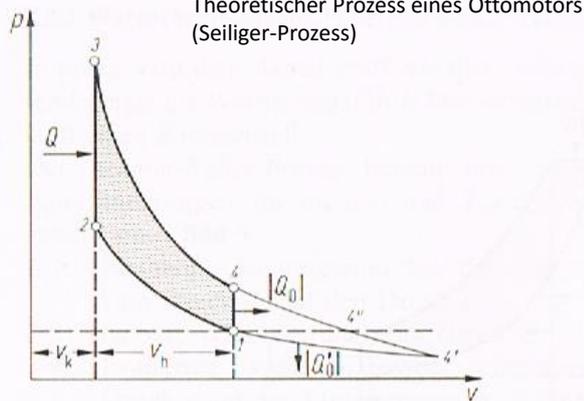


Mechanik  
**Motormechanik**  
 Kolbenmaschinen  
 Motorsteuerung



Q = Energie  
 W = Arbeit (innere)  
 Isotherm = gleiche Temperatur  
 Isentrop = ohne Wärmeänderung  
 ohne Reibung

Theoretischer Prozess eines Ottomotors  
 (Seiliger-Prozess)



Mechanik  
**Motormechanik**  
 Kolbenmaschinen  
 Motorsteuerung



- 1 Ende Saughub, Hubraum mit Gemisch gefüllt
- 1-2 Verdichtung auf  $V_k$  (Kompressionsvolumen)
- 2 OT
- 2-3 Energiezufuhr (Verbrennung-Druckanstieg)
- 3-4 Entspannung

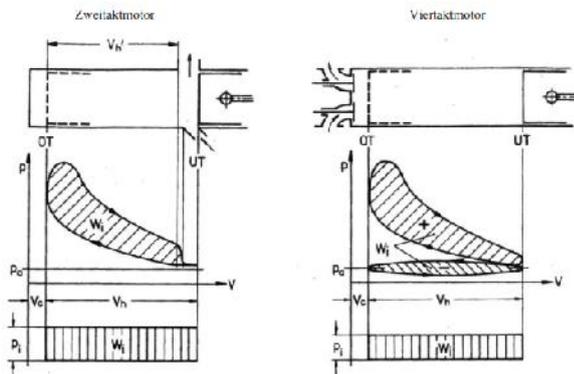
Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Motorsteuerung

Darstellung und Definition der Wirkungsgrade

Arbeitsdiagramm	Bezeichnung	Randbedingungen	Definition	Wirkungsgrade
	theoretischer Vergleichs-„Gleichraumprozess“	ideales Gas, konstante spezifische Wärmen, unendlich schnelle Wärmezu- und -abfuhr usw.	$\eta_{th} = 1 - \epsilon^{1-\kappa}$ Theoretischer oder thermischer Wirkungsgrad	$\eta_{th}$
	realer Hochdruck-Arbeitsprozess	Wandwärmeverluste, reales Gas, endliche Wärmezu- und -abfuhrgeschwindigkeiten, veränderliche spezifische Wärmen	$\eta_{th0}$ Gütegrad des Hochdruckprozesses	$\eta_{th0}$
	realer Ladungswechsel (4-Takt)	Strömungsverluste, Aufheizung des Gemisches oder der Luft usw.	$\eta_{LW}$ Ladungswechselwirkungsgrad	$\eta_{LW}$
mechanische Verluste	Verluste wegen Reibung, Kühlung, Nebenaggregate	realer Motor	$\eta_m$	$\eta_m$



Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Motorsteuerung



p-v Diagramm im Vergleich



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

**Gaswechsel 4-Takter**

Austausch der verbrennungsgase gegen Frischgas geschieht über den Zylinderkopf

**Liefergrad** (nach DIN 1940) ist das Verhältnis der nach abgeschlossenem Ladungswechsel zugeführten Frischgasmenge zur theoretisch möglichen Menge

$$\Lambda = m_{Lz} / V_h \rho_{th} \quad (\rho_{th} = \text{Dichte vor Einlaß in den Zylinder})$$

Saugmotore erreichen Werte von 0,8 – 0,95  
(Mittelwert, in spezifischen Drehzahlen >1 durch harmonische Schwingung im Saugrohr)



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

**Gaswechsel 4-Takter**

Liefergrad wird beeinflusst durch:

Drosselverluste	Strömungsverluste im Saugrohr Strömungsverluste im Ventildurchgang
Aufheizverluste	Wärmeaustausch mit Saugrohr und Zylinderwänden
Spülverluste	Ventilüberschneidung Druckverhältnis vor Einlassventil zu Abgasgedruck

In niedrigen Drehzahlen überwiegen die Spülverluste,  
Mit steigender Drehzahl nehmen die Drossel- und Aufheizverluste zu

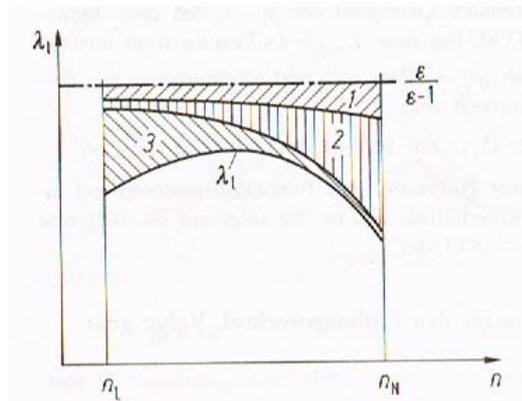


Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Liefergrad

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



- 1 Aufheizverluste
- 2 Strömungsverluste
- 3 Spülverluste

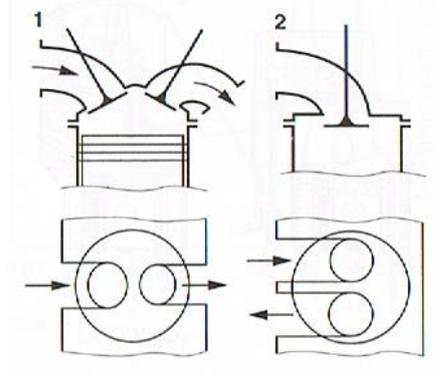
In Abhängigkeit von der Drehzahl

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Kanalführung

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

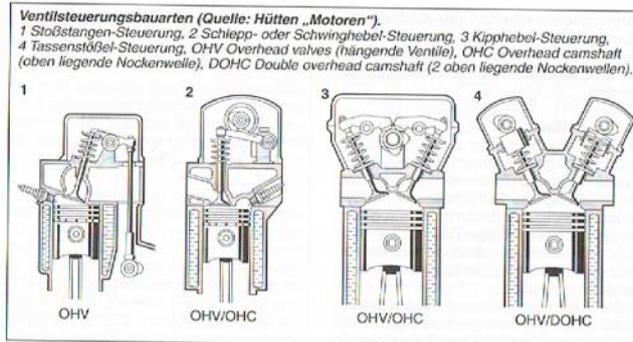


- 1 Querstrom  
diagonale Strömungsrichtung  
freiere Rohrführung
- 2 Gegenstrom  
beengte Leitungsführung  
kurze Gaswege  
Vorteile bei Aufladung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

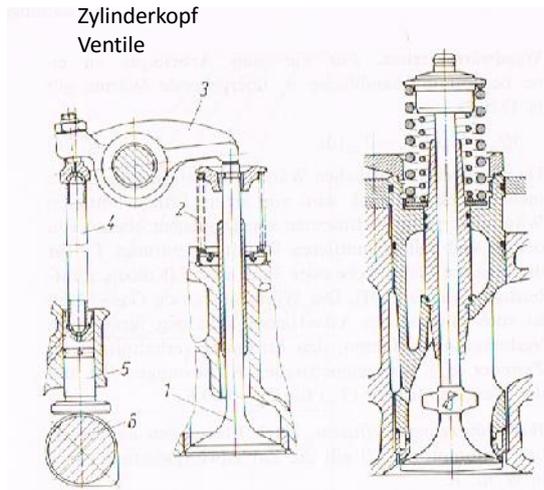
Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Ventile

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Ventile

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

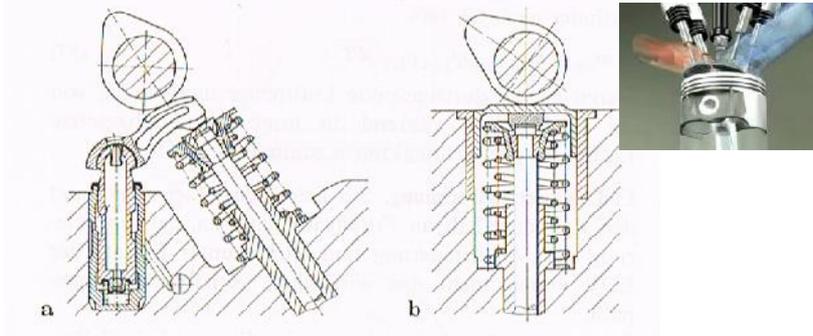


Links untenliegende Nockenwelle  
 Rechts Auslaßventil mit Führungskühlung  
 und Drehung durch Abgasstrom

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Ventile



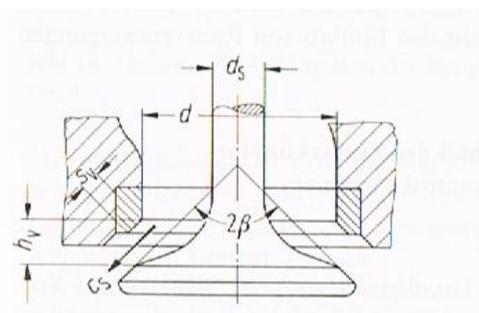
a obenliegende Nockenwelle, Schleppebel, hydraulischer Spielausgleich  
b Tassenstößel

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Ventile



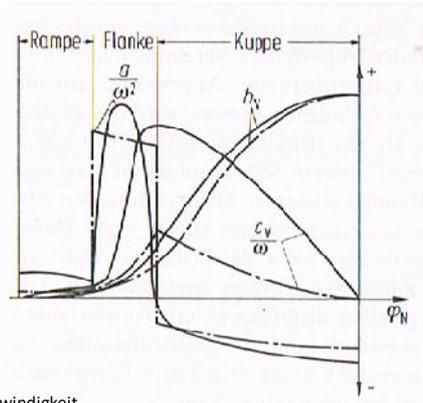
Ventilquerschnitt mit dem Ventilhub  $h_v$  gilt  $A_v = \pi \cdot d \cdot h_v \cdot \sin \beta$

Anordnung von 2 Ventilen bietet größeren Ventilquerschnitt, geringere Drosselung, dadurch 10 – 25 % Steigerung, aber **Verluste im unteren Drehzahlbereich. Ausgleich durch Ventilhub- und / oder Nockenwellenverstellung**

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Ventile

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



$H_v$  = Ventilhub  
 $C_v/\omega$  = Ventilgeschwindigkeit  
 $a/\omega^2$  = Ventilbeschleunigung

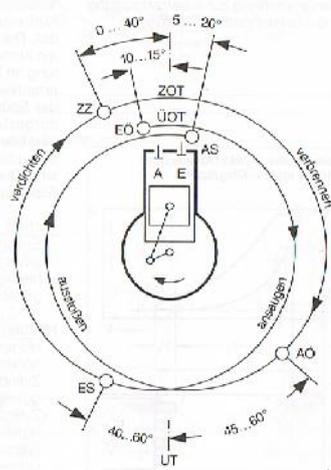
Durchgezogene Linie = stetiger Beschleunigungsverlauf

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Steuerdiagramm

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

- A Auslass
- AO Auslass öffnet
- AS Auslass schließt
- E Einlass
- EO Einlass öffnet
- ES Einlass schließt
- OT oberer Totpunkt
- UOT Überschneidungs-Ort
- ZOT Zünd-Ort
- UT unterer Totpunkt
- ZZ Zündzeitpunkt



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Nockenwelle

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

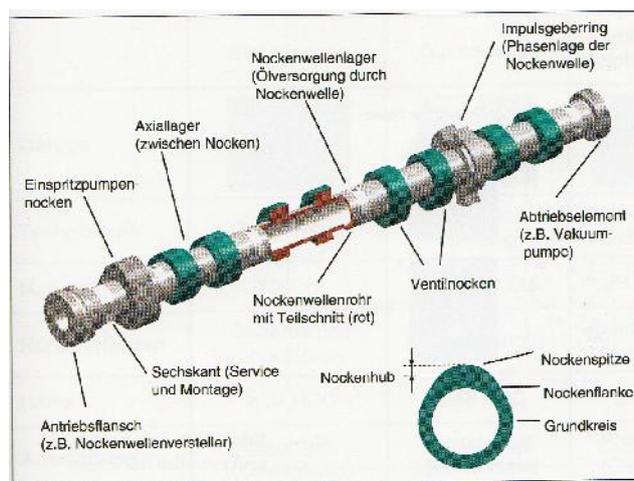


Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2013

Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Nockenwelle

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

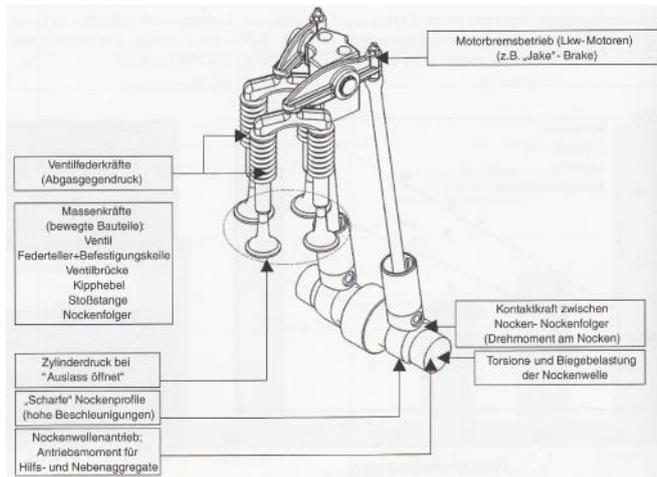


Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2013

Gaswechsel 4-Takter  
Zylinderkopf  
Nockenwelle

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



Nockenwellenbelastung, Einflüsse

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2013

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

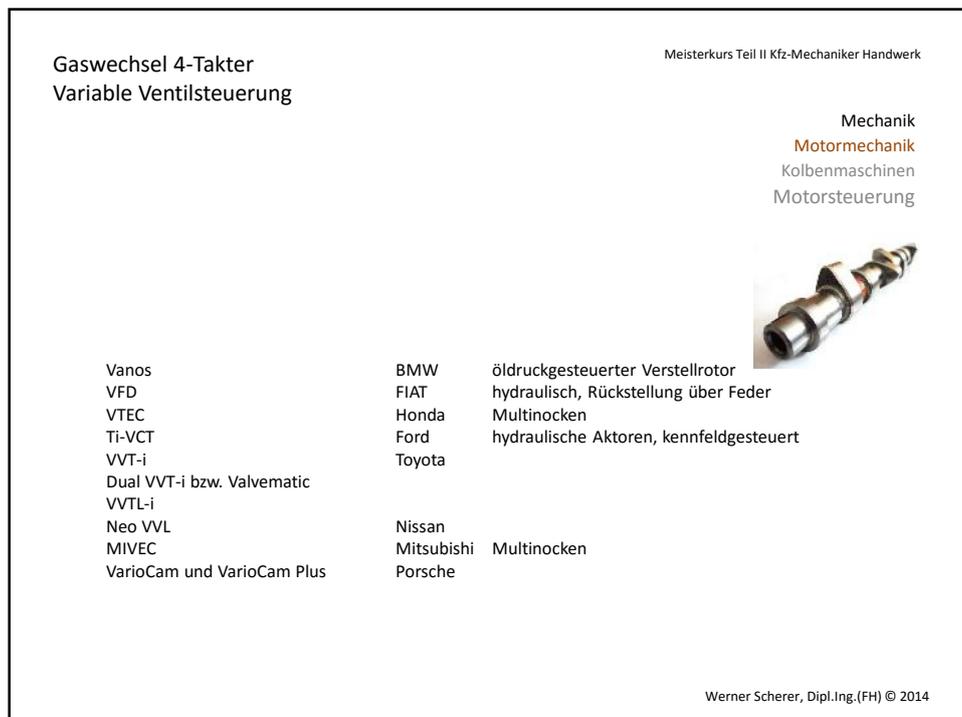
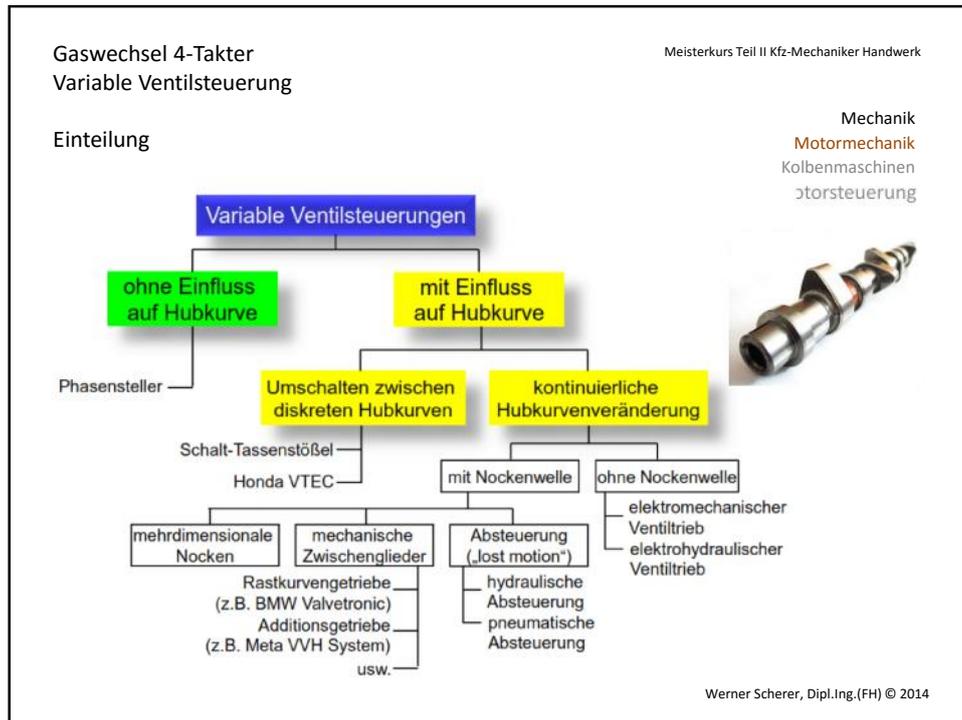
Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Nockenwellenverdrehung  
Nockenwellenumschaltung  
Valvetronic



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

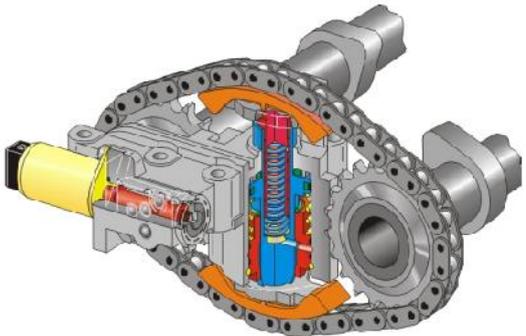
Phasensteller

Hydraulische Veränderung der Last-Drum-Länge

ohne Einfluß auf Hubkurve

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

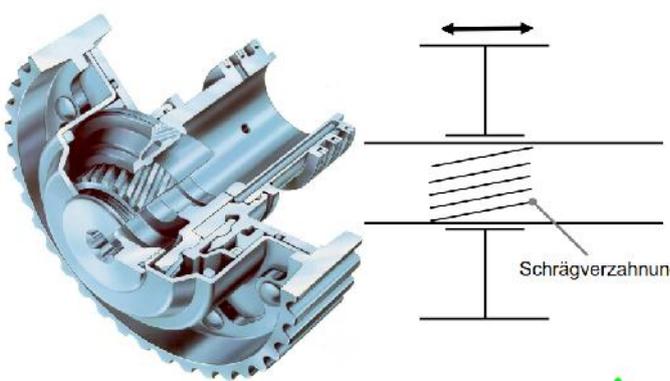
Nockenwellenversteller

Verdrehung über Schrägverzahnung, hydraulisch betätigt

ohne Einfluß auf Hubkurve

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Flügelzellensteller

Geregelte Stellung      Ausgangsstellung

Verstellbereich:  
< 60 °KW  
Verstellzeit:  
0,4 ... 0,5 °KW/ms

ohne Einfluß  
auf Hubkurve

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Verriegelung von Schleppebeln

Honda VTEC

Umschalten zwischen diskreten Hubkurven

Druckölleitung

Schleppebel

Verriegelungsbolzen

Nocken

Ventilhub

Kurbelwinkel

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Verriegelung von Schleppebeln

**Umschalten zwischen diskreten Hubkurven**

**entriegelter Zustand**

**verriegelter Zustand**

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

VarioCam

Schaltbare Tassenstößel  
verstellen den Ventilhub,  
2 ineinanderliegende Stößel,  
verriegelbar, wahlweise steiler  
oder flacher Nocken

Steuerzeitenveränderung über  
Flügelzellenversteller

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

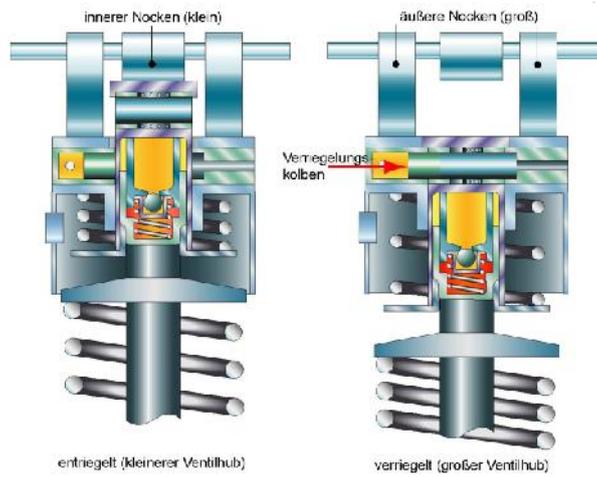
Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Umschalten zwischen  
diskreten Hubkurven

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

VarioCam

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Verstellung



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Hubumschaltung (Audi AVS)

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



Umschalten zwischen  
diskreten Hubkurven

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

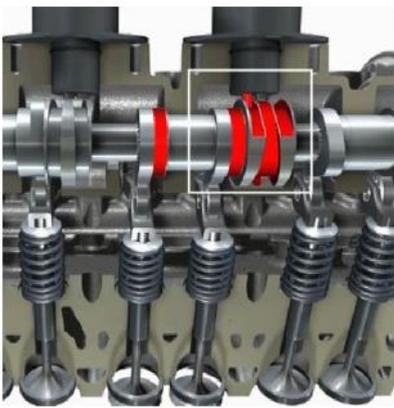
Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Hubumschaltung (Audi ZAS)

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



- Steuerlift elektromagnetisch ausfahrbar
- Kurvenbahn verschiebt den Nocken während der Grundkreisphase



**Umschalten zwischen diskreten Hubkurven**

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Hubumschaltung (Audi ZAS)

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

**Zylinderabschaltung (Zyl. 2+3):**  
„Null-Nocken“ = Grundkreis



Ventile Zyl. 2+3 geschlossen

**Umschalten zwischen diskreten Hubkurven**

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

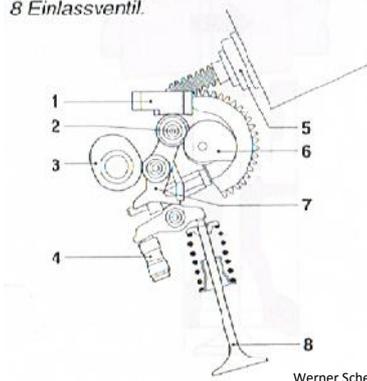
Valvetronic

Rollenschlepphebel,  
Spielausgleich, Nockenwelle

Zusätzlich  
Zwischenhebel, Exzenterwelle,  
Rückstellfeder

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

**Grundprinzip der VALVETRONIC (Bild B):**  
 1 Kulisse, 2 Drehpol, 3 Nockenwelle,  
 4 Hydraulischer Ventilspielausgleich (HVA),  
 5 Verstelltrieb mit Schraubradgetriebe,  
 6 Exzenterwelle, 7 Zwischenhebel,  
 8 Einlassventil.



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

kontinuierliche  
Hubkurvenveränderung

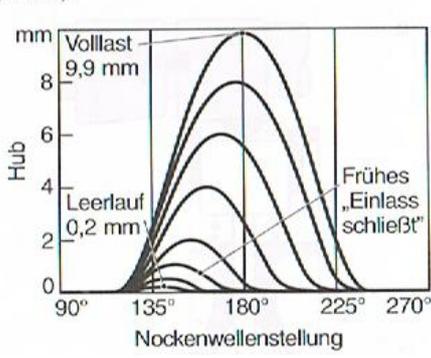
Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Valvetronic

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

**Ventilhubverläufe bei der VALVETRONIC (Bild A).**



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

kontinuierliche  
Hubkurvenveränderung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Mehrdimensionale Nocken (Fiat Lancia)

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

kontinuierliche Hubkurvenveränderung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

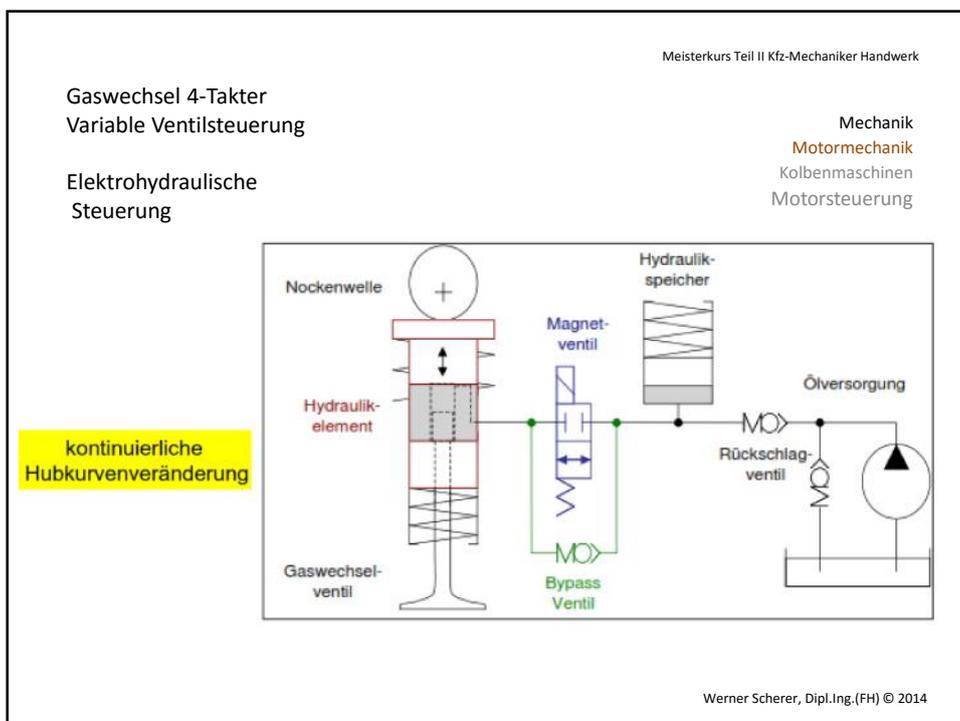
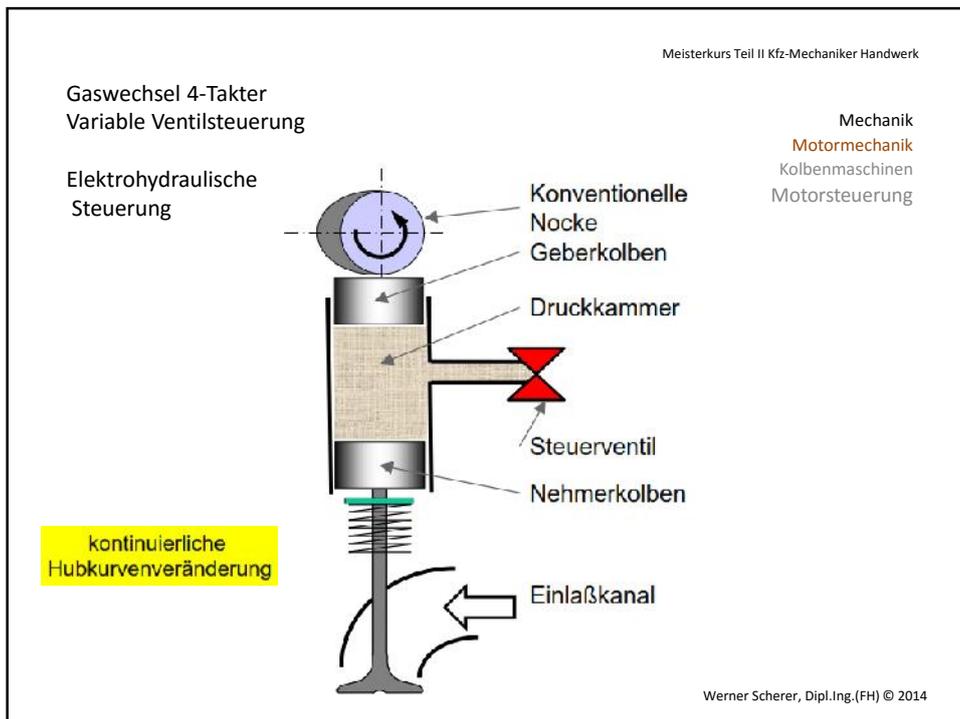
Variables Hebelverhältnis

Renault 1902 !!

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

kontinuierliche Hubkurvenveränderung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

kontinuierliche  
Hubkurvenveränderung

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Elektrohydraulische  
Steuerung

**Elektrohydraulische Ventilsteuerung.** Ähnlich einer konventionellen Steuerung drückt die Nocke (A) zunächst auf einen Tassenstößel (B). Darunter befindet sich ein Kolben (C), der in den eigentlichen Ölraum eindringt und das hier angesammelte Öl bei der Hubbewegung verdichtet. Das Öl drückt nun auf einen weiteren Kolben (D), der seinerseits das Ein- oder Auslassventil (G) betätigt. Wird nicht die volle Übertragung der Hubbewegung des Kolbens (C) auf den Kolben (D) gewünscht, öffnet man das Magnetventil (H). Jetzt entweicht ein Teil des Öles in den Speicherraum (E), und damit erreicht man ein neues Öffnungsgesetz für das Ventil (G). Zwei Rückschlagventile stellen den richtigen Ölfluß sicher. Über die Öffnung (F) ist das System mit dem Motorölkreislauf verbunden.

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

kontinuierliche  
Hubkurvenveränderung

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Elektrische Ventilbetätigung

**Schließt-Position**      **Mittellage**      **Öffnet-Position**

Aktuator-Feder      Aktuator-Feder      Aktuator-Feder

Schließer-Magnet      Schließer-Magnet      Schließer-Magnet

Anker      Anker      Anker

Öffner-Magnet      Öffner-Magnet      Öffner-Magnet

Ventil-Feder      Ventil-Feder      Ventil-Feder

Ventil      Ventil      Ventil

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

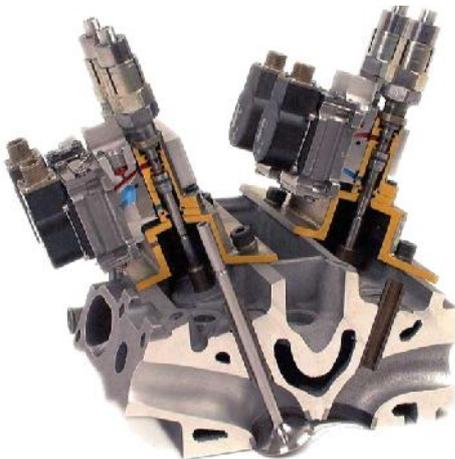
Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Elektrische Ventilbetätigung

Lotus

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

kontinuierliche  
Hubkurvenveränderung



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Detailed description: This image shows a cutaway view of a Lotus engine's variable valve timing (VVT) mechanism. It features two intake valves, each with a camshaft. The camshaft is connected to a hydraulic actuator that can adjust the cam's profile, thereby changing the valve's lift and timing. The mechanism is shown in a cutaway view to reveal the internal components like the camshaft, lifters, and hydraulic actuators.

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Elektrische Ventilbetätigung

BMW

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung



kontinuierliche  
Hubkurvenveränderung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Detailed description: This image shows a cutaway view of a BMW engine's variable valve timing (VVT) mechanism. It features two intake valves, each with a camshaft. The camshaft is connected to a hydraulic actuator that can adjust the cam's profile, thereby changing the valve's lift and timing. The mechanism is shown in a cutaway view to reveal the internal components like the camshaft, lifters, and hydraulic actuators.

## Gaswechsel 4-Takter Variable Ventilsteuerung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

- 1) FES: Frühes Einlaß Schließen  
2) SES: Spätes Einlaß Schließen  
3) FEO: Frühes Einlaß Öffnen  
4) SEO: Spätes Einlaß Öffnen

		Ladungs- wechsel- verluste	Gemisch- bildung	Verbrenn. Magerlauf- fähigkeit	Kaltstart	Restgas- steuer- barkeit	Kraftstoff- verbrauch	Abgas- emission	Steuerbar- keit	Ge- räusch (LDW, Verbrenn)
Drosselregelung			--	++	+	--	o	--	+	+
Variable Ventil - Öffnungs- dauer	FES <sup>1)</sup> FEO <sup>3)</sup>		++	--	--	--	+	+	-	o
	SEO <sup>4)</sup>		-	+	+	o	--	-	+	--
	SES <sup>2)</sup> FEO <sup>3)</sup>		++	--	--	--	+	-	--	-
	SEO <sup>4)</sup>		--	+	++	++	--	-	o	--
Variabler Ventilhub			--	++	++	++	+	--	++	+
kontin. variable Dauer stufenw. variabler Hub			+ (+)	-	-	-	+	o	- (o)	o
kontinuierlich variabler Ventilhub und -dauer			+ (+)	++	++	++	+	++	+ (+)	+

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

## Gaswechsel 4-Takter Variable Ventilsteuerung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

### Vorteile

- + Hub und/oder Steuerzeit variabel
- + geringere Ladungswechselverluste
- + Vergleichmäßigung des Drehmoments
- + höheres Vollastdrehmoment
- + weniger Reibung (bei kleinen Ventilhuben)
- + Senkung Kraftstoffverbrauch

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Variable Ventilsteuerung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Nachteile

Aufwändige Zylinderkopfkonstruktion  
Anforderungen an Fertigung (Präzision, Toleranzen, Oberfläche,...)  
Höhere Serviceanforderungen (Demontage, Einstellung,...)  
Höhere Reibung bei großen Ventilhuben

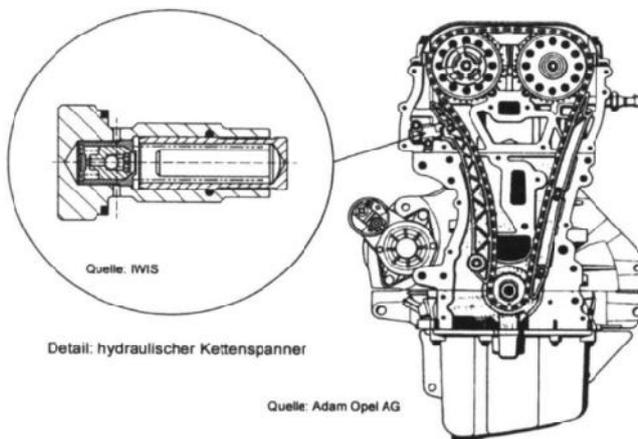
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Nockenwellenantrieb

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Steuerkette



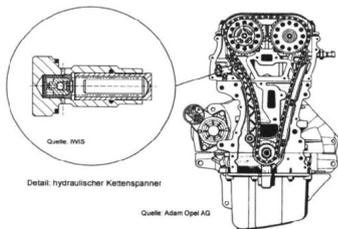
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Nockenwellenantrieb

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Steuerkette



Quelle: VW5

Detail: hydraulischer Kettenspanner

Quelle: Adam Opel AG

Weit verbreitet  
Antrieb obenliegender Nockenwelle  
Dämpfer + Spanner erforderlich  
Rollenkette ist geräuscharm  
Kapselung und Schmierung erforderlich  
Kettenlängung über Laufzeit

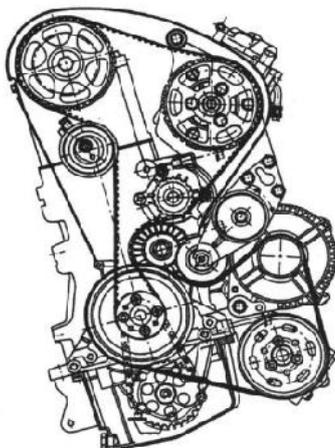
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 4-Takter  
Nockenwellenantrieb

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Zahnriemen



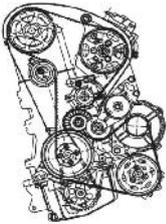
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Nockenwellenantrieb

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Zahnriemen



Aus Kunststoff mit Längsfasern  
Antrieb obenliegende Nockenwelle  
Preiswert  
Leise  
Lauf in ölfreien Raum !!  
Dauerhaltbarkeit begrenzt  
Antrieb Nebenaggregate möglich

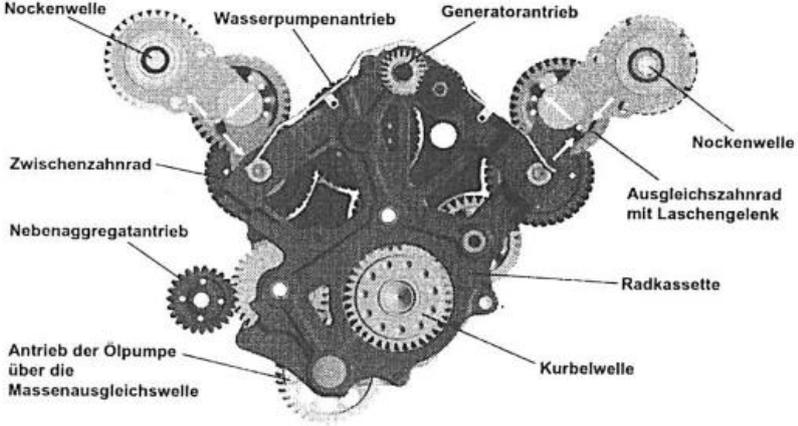
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 4-Takter  
Nockenwellenantrieb

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

Rädertrieb



Nockenwelle      Wasserpumpenantrieb      Generatorantrieb

Zwischenzahnrad

Nebenaggregatantrieb

Antrieb der Ölpumpe über die Massenausgleichswelle

Nockenwelle

Ausgleichszahnrad mit Laschengelenk

Radkassette

Kurbelwelle

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 2-Takter

Spülverfahren

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

- A Ventil
- B Gegenkolben
- C Doppelkolben
- D Querstromspülung
- E Umkehrspülung (MAN)
- F Umkehrspülung (Schnürle)

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gaswechsel 2-Takter

Spülverfahren

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Motorsteuerung

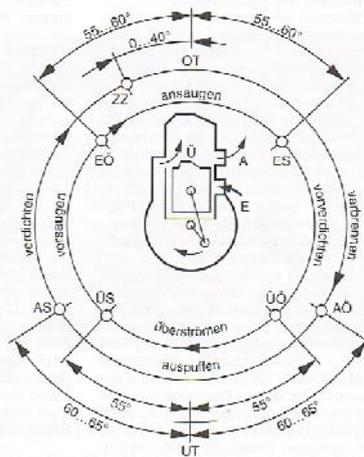
Querspülung      Umkehrspülung      Gleichstromspülung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Gaswechsel 2-Takter

Steuerdiagramm

- A Auslass.
- AO Auslass öffnet.
- AS Auslass schließt.
- E Einlass.
- EO Einlass öffnet.
- ES Einlass schließt.
- Ü Überstromkanal
- schließt.
- ÜÜ Überstromkanal
- ÖS Überstromkanal
- öffnet.
- OT oberer Totpunkt.
- UT unterer Totpunkt.
- ZZ Zündzeitpunkt.

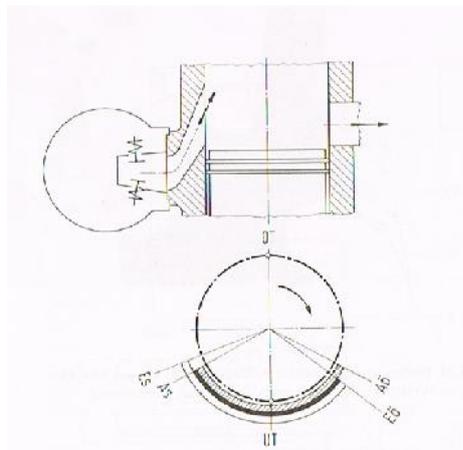


Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Motorsteuerung

Gaswechsel 2-Takter

Unsymmetrisches Steuerdiagramm



Unsymmetrie erzeugt durch

- Rückschlagklappen
- Drehschieber
- Flachschieber
- Rohr/Hülsenschieber
- etc.

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Motorsteuerung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Ladungswechsel

Mechanik  
**Motormechanik**  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung

Der Ladungswechsel wirkt sich aus auf

- maximale Leistung
- Maximales Drehmoment
- Abgaszusammensetzung (NOx + HC)
- spezifischer Kraftstoffverbrauch
- Laufruhe

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Ladungswechsel

Mechanik  
**Motormechanik**  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung

**Vollastverhalten**

Direkte Einflussgrößen bestimmen das Potential, Arbeit zu leisten.

Indirekte Einflussgrößen bestimmen die Effizienz der Umsetzung.

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Ladungswechsel  
Liefergrad

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Luftaufwand  $\lambda_a$

$$\lambda_a = \frac{m_g}{m_{th}}$$

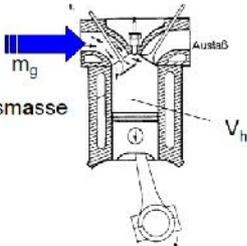
$m_g$  gesamte geförderte Frischladungsmasse  
Ottomotor:  $m_g = m_B + m_L$   
Dieselmotor:  $m_g = m_L$

$m_{th}$  theoretische Luftmasse  
 $m_{th} = \rho_L V_H$

Liefergrad  $\lambda_l$

$$\lambda_l = \frac{m_z}{m_{th}}$$

$m_z$  im Zylinder verbleibende Frischladungsmasse  
 $m_z = m_g - m_{sp}$



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

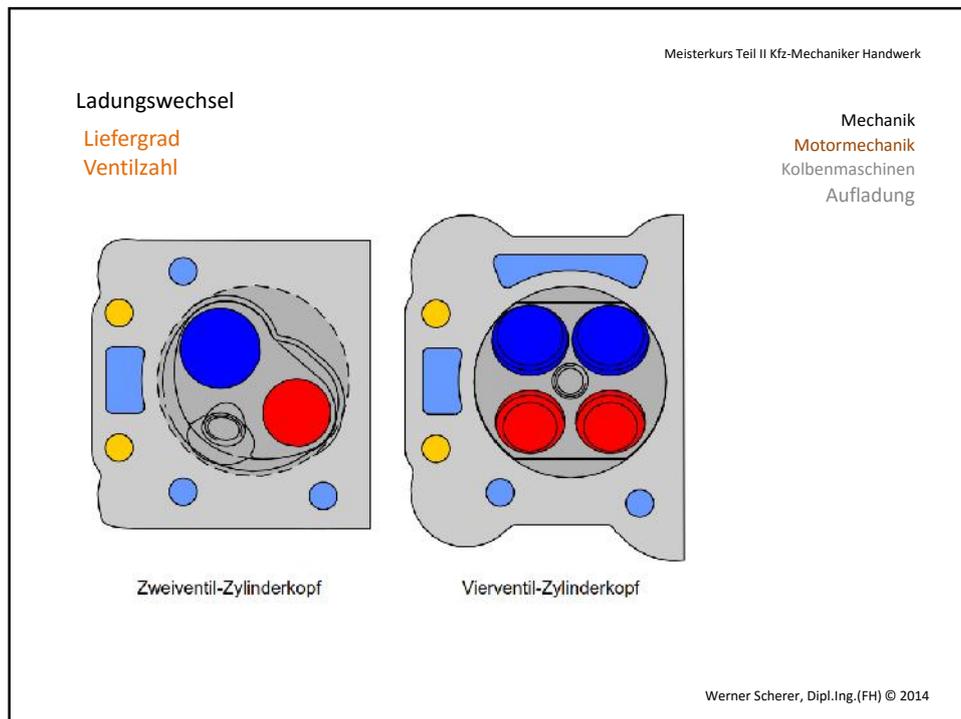
Ladungswechsel  
Liefergrad

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Einflussgrößen

- Strömungsverluste
- Temperatur der zugeführten Luftmasse
- Luftdruck
- Spülverluste

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Ladungswechsel  
 Liefergrad  
 Mehrventiltechnik

Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung

**Vorteile**

- bessere Füllung durch größere Öffnungsquerschnitte der Ventile
- geringere Massenkräfte (kleinerer Ventilhub, kleinere Ventilmasse)
- geringere Ventilttemperaturen
- günstigere Brennraumform (vor allem bei direkteinspritzenden Dieselmotoren)
- günstigere, zentrale Anordnung von Zündkerze bzw. Einspritzdüse

**Nachteile**

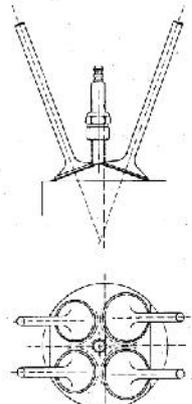
- aufwendigere Gestaltung des Ventiltriebs
- aufwendigere Gestaltung des Zylinderkopfes (Wasserkanäle, Ölskanäle, Ladungswechselkanäle)

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Ladungswechsel  
Liefergrad  
Mehrventiltechnik

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung




- Dachförmiger Brennraum
- paarweise, parallele Ventile

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Aufladung

Aufladung dient der Leistungssteigerung  
Durch Erhöhung des mittleren Arbeitsdrucks steigt die indizierte Leistung

$P_i = p_i \cdot V_h \cdot z \cdot n \cdot i$

$P_i$  = innere Motorleistung  
 $p_i$  = indizierter Mitteldruck  
 $V_h$  = Hubraum  
 $Z$  = Zylinderzahl  
 $n$  = Drehzahl  
 $i$  = Arbeitszyklen/Umdrehung

(Einsetzen kohärenter SI-Einheiten erforderlich)

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



**Der Stellenwert bei Verbrauchs- und Emissionsreduktion ist nicht unerheblich**

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

Der Liefergrad liegt (deutlich) über 1

$$P_i = \lambda \cdot V_h \cdot z \cdot n \cdot i$$

mit

$$P_i = \lambda \cdot H_g \cdot \eta_i$$

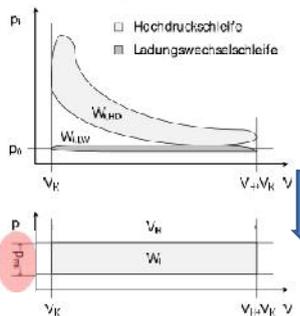
- $\lambda$  = Liefergrad
- $H_g$  = Heizwert
- $\eta_i$  = indizierter Wirkungsgrad



Viertaktprozess

$$W_i = \int_{V_K}^{V_A} p_i dV - \int_{V_K}^{V_{LW}} p_i dV + \int_{V_{LW}}^{V_A} p_i dV = W_{i,HD} + W_{i,LW}$$

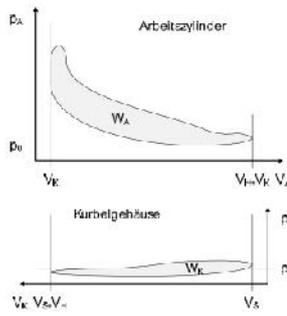
$$P_i = \frac{W_i}{V_h} = \frac{1}{V_h} \int_{V_K}^{V_A} p_i dV$$



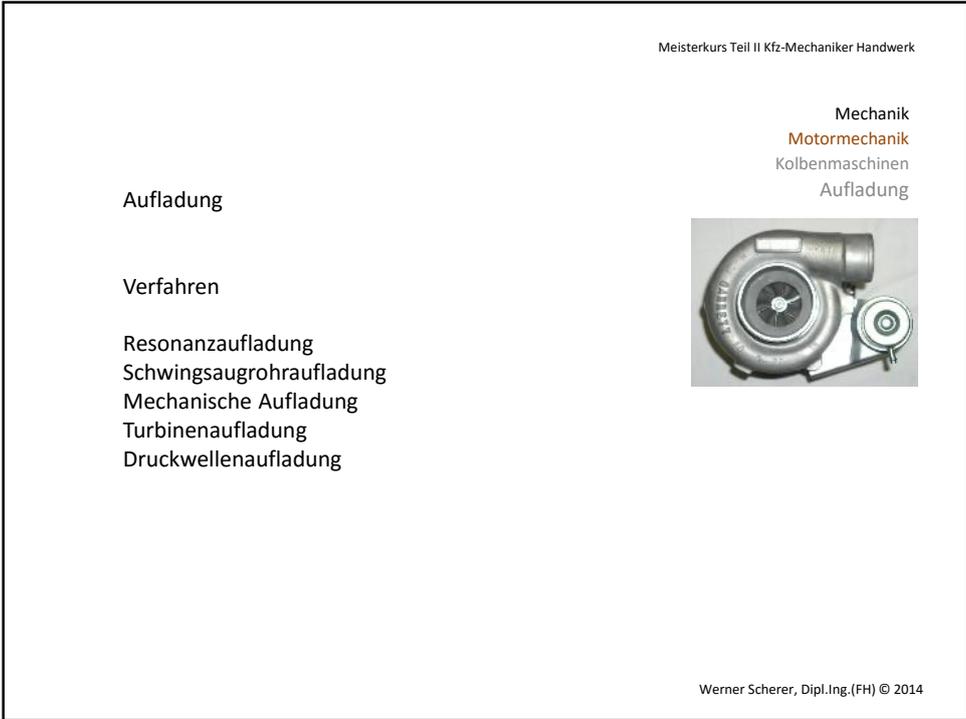
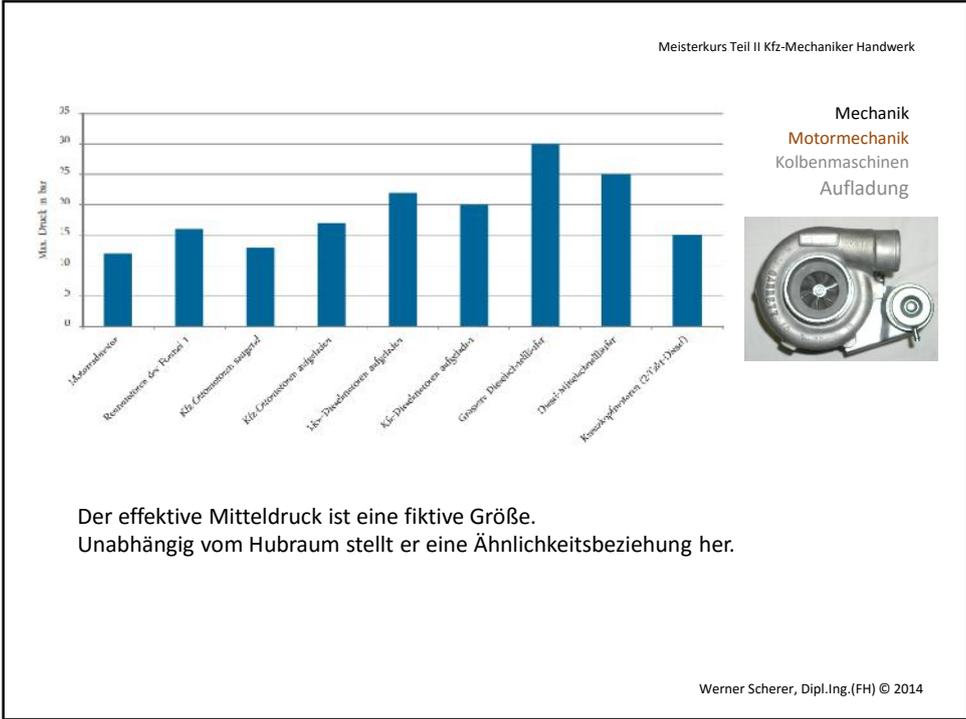
Zweitaktprozess

$$W_A = \int_{V_K}^{V_A} p_A dV > 0 \quad W_K = \int_{V_K}^{V_A} p_K dV < 0$$

$$W_i = W_A + W_K$$



$p_i$  = indizierter Mitteldruck

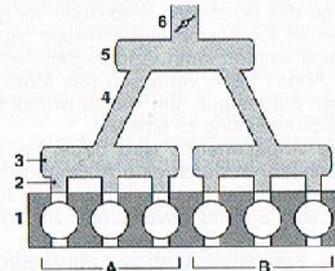


### Aufladung

#### Resonanzaufladung

Periodische Kolbenbewegungen erzeugen Gasschwingungen  
 Im Saugrohr. Zylinder mit gleichem Zündabstand werden über kurze Saugrohre mit einem Resonanzbehälter verbunden. Länge und Größe in Abhängigkeit des gewünschten Drehzahlbereiches für die Aufladung

**Resonanzaufladung (Prinzip).**  
 1 Zylinder, 2 kurzes Saugrohr,  
 3 Resonanzbehälter, 4 Resonanzsaugrohr,  
 5 Sammelbehälter, 6 Drosselklappe.  
 A Zylindergruppe A, B Zylindergruppe B.



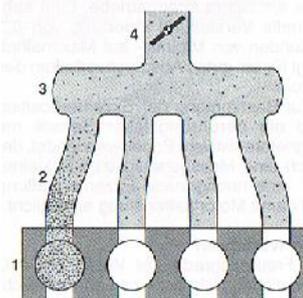
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

### Aufladung

#### Schwingsaugrohraufladung

Jeder Zylinder hat ein Schwingrohr.  
 Anpassung von Rohrdurchmesser an Hubraum und Rohrlänge an Drehzahlbereich erforderlich

**Schwingsaugrohraufladung (Prinzip).**  
 1 Zylinder,  
 2 Einzelschwingrohr,  
 3 Sammelbehälter,  
 4 Drosselklappe.



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

Schwingsaugrohraufladung

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

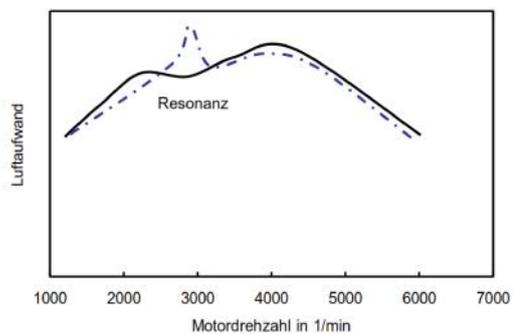
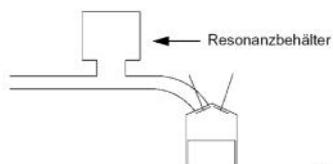


Ford Fiesta

Aufladung

Resonanzbehälter

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Aufladung

Resonanzbehälter

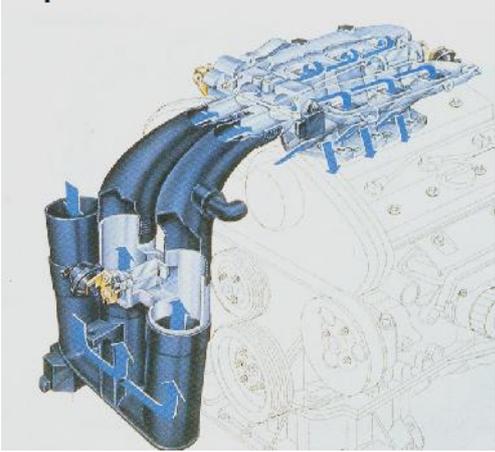
GM Powertrain V6

Mechanik

Motormechanik

Kolbenmaschinen

Aufladung



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Aufladung

Resonanzbehälter

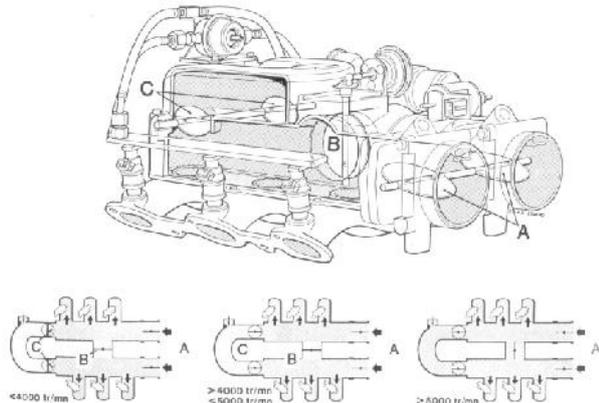
Peugeot V6

Mechanik

Motormechanik

Kolbenmaschinen

Aufladung



$< 4000 \text{ tr/min}$        $> 4000 \text{ tr/min} < 5000 \text{ tr/min}$        $> 5000 \text{ tr/min}$

Funktionsschema des Peugeot-Saugsystems: Zwei synchrone Drosselklappen (A) regeln die Füllung. Bis 4000/min bleiben die zentrale Drosselklappe (B) und die beiden Klappen (C) geschlossen, der Motor läuft wie zwei Dreizylinder. Ab 4000/min werden zunächst die Klappen (C) geöffnet, ab 8000/min die zentrale Klappe (B). Mit dieser Klappenstellung wird die Höchstleistung erreicht.

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

### Aufladung

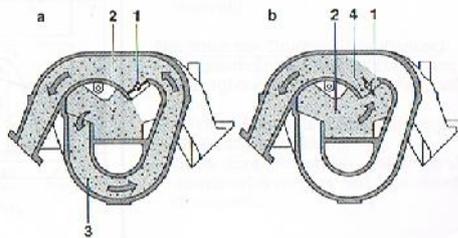
#### Schwingsaugrohraufladung

Um größere Drehzahlbereiche abzudecken werden verstellbare Saugrohrsysteme eingesetzt

#### Schwingsaugrohrsystem (Prinzip).

a) Saugrohrgeometrie bei geschlossener Umschalklappe.  
 b) Saugrohrgeometrie bei geöffneter Umschalklappe.

1 Umschalflappe,  
 2 Sammelbehälter,  
 3 langes, dünnes Schwingsaugrohr bei geschlossener Umschalflappe,  
 4 kurzes, weites Schwingsaugrohr bei geöffneter Umschalflappe.



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

### Aufladung

#### Einlass- Geometrie



#### Mögliche Variationsmöglichkeiten:

- variable Saugrohrlänge
- variable Resonanzvolumen
- schaltbare Saugrohr-Querschnitte (Kanalabschaltung)

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

Einlass- Geometrie

gewichtsoptimiertes Kunststoffdesign

Längenschaltung durch Schaltwalze

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

Einlass- Geometrie

längeres Saugrohr

verstimmte Gasdynamik + Drosselverluste

Luftaufwand

Motordrehzahl in 1/min

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

Einlass- Geometrie

Audi V6

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Drehmomentstellung

Leistungsstellung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

The image contains two technical diagrams of an Audi V6 engine's intake system. The left diagram, labeled 'Drehmomentstellung' (torque setting), shows a blue flow path that is relatively direct and short. The right diagram, labeled 'Leistungsstellung' (power setting), shows a more complex, longer, and more convoluted blue flow path designed to increase air velocity. Red arrows indicate the intake air flow direction.

Aufladung

Einlass- Geometrie

BMW V8

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Kontinuierlich variable Saugrohrlänge

Aktive Rohrlänge

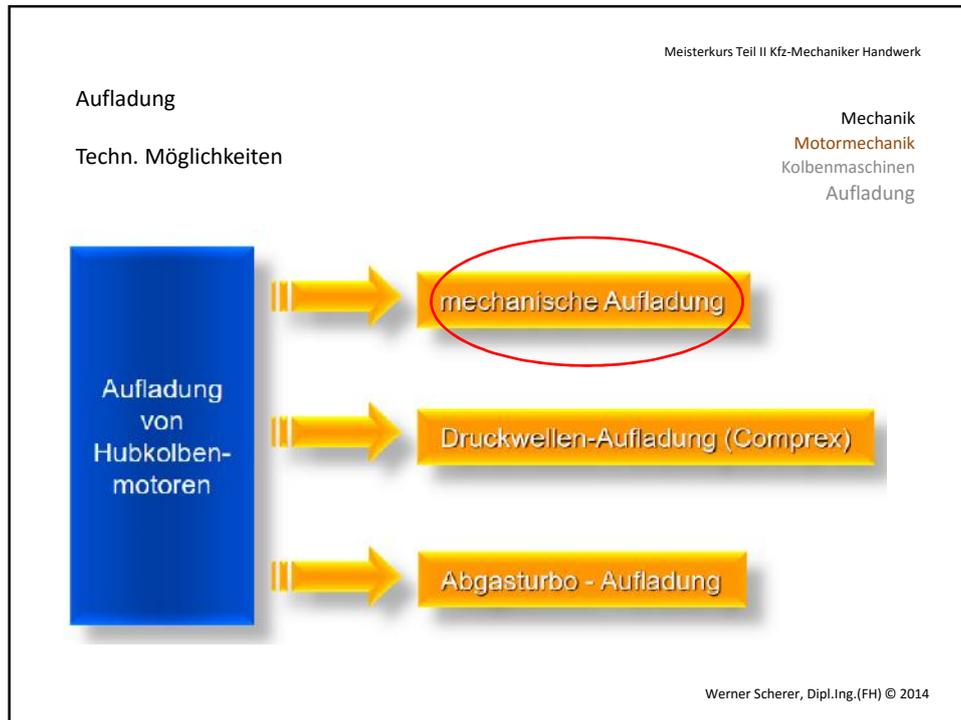
Luftführung

Totvolumen

Quelle: MTZ 04-2009, Mess/Haerndel

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

The image features a 3D cutaway model of a BMW V8 engine's intake manifold on the left, with a yellow box highlighting the text 'Kontinuierlich variable Saugrohrlänge' (continuously variable intake length). On the right is a schematic diagram of a curved intake pipe. It shows air flow (orange arrow) entering from the left, curving around a bend, and exiting to the right. Labels include 'Aktive Rohrlänge' (active pipe length) pointing to the curved section, 'Luftführung' (air flow) pointing to the air path, and 'Totvolumen' (dead volume) pointing to the space at the end of the pipe. A small source note at the bottom of the schematic reads 'Quelle: MTZ 04-2009, Mess/Haerndel'.

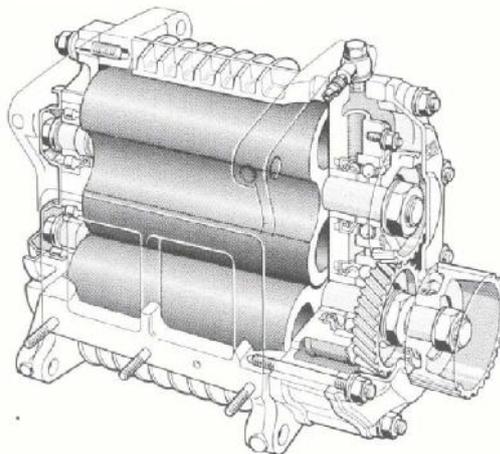


Aufladung

Roots-Gebläse

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



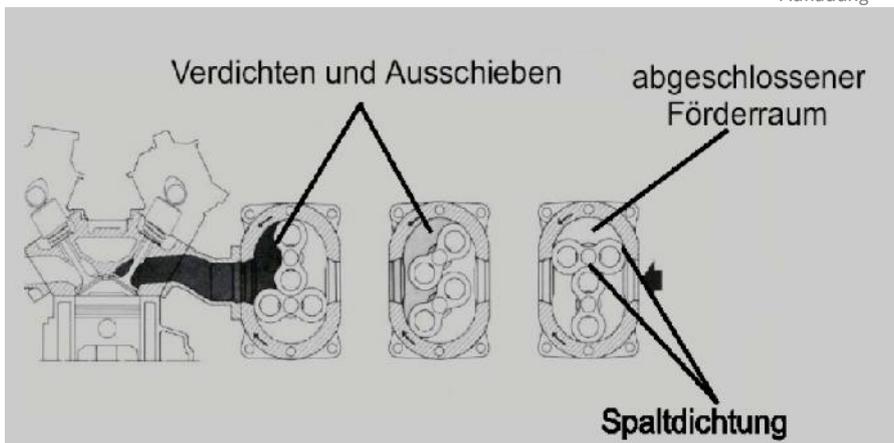
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

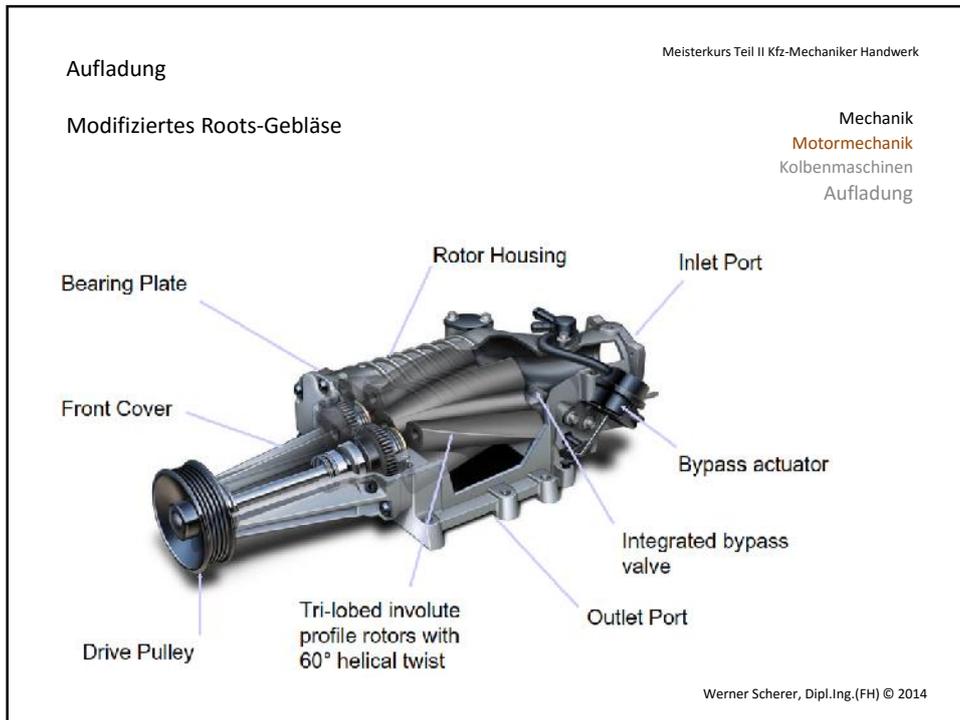
Roots-Gebläse

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



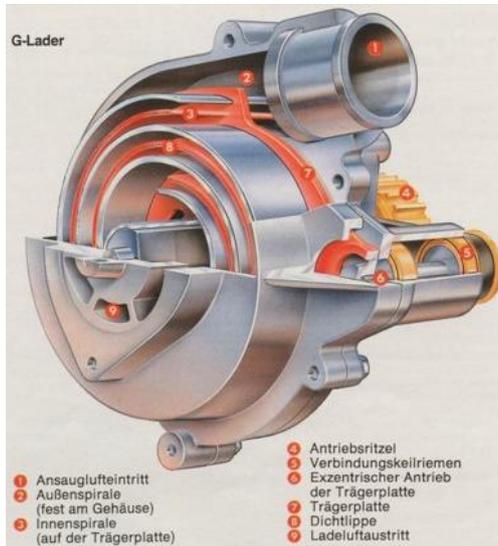
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



## Aufladung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

## G-Lader



Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

## Aufladung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

## Mechanische Aufladung

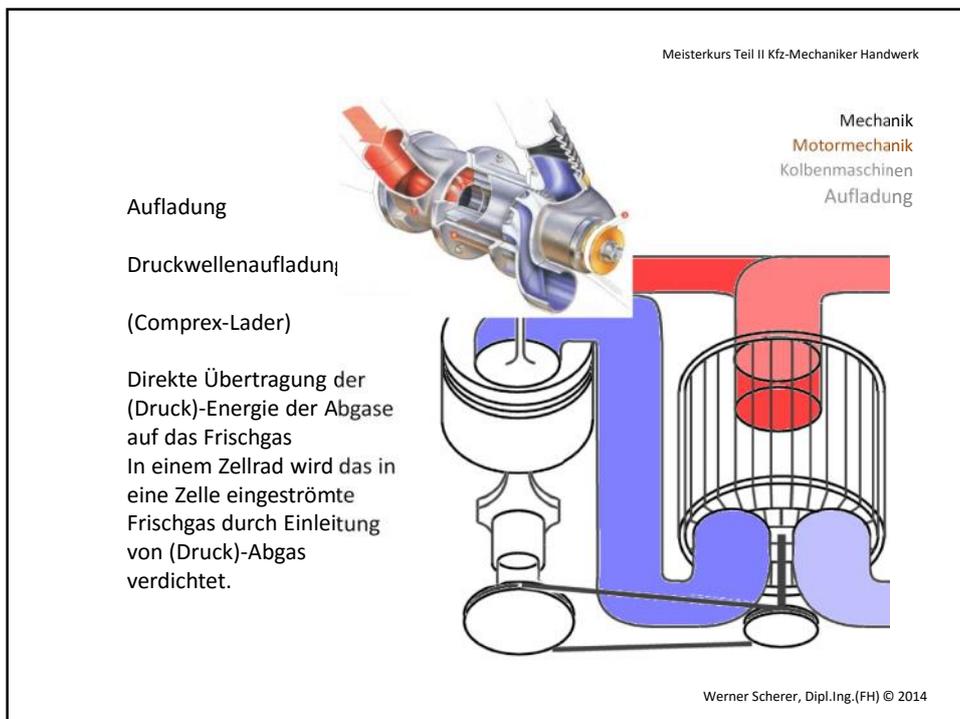
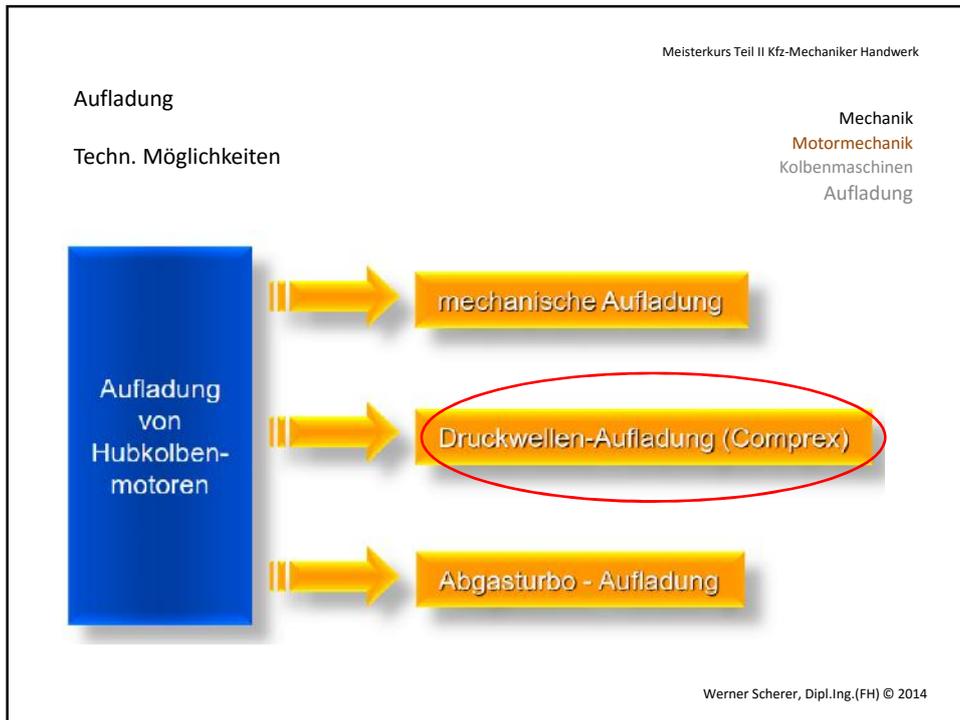
Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung

- Aufladegrade (Druckverhältnisse) bis 1,8 ohne innere Verdichtung möglich (z.B. Roots-Gebläse)  
mit innerer Verdichtung bis 2,5 (z.B. Lysholm)
- erreichbares Druckverhältnis nahezu unabhängig von der Drehzahl
- Luftmassenstrom proportional der Motordrehzahl
- direktes Ansprechverhalten
- kein Einfluss auf die Abgastemperatur in der Teillast
- in der Teillast wird der Lader nicht gebraucht:
  - Abschalten des Laders über Kupplung
  - Rezirkulieren der Ladeluft über Bypassleitung

Verlustleistung in der Teillast > 0,5 kW

(bis zu 40 kW wenn der Lader Druck bei geschlossener Drosselklappe aufbaut)

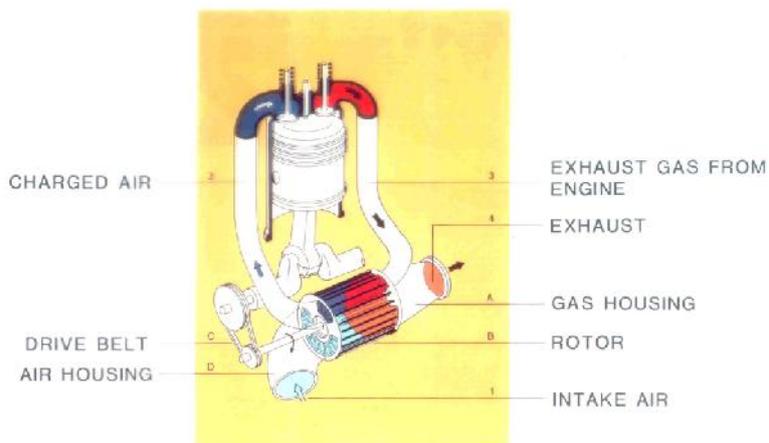
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



Aufladung  
Druckwellenaufladung  
(Comprex-Lader)

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

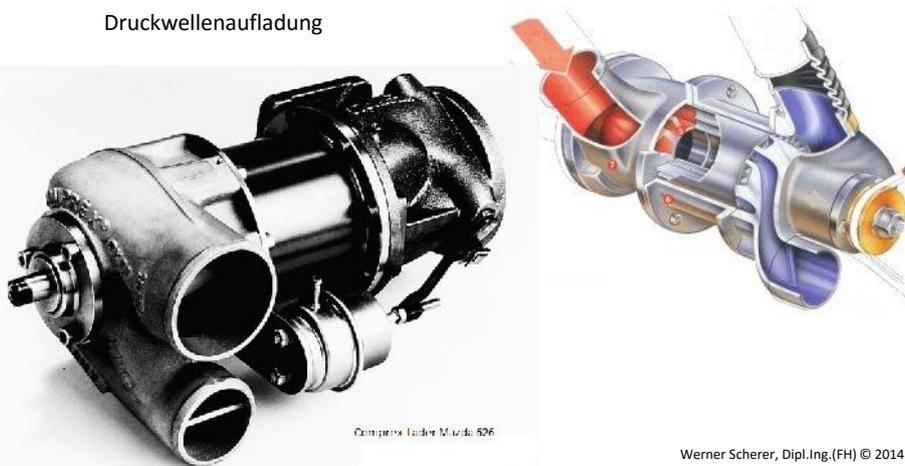


Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung  
Druckwellenaufladung

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Aufladung

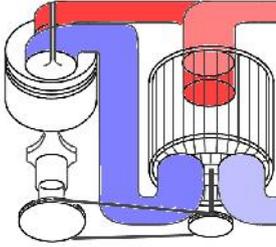
Druckwellenaufladung  
(Comprex-Lader)

Vorteile

Schnelles Ansprechen bei Lastwechseln  
(Energieaustausch mit Schallgeschwindigkeit)  
Hohe Verdichtung bei niedrigen Drehzahlen

Nachteile

Geräusch  
Hohe Spülluftmengen  
Empfindlichkeit gegenüber  
Widerstandserhöhung auf der Niederdruckseite



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Aufladung

Techn. Möglichkeiten



Aufladung von Hubkolbenmotoren

- mechanische Aufladung
- Druckwellen-Aufladung (Comprex)
- Abgasturbo - Aufladung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

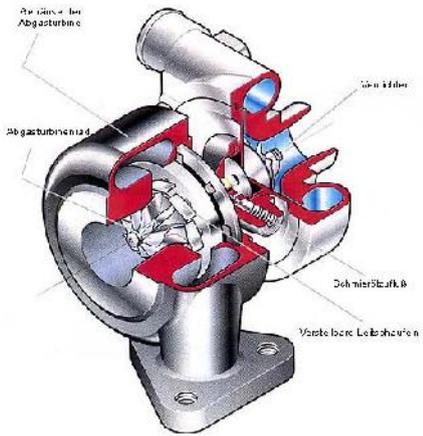
Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Aufladung

Turbinenaufladung  
Abgasturbolader

Die Energie zum Antrieb wird dem Abgas entnommen.

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



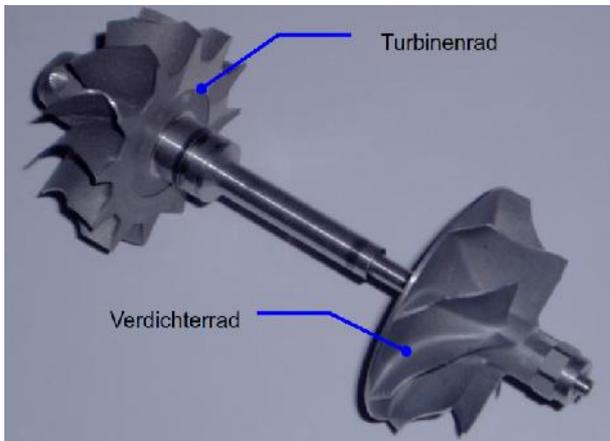
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

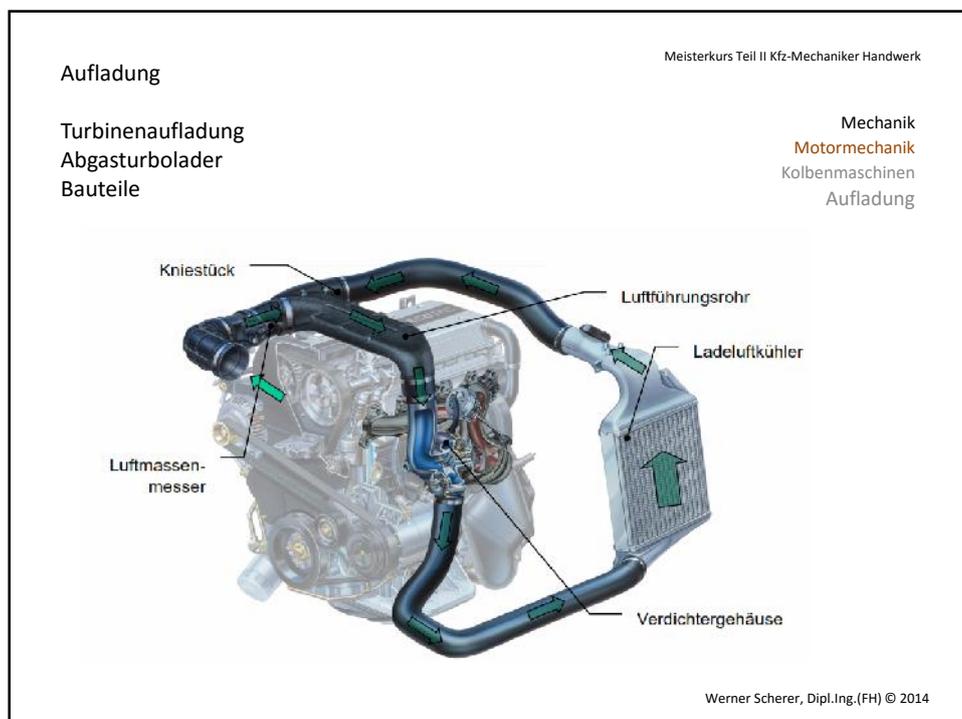
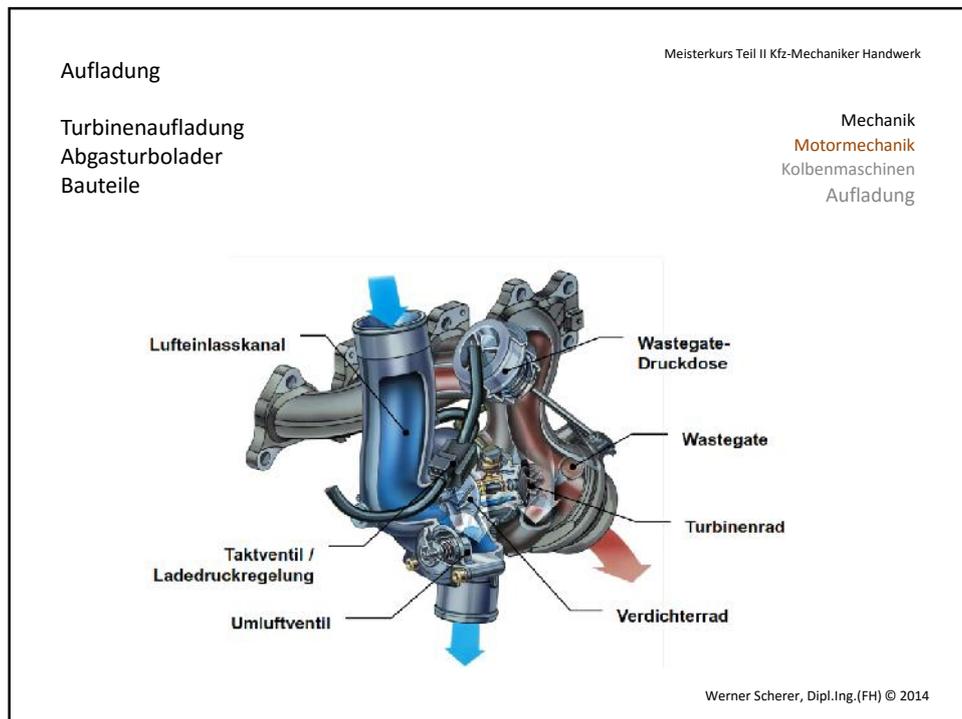
Aufladung

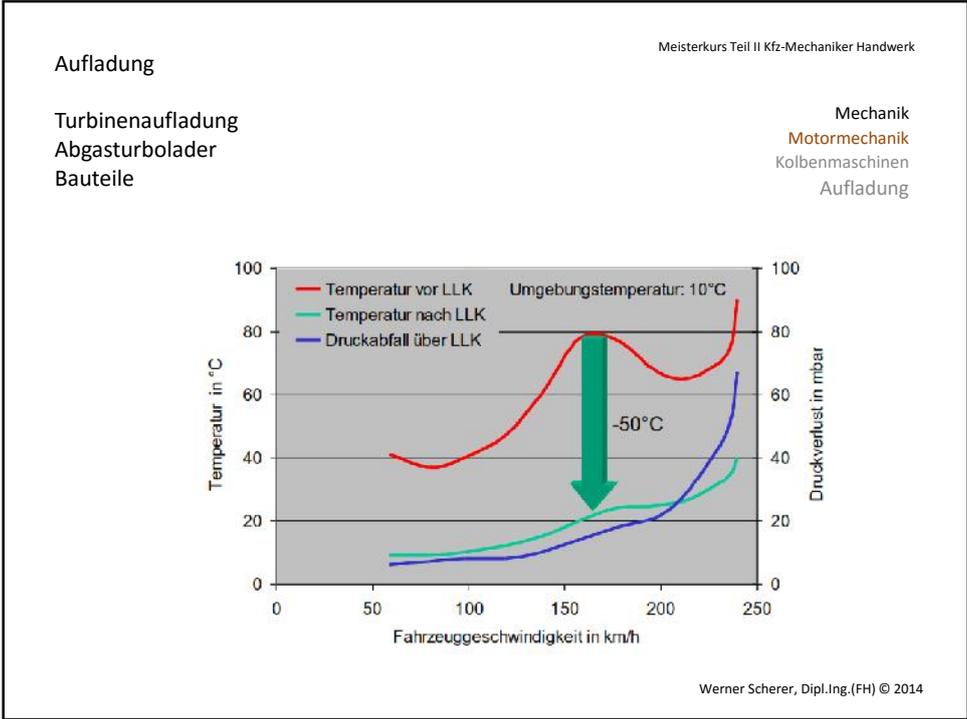
Turbinenaufladung  
Abgasturbolader  
Bauteile

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



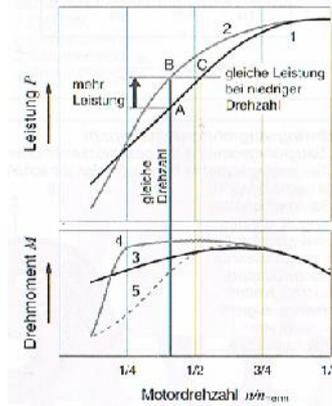


Aufladung

Turbinenaufladung  
Abgasturbolader

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

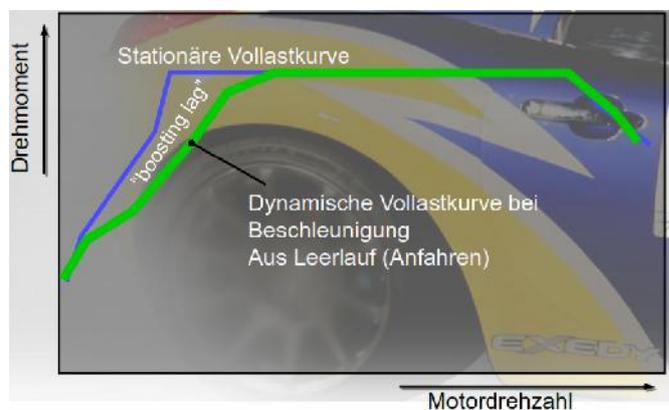
**Leistungs- und Drehmomentverlauf:**  
1, 3 Saugmotor im stationären Betrieb,  
2, 4 Auflademotor im stationären Betrieb,  
5 Drehmomentverlauf des Auflademotors  
im instationären (dynamischen) Betrieb.



Aufladung

Turbinenaufladung  
Abgasturbolader  
„Turboloch“

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Aufladung

Turbinenaufladung  
Abgasturbolader  
„Turboloch“

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Aufladung

Turbinenaufladung  
Abgasturbolader  
„Turboloch“

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

**Prinzip:**

- Elektromotor auf der Laufzeugachse unterstützt den Hochlauf des Turboladers wenn die Abgasenergie zu gering ist

(niedrige Motordrehzahl)

**Vorteile:**

- verbessert Fahrbarkeit und Beschleunigung des Fahrzeugs
- Ladedruck bei niedrigen Drehzahlen unabhängig von der Motorlast
- Kaltstart-Emissionsverbesserung

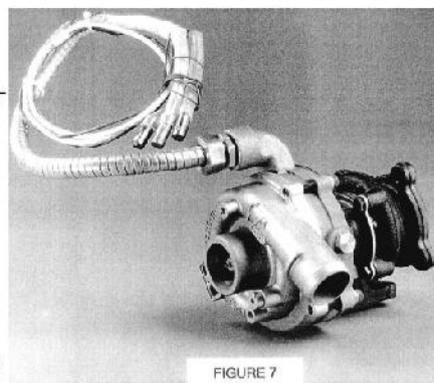


FIGURE 7

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

**Aufladung**

Mechanische Aufladung  
Abgasturbolader

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

**Vorteile**

Steigerung der Hubraumleistung  
Besserer Drehmomentverlauf über Nutzdrehzahlbereich  
Deutliche Senkung des Kraftstoffverbrauchs  
Besser Emissionswerte

**Nachteile**

Teure Werkstoffe (warmfest)  
Bauaufwand und Raumbedarf ( Ladeluftkühler )  
Niedriges Grunddrehmoment  
Ansprechverhalten (Turboloch)

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

**Aufladung**

Mechanische Aufladung  
Abgasturbolader

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Zunehmende Unsicherheit

→ Einführung von T-GDI mit Miller und Hoch AG benötigt schnelles, transientes Ansprechen!

AVL Benchmark

2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035

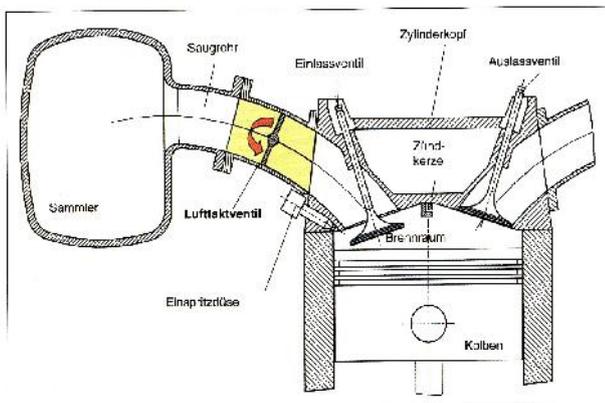
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

Sonderfall Lufttaktventil

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung



Impulsaufladung durch  
 Druckwelleninduktion

Entdrosselte Laststeuerung  
 Zylinderabschaltung  
 Temperatursteuerung

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aufladung

Sonderfall Lufttaktventil

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

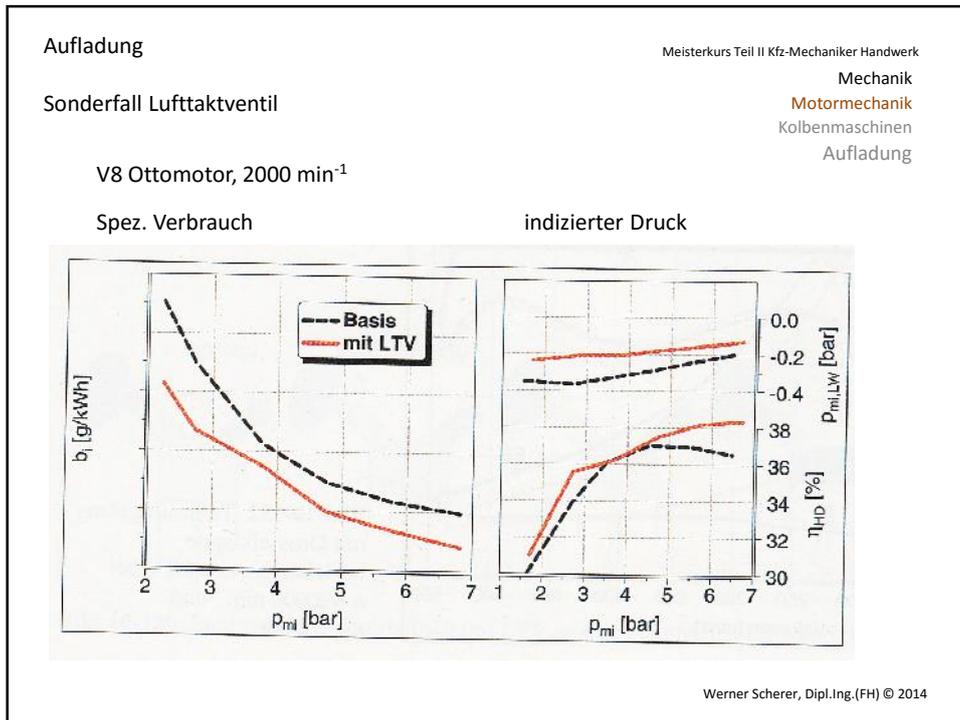
Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung



Fa. MAHLE

Schwenkwinkel 45°  
 Schaltzeit 2,7 ms  
 Leckage < 1m<sup>3</sup>/h (600 mm<sup>2</sup> KQ)

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



**Aktuelle Technologieeinführungen**

Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
 Motormechanik  
 Kolbenmaschinen  
 Aufladung

	klein	mittel	gross	Premium
<b>Bauart</b>	L3, L4	L4	L6, V6	V8 - V16
<b>Hubraum</b>	<1,6 Liter	1,6 – 2,5 Liter	> 2,5 Liter	> 3,0 Liter
<b>Leistung (Saugmotor)</b>	40 ... 75 kW	75 ... 175 kW	115 ... 220 kW	160 ... 380 kW
<b>Leistung (aufgeladen)</b>	50 ... 150 kW	90 ... 230 kW	150 ... 320 kW	190 ... 740 kW

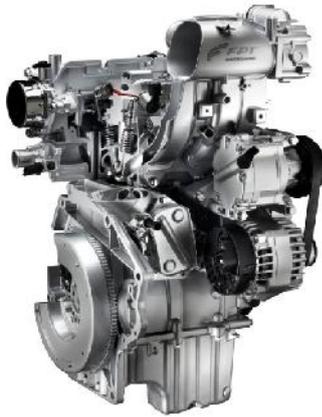
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

### FIAT – 2-Zylinder Turbo



Turboaufladung, MPFI  
Hydraulisch, variabler Ventiltrieb  
Ausgleichswelle

Bauart: Reihe, 2-Zylinder  
Hubraum: 875 cm<sup>3</sup>  
Hub / Bohrung: 86 / 80,5 mm  
Verdichtung: 10,5  
Leistung: 63 kW @ 5500 1/min  
Max. Drehmoment: 155 Nm  
@ 2000 1/min  
Abgasnorm: EU V

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

### Daimler – Smart Motor



Turboaufladung

Bauart: Reihe, 3-Zylinder  
Hubraum: 599 cm<sup>3</sup>  
Hub / Bohrung: 63 / 63,5 mm  
Verdichtung: 9,5  
Leistung: 45 kW @ 5250 1/min  
Max. Drehmoment: 88 Nm  
@ 2250 - 4500 1/min  
Abgasnorm: EU III

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

## Ford – 3-Zylinder EcoBoost



Turboaufladung, Direkteinspritzung (zentral)  
Doppel Nockenwellenversteller

Bauart:	Reihe, 3-Zylinder
Hubraum:	999 cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	82 / 71,9 mm
Verdichtung:	10,0
Leistung:	88 kW @ 6000 1/min
Max. Drehmoment:	170 Nm @ 1500 1/min
Kraftstoff:	95 ROZ
Abgasnorm:	EU V

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

## Volkswagen – 3-Zylinder (Up!)



Saugmotor, MPFI  
Einlaß-Nockenwellenversteller

Bauart:	Reihe, 3-Zylinder
Hubraum:	999 cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	76,4 / 74,5 mm
Verdichtung:	10,5
Leistung:	55 kW @ 6200 1/min
Max. Drehmoment:	95 Nm @ 3000 1/min
Kraftstoff:	95 ROZ
Abgasnorm:	EU V

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
3

## Volkswagen – 1,4 I TSI



Benzindirekteinspritzung, variable  
Steuerzeiten, Doppelaufladung  
(Reihenschaltung von mechanischer  
und Turboaufladung)

Bauart: Reihe, 4-Zylinder  
Hubraum: 1390 cm<sup>3</sup>  
Hub / Bohrung: 75,6 / 76,5 mm  
Verdichtung: 10,0  
Leistung: 118 kW @ 5800 1/min  
Max. Drehmoment: 240 Nm  
@ 1750 ... 4000 1/min  
Kraftstoff: ROZ 98  
Abgasnorm: EU 5

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

## Volkswagen – 1,2 I TSI



Zweiventil Zylinderkopf  
Benzindirekteinspritzung  
Turboaufladung  
Aluminium Druckguß-Zylinderblock  
Thermomanagement mit  
Zweikreiskühlung

Bauart: Reihe, 4-Zylinder  
Hubraum: 1197 cm<sup>3</sup>  
Hub / Bohrung: 75,6 / 71 mm  
Verdichtung: 10,0  
Leistung: 77 kW @ 5000 1/min  
Max. Drehmoment: 175 Nm  
@ 1500 ... 3500 1/min  
Kraftstoff: ROZ 95  
Abgasnorm: EU 5

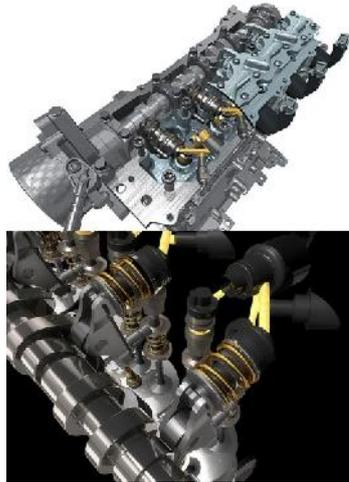
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen

## FIAT – Fire 1,4 I 4V Multiair



Elektrohydraulische Ventilsteuerung  
auf der Einlaßseite  
1 obenliegende Nockenwelle  
Saug- und Turbomotorvariante

Bauart:	Reihe, 4-Zylinder
Hubraum:	cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	tbd / tbd mm
Verdichtung:	tbd
Leistung:	tbd
Max. Drehmoment:	tbd
	@ tbd 1/min
Kraftstoff:	tbd
Abgasnorm:	tbd

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
ladung

## BMW – 1,6 I TVDI



Ottomotor mit mechanisch, variablem  
Ventiltrieb (Valvetronic)  
Twin Scroll Turbolader  
Benzindirekteinspritzung

Bauart:	Reihe, 4-Zylinder
Hubraum:	1598 cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	85,8 / 77 mm
Verdichtung:	10,5
Leistung:	135 kW @ 5500 1/min
Max. Drehmoment:	260 Nm
	@ 1600 - 50001/min
Gewicht:	121 kg
Kraftstoff:	ROZ 98
Abgasnorm:	EU 5

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

### Audi/VW – EA888 Gen. 3



Turboaufladung  
Benzindirekteinspritzung mit  
Homogenbetrieb  
Doppel-Nockenwellenverstellung

Bauart:	Reihe, 4-Zylinder
Hubraum:	1798 cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	84,1 / 82,5 mm
Verdichtung:	9,6
Leistung:	125 kW @ 3800 1/min
Max. Drehmoment:	320 Nm @ 1500 1/min
Kraftstoff:	ROZ 95
Abgasnorm:	EU V

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

### BMW – 2,0 l Direkteinspritzung Turbo



Benzindirekteinspritzung mit zentraler  
Düsenlage  
Twin Scroll-Turbo,  
Valvetronic

Bauart:	Reihe, 4-Zylinder
Hubraum:	1995 cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	90 / 84 mm
Zylinderabstand:	91 mm
Verdichtung:	10
Leistung:	180 kW @ 5000 1/min
Max. Drehmoment:	350 Nm @ 1250 1/min
Kraftstoff:	ROZ 98
Abgasnorm:	EU V

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

### BMW – R6 Turbomotor mit zentraler



Direkteinspritzung mit zentralem Piezo-Injektor (stöchiometrisch), Nockenwellenphasenverstellung, Aluminium Zylinderblock, Bi-Turbo (parallel) mit 1050°C Temperaturfestigkeit

Bauart:	Reihen 6-Zylinder
Hubraum:	2979 cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	89,6 / 84 mm
Verdichtung:	10,2
Leistung:	225 kW @ 5800 1/min
Max. Drehmoment:	400 Nm @ 1300 - 5000 1/min
Max Mitteldruck:	16,7 bar
Kraftstoff:	ROZ 91 - 98
Abgasnorm:	EU IV

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen

### Porsche – 3,6 l Turbo



Turboaufgeladener Boxermotor  
Mit zweistufigem Ventilhub und Nockenwellenversteller (VarioCam Plus)

Bauart:	Boxer, 6-Zylinder
Hubraum:	3600 cm <sup>3</sup>
Hub / Bohrung:	76,4 / 100 mm
Verdichtung:	9,4
Leistung:	309 kW @ 6000 1/min
Max. Drehmoment:	560 Nm @ 2700 - 4600 1/min
Max Mitteldruck:	19 bar
Max. Ladedruck:	1,8 bar
Kraftstoff:	ROZ 98
Abgasnorm:	EU IV

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Aktuelle Technologieeinführungen  
Ottomotor

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk  
Mechanik  
Motormechanik  
Kolbenmaschinen  
Aufladung

Technologie	klein	mittel	gross	Premium
variable Ladungsbewegung		■		
variable Ventiltriebe laststeuernd		■	■	■
Benzin-Direkteinspritzung		■	■	■
Aufladung		■	■	■
Zylinderabschaltung		■	■	■

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk  
Mechanik  
Motormechanik  
Rotierende Verdränger

Wankelmotor

Kolben in Form eines Dreiecks mit konvexen Seiten  
Hubraum in Form einer Epitrochoide  
Durch Drehung des Kolbens periodisch verändernde Volumina in den 3 Arbeitsräumen  
In jedem Arbeitsraum läuft pro Umdrehung der 4-Takt Ottoprozess ab  
Innenverzahnung des Kolbens kämmt mit feststehendem Führungszahnrad (3:2)  
Rotordrehzahl =  $1/3$   
Exzenterwellendrehzahl



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014



Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

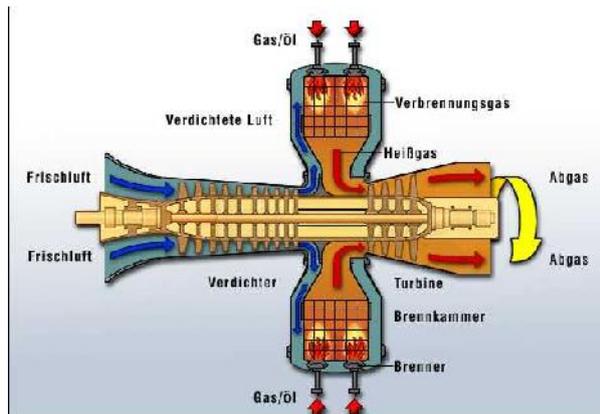
## Gasturbine

Die Phasen des Kreisprozesses laufen in voneinander räumlich getrennten Komponenten ab

## Mechanik

## Motormechanik

Rotierende Verdränger



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

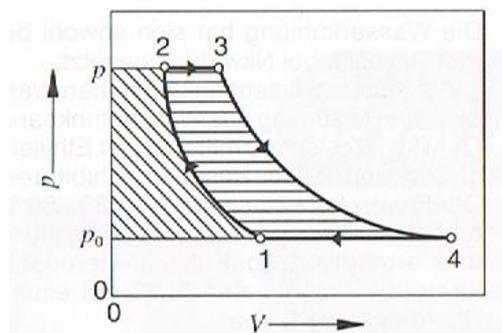
Meisterkurs Teil II Kfz-Mechaniker Handwerk

Gasturbine  
Kreisprozess

## Mechanik

## Motormechanik

Rotierende Verdränger



- 1-2 isentrope Kompression
- 2-3 isobare Wärmezufuhr
- 3-4 isentrope Expansion
- 4-1 isobare Wärmeabfuhr

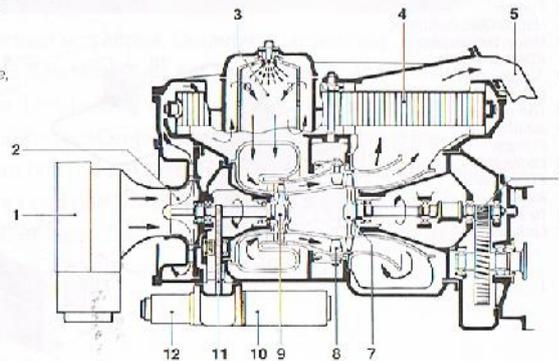
Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

## Gasturbine Beispiel

Mechanik  
Motormechanik  
Rotierende Verdränger

### Gasturbine.

- 1 Filter und Schalldämpfer,
- 2 Radialverdichter,
- 3 Brennkammer,
- 4 Wärmetauscher,
- 5 Abgaskanal,
- 6 Reduziergetriebe,
- 7 Arbeitsturbine,
- 8 verstellbare Leitschaufeln,
- 9 Verdichterturbine,
- 10 Starter,
- 11 Hilfsgeräteantrieb,
- 12 Schmierölpumpe.



Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014

## Gasturbine

Mechanik  
Motormechanik  
Rotierende Verdränger

### Vorteile

- Sehr gute Emissionswerte (ohne Nachbehandlung)
- Extreme Laufruhe
- Vielstofffähigkeit
- Geringe Wartung

### Nachteile

- Hohe Herstellkosten
- Ungünstiges Ansprechverhalten
- Hoher Kraftstoffverbrauch
- Wenig geeignet für kleine Leistungsbereiche

Werner Scherer, Dipl.Ing.(FH) © 2014