Lernfeld 00 – Verbrennungsmotor

Unterrichtsplanung für 1BFR

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis....1
Fundstellen....1
Viertaktmotor....2
Einteilung der Motoren....2
Einteilung der Verbrennungsmotoren....2
nach Arbeitsweise....2
nach Art der Zündeinleitung....2
nach Kolbenbewegung....2
nach Anordnung der Zylinder....2
Aufbau eines Viertaktmotors....3
Prinzip eines Verbrennungsmotors....4
Was ist ein Verbrennungsmotor?....4
Takte....4
Energieumwandlung....4
Kurbeltrieb und Motorsteuerung....4
Energiefluss, Wirkungsgrad....4
Nebenaufgaben der Motorkonstruktion....4
3. Arbeitstakt....5
I) Aufgabe....5
II) Zustände im Verbrennungsraum....5
III) Leistungsbilanz....5
IV) Verbrennung und Luftverhältnis....5
Verbrennung wird verbessert durch....5
4. Ausstoßtakt....6
Aufgabe....6
Zustände im Verbrennungsraum....6
Steuerzeiten....6
Abgaszusammensetzung....6
3-Wege-Katalysator....6
Katalysator....6
Schalldämpfer....6
1. Ansaugtakt....7
Bedingungen....7
2. Verdichtungstakt....8
Aufgabe....8
Verdichtungsverhältnis....8
Drucksteigerung....8
Klopfen (Selbstzündung, Frühzündung)....8
Temperatursteigerung....8
Gesamtvertiefung....8
Motoren in Diagrammen....9
Diagramme für Motoren....9
Steuerdiagramm eines 4-Takt-Motors....9
als Ringwurst....9
als Spirale....9
„Takt“ kann bedeuten....9
Ventilüberschneidung Y....9
Steuerdiagramm und pV-Diagramm....9
Ventilerhebungskurven....9
Drehmoment- und Leistungsverhalten....10
Laststeuerung eines Ottomotors....10
Verbrauchskennfeld....10
oder Muscheldiagramm....10
Fahrverhalten ohne Schalten....10
Fahrverhalten mit Schalten....10
Schussfolgerungen....10
Sonstiges....11
Vergleich Lang-/Kurzhuber....11
Kurzhuber....11
Langhuber....11
Vergleich Otto – Diesel....12
Zündung....12
Ottomotor....12
Dieselmotor....12
Verbrennung....12
Ottomotor....12
Dieselmotor....12
Motorsteuerung....13
variable Motorsteuerung....13
Staudruck....13
Ventil....13
Stößelformen....13
Wärmeausdehnung....13
Zweck des Ventilspiel....13
Ventilspiel einstellen....13
Hydraulische Stößel....13
Nockenwellenantriebe....13
Steuerriemen....13
Steuerkette....13
Stirnradantrieb....13
Königswelle....13
Schubstangen/Exzenter....13
Motorbaugruppen....14
Zahnriementrieb....14
Abgasanlage....14
Dichtungen am Motor....14
Drehmomentberechnungen....14
Zündfolge....14

Literaturverzeichnis

Technik Profi: , Technik Profi - Das Extraheft für Kfz-Technik von auto motor und sport,
TabB Kfz HJ: Elbl ua., Tabellenbuch Fahrzeugtechnik,
Bosch 21: Ulrich Adler ua., Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 1991
HJTabKfz: Elbl, Föll, Schäler, Tabellenbuch Fahrzeugtechnik,
Bosch Kfz 21: Ulrich Adler ua., Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 1991
HJTabKfz: Elbl, Föll, Schüler, Tabellenbuch Fahrzeugtechnik,
EuroKfz: Rolf Gscheidle u.a., Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, 2009
Krafthand: n.n., ,
Automobil1995: n.n., Enzyklopädie des Automobils, 1995

Fundstellen

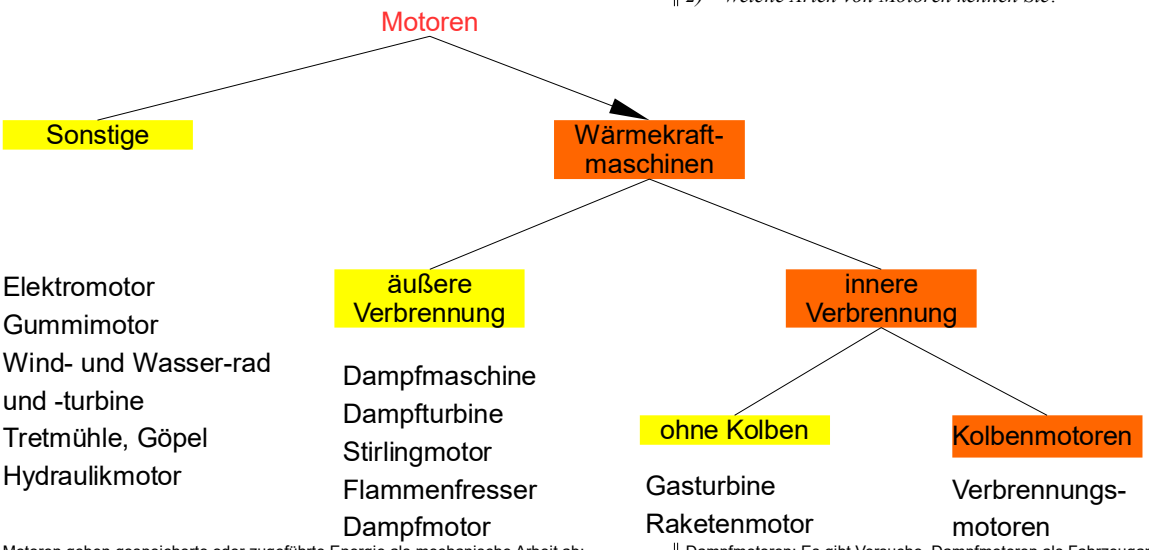
Glühkerzen: mot 03/2010
Motorschnittbild, Kraftstoffersparnis, ADR, pV-Diagramm

Seitenumbruch

Viertaktmotor

Einteilung der Motoren

1) Wie erzeugt man Bewegung? Motoren
2) Welche Arten von Motoren kennen Sie?



Motoren geben gespeicherte oder zugeführte Energie als mechanische Arbeit ab:
- Gummimotor (Federenergie: Flugzeugmodelle, mechanische Uhren)
- Druckluftmotoren (Torpedoantrieb, Steuerdüsen bei Satelliten)

Dampfmotoren: Es gibt Versuche, Dampfmotoren als Fahrzeugantrieb einzusetzen. Prinzipiell handelt es sich um Dampfmaschinen mit Zylinder ähnlich einem gewöhnlichen Verbrennungsmotor. Die Verdampfung findet in einem porösen Material statt, in dem zum einen Kraftstoff verbrannt, zum anderen Wasser verdampft wird.

Einteilung der Verbrennungsmotoren

=Kolbenmotoren mit innerer Verbrennung

nach Arbeitsweise

- Viertakt-Motor
- Zweitakt-Motor

nach Art der Zündeinleitung

- Otto (Fremdzündung)
- Diesel (Selbstzündung)

nach Kolbenbewegung

- Hubkolbenmotoren
- Rotationskolbenmotoren (Wankel)

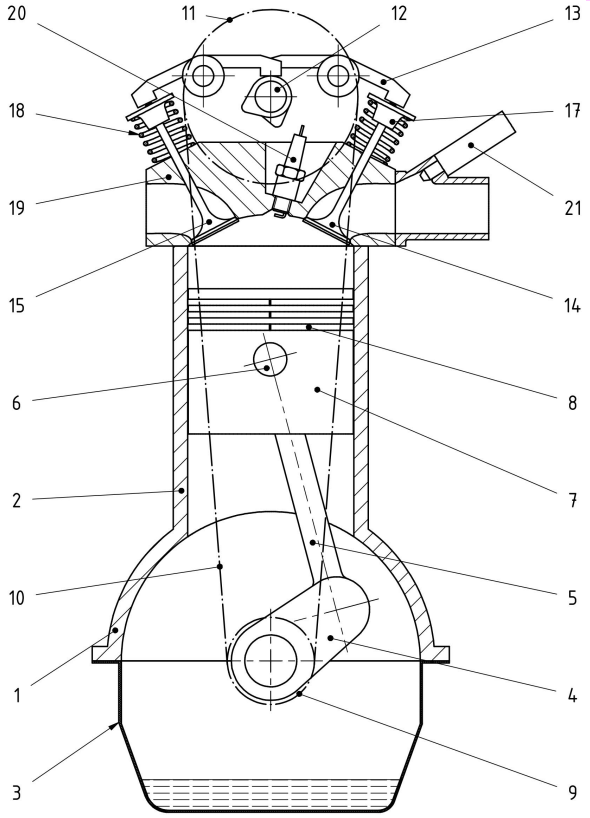
nach Anordnung der Zylinder

Reihenmotor
V-Motor
Boxermotor

Sternmotor: kurze Bauweise (spart Gewicht des Motorblocks), sehr ruhiger Lauf → Flugzeugmotor (luftgekühlt).
Umlaufmotor: wie Sternmotor, aber die Zylinder rotieren um die feste Kurbelwelle: bessere Kühlung der luftgekühlten Zylinder → Flugzeugmotor. Nachteil Rotationsmoment, Aufwand (KLG muss durch die Kw und Ventile im Kolben zugeführt werden)
Gegenkolbenmotor: 2 Kolben teilen sich einen Brennraum, 2 Kw oder 1 Kw und der 2. Kolben wird über Stangen bewegt. Als Zweitakter steuert ein Kolben den Einlass, der andere den Auslass (= Gleichstromspülung), Vollkommener Massenausgleich, ruhiger Lauf → Flugzeugmotor
Delta-Motor: 3 Gegenkolben, Anordnung mit 3 Kw im Dreieck geschaltet → Lokomotiven

Präsentation

Aufbau eines Viertaktmotors



OH-Modell Viertaktmotor

1) Kurbelgehäuse, Motorblock
2) Zylinder, Laufbuchse
3) Ölwanne
4) Kurbelwelle
5) Pleuel(-Stange)
6) Kolbenbolzen
7) Kolben
8) Kolbenringe
9) Zahnrad / Riemenscheibe (Kw)
10) Steuerkette / Zahnriemen
11) Zahnrad / Riemenscheibe (Nw)
12) Nockenwelle
13) Kipphebel
14) Einlassventil
15) Auslassventil
16) Ventilkeile, Kegelstück
17) Ventilfederteller, Stößel
18) Ventilfeder
19) Zylinderkopf
20) Zündkerze
21) Einspritzventil

Verändern: Kolbenhemd verkürzen, ordentliches Pleuel

Vertiefung

Motor_Bauteile_Otto_AB
Motor_Bauteile_Boxer_AB

Prinzip eines Verbrennungsmotors

= Kolbenmotor mit innerer Verbrennung

ca. xx' Zeitbedarf

Was ist ein Verbrennungsmotor?

1) *Nicht alle Motoren, bei denen etwas verbrannt wird, nennt man Verbrennungsmotoren. Welche Motoren gehören dazu?*

– s.o.

Takte

= Grundlegende Arbeitsschritte des VM

4) *KLG ist der Energieträger im VM. Seine Verbrennung ist der wichtigste Takt. Welche Schritte sind erforderlich, um KLG heranzuschaffen?*

3) Arbeiten: Gasdruck in Drehbewegung umwandeln, chemische ⇒ thermische ⇒ mechanische Energie umwandeln
4) Ausstoßen: Abgas loswerden (und Wärme abführen / kühlen)
1) Ansaugen: Frischgas einbringen
2) Verdichten ist für den Kreisprozess nötig. Der Kolben muss nach dem Ansaugen wieder zu OT gelangen, damit der Arbeitstakt neu beginnen kann. Thermodynamische Formulierung s.u. (geplant)

Kurbeltrieb und Motorsteuerung

= Mechanik

7) *Welche Bauteile übertragen die mechanische Energie aus dem Motor?*

– Kolben ⇒ Kolbenbolzen ⇒ Pleuel ⇒ Kurbelwelle ⇒ Schwungrad ⇒ Antriebsstrang

8) *Wie werden die Ventile angetrieben*

– Zahnriemen (Kette, Zahnrad, Königswelle..), Nockenwelle, Kipp-, Schlepp-, Schwinghebel, Stößel, Ventil, Ventilfeder
– Motorsteuerung steuert die Hauptaufgabe des Motors, den Gaswechsel, alle anderen Steuerungen und Steuergeräte sind später hinzugekommen (d.h. verzichtbar).

1) *Tafelanschrieb nach und nach entwickeln oder*
2) *Begriffe mündlich entwickeln, ungeordnet an die Tafel schreiben und dann gruppenweise visuell umsetzen lassen (Plakate o.ä.):*
Man nennt den Ablauf der 4 Takte auch einen Kreisprozess.
Ordnen Sie die 4 Takte im Kreis an, und ergänzen Sie darin die Begriffe aus den anderen Antworten sinnvoll.

Medienkoffer, Fragen auf Folie

3) *Weitere Lernziele (Farben!) nach Bedarf ergänzen und eintragen.*

Energieumwandlung

5) *Wozu dient ein Motor?*

– Um mechanische Arbeit zu verrichten

6) *„Wer" arbeitet in einem Verbrennungsmotor und wie?*

– Wenn die Antwort „Kolben" o.ä. kommt, bekommt der Schüler einen Kolben und soll ihn arbeiten lassen :-)
– Kraftstoff-Luft-Gemisch (KLG) wird entzündet, verbrennt, wird heiß, will sich ausdehnen, kann aber nicht und baut deshalb Druck auf.
– Drillmäßiges Üben, Schritte mit der Hand anzeigen: Daumen = KLG zündet; Zeigefinger = KLG verbrennt; Mittelfinger = Wärme entsteht; Ringfinger = KLG will sich ausdehnen, kann aber nicht; kleiner Finger = Druck entsteht.

Kolben

Energiefluss, Wirkungsgrad

9) *Welche Energie strömt wann in den Verbrennungsraum?*

10) *Welche Energie strömt wann aus dem Verbrennungsraum?*

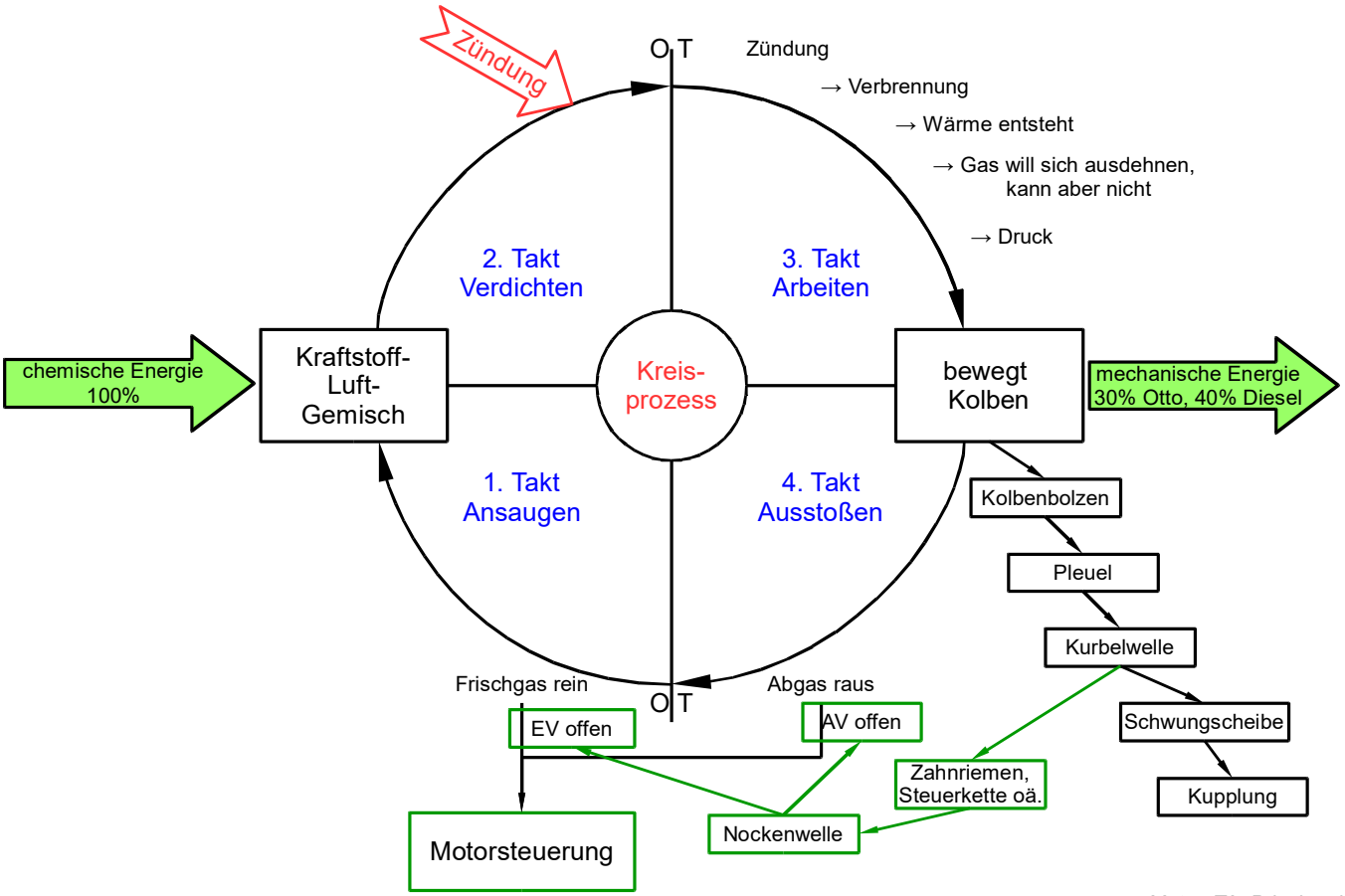
– [Technik Profi]21/2008: Verluste: Wärme im Abgas 33%; Wärme im Kühlwasser 29%; Wärmeabstrahlung Motor 6%; Reibungsverluste im Antriebsstrang 7%

Europa Fachkunde Kfz „Energie"

Nebenaufgaben der Motorkonstruktion

11) *Die weiteren Aufgaben werden je nach Motortyp unterschiedlich gelöst.*

– Kraftstoffzufuhr
– Gemischbildung
– Zündung
– Laststeuerung
– Selbstschutz: Kühlung, Schmierung ..



3. Arbeitstakt

I) Aufgabe

KLG verbrennen und Umwandlung der gespeicherten chemischen in thermische, dann mechanische Energie

1) *Welche Aufgabe hat der Arbeitstakt?*
2) *Zeichnen des Motorgehäuses und Kurbeltriebes, Einzelheiten erfragen*

- *Kolben überträgt Bewegung über Kolbenbolzen und Pleuelstange auf die Kurbelwelle, dabei wird Längsbewegung in Drehbewegung umgesetzt*

II) Zustände im Verbrennungsraum

1) *Wie wird Drehmoment erzeugt?*
2) *Welche Zustände herrschen dabei im Verbrennungsraum?*

[HJTabKfz] „(Viertakt-)Ottomotor", Berechnungen für 80mm Kolben∅ und 3000U/min
Zündung: 40..8° v.OT je nach Betriebszustand, damit kurz nach OT Höchstdruck erreicht ist. Überspringen des Zündfunkens dauert ca. 1/1000s.
Verbrennung: 25 m/s → Zeit=0,04m/25(m/s)=1,6ms bei ZylinderØ → 28,8°KW bei 3000/min
Temperatur: 2000..2500°C
Druck: 40 .. 60 bar (Otto) ≅ $\pi \cdot 80^2 \cdot 50N/(4 \cdot 10mm^2)$=25kN

III) Leistungsbilanz

[HJTabKfz] "Nutzleistung, Motor
Nutzarbeit 25 .. 32%; Reibung und Strahlung 7 .. 9%; Kühlung 30 .. 33%; Abgaswärme 31 .. 35%

Querverweis

„Spannung ist das Ausgleichsbestreben (→ führt zur Bewegung des Kolbens) zweier unterschiedlicher Potentiale (Drücke über und unter dem Kolben)".

IV) Verbrennung und Luftverhältnis

1) *Welche Stoffe verbrennen? Woraus bestehen Luft und Kraftstoff? Was ist Verbrennung?*

- *Kraftstoffteilchen C und H verbinden sich mit O, dabei entsteht $C0_2$, CO, H_20, Wärme*
- Sprit sucht O_2 zwecks Heirat.

2) *Wie viel Luft ist für die vollst. Verbrennung von 1kg Kraftstoff nötig?*
[HJTabKfz] „Kraftstoff-Luft-Gemisch, 14,8 kg Luft / 1 kg Kraftstoff"

- *theoretisch ideales Luftverhältnis 14,8 kg Luft zu 1 kg Kraftstoff (Luftverhältnis λ = 1), praktisch bleiben immer etwas Kraftstoff und Luft übrig (Vergleiche Heiratsmarkt).*

3) *Welcher Stoff ist teurer? Wie muss man das Gemisch verändern, damit der teure Kraftstoff besser ausgenutzt wird?*
Mageres Gemisch verbrennt und nutzt den Kraftstoff vollständiger (bis 1:16, 10% Luftüberschuss, lambda = 1.1; , bevorzugt im Betriebslastbereich)
4) *Welcher Stoff ist knapp im Zylinder, wenn man hohes Drehmoment will? Wie kann man den Sauerstoff auszunutzen?*
Fettes Gemisch nutzt den knappen Sauerstoff besser und bringt mehr Leistung, hohen Verbrauch: für VL (Höchste Leistung bei ca. 1:13; 5..10% Luftmangel; lambda = 0,95..0,9), Start (Sehr fett (1:3), weil Sprit am kalten Ansaugrohr niederschlägt), LL, Beschleunigung
5) *Kann man das Luftverhältnis beliebig steigern oder senken?*

- *Zündgrenzen zwischen 1:10 und 1:18,* Vergleich Schweißbrenner

6) *Welches Luftverhältnis wird in modernen Motoren eingestellt?*
Katalysator erfordert $\lambda = 1$

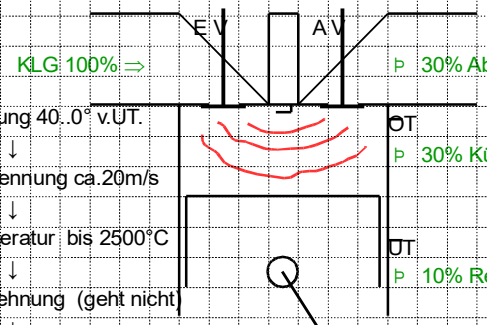
TA *Leistung und Verbrauch abhängig vom Luftverhältnis*

Verbrennung wird verbessert durch

Bessere Durchmischung (Verwirbelung beim Einlass)
Mehrfachzündung (2 Zündkerzen)
mehr Zeit (geringere Drehzahl)

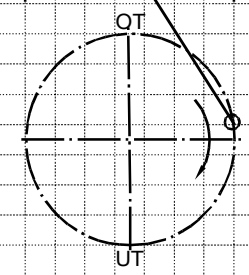
3.Arbeitstakt

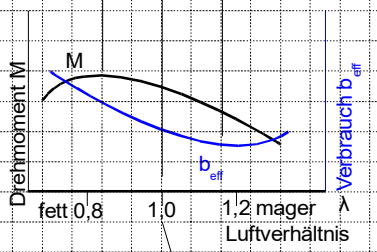
Aufgabe: KLG entzünden, vollständig verbrennen und entstehenden Druck in Drehmoment umwandeln



KLG 100% ⇒ ⊳ 30% Abgas
⊳ 30% Kühlung
⊳ 10% Reibung
⊳ 30% Nutzleistung

Zündung 40..0° v.UT.
↓
Verbrennung ca.20m/s
↓
Temperatur bis 2500°C
↓
Ausdehnung (geht nicht)
↓
Druck 50..75 bar
↓
Kolben
↓
Kolbenbolzen
↓
Pleuel
↓
KW → Drehmoment





$$\lambda = 1 = \frac{14{,}8\,kg\ Luft}{1\,kg\ Kraftstoff}$$

Vertiefung

Motor_Takt_3_Arbeiten_AB
Geschwindigkeit der Verbrennung AB

4. Ausstoßtakt

1) *Welche Aufgabe hat der Ausstoßtakt?*
2) *Zeichnen des Motorgehäuses und Kurbeltriebes, Einzelheiten erfragen*

Aufgabe

verbranntes Gemisch ausstoßen
Zylinderraum kühlen
(Abgase und Restwärme abführen)

Zustände im Verbrennungsraum

[HJTabKfz] „(Viertakt-)Ottomotor",

Restdruck bei Aö	3 .. 5bar ⇒ $F = \pi \cdot 80^2 \cdot 5N/(4 \cdot 10mm^2) = 2{,}5kN$
nach Aö	0,2 .. 0,5 bar (Überdruck)
Austrittsgeschwindigkeit	≅ 300 m/s (≥Schallgeschwindigkeit → Schalldämpfer erforderlich
Abgastemperatur	300 .. 1000°C → Energieverlust

Steuerzeiten

1) *Welche Folgen hätte der Druck vor Aö , wenn der Kolben hochfährt?*
mechanische Belastung, Drehmomentverlust
2) *Wie kann der Druck vor UT abgebaut werden?*
Aö bei 20..60° v. UT um Kurbeltrieb zu entlasten
3) *Geht dabei nicht zu viel Drehmoment verloren?*
Vergleiche Wirkung des Druckes auf ein Fahrradpedal kurz vor UT
4) *Wie verhält sich ein strömendes Gas, wenn der Kolben über OT geht*
Es strömt zunächst weiter (Trägheit), As kann n. OT erfolgen, um die Entleerung zu verbessern

As = 5..30°v.UT

Ventilüberschneidung (AV und EV sind zeitweise gleichzeitig offen)
Ausströmendes Gas saugt Frischgas mit an und verbessert Spülung (Füllung und Entleerung) und Innenkühlung
Frischgas strömt z.T. in Auspufftrakt (Überspülen, Verluste)
Abgas strömt z.T. in Ansaugtrakt (innere Abgasrückführung senkt Drehmoment und NO_x-Anteil, Gefahr des Vergaserbrandes)

Abgaszusammensetzung

1) *Welche Stoffe verbrennen? Woraus bestehen Luft und Kraftstoff?*
Luft aus Sauerstoff O_2 und Stickstoff N_2, Kraftstoff aus CH_x (Kohlenwasserstoffe), Bleitetramethyl
2) *Welche Stoffe entstehen bei der Verbrennung?*
Wasser H_2O, Kohlendioxid CO_2, Kohlenmonoxid CO, unverbrannte Kohlenwasserstoffe (CH_x), Kohlenmonoxid, Stickoxide NO_x, Bleiverbindungen Pb

	H	C	O	N	Aus NOCH entstehen...
N	~~NH_3~~	~~CM~~	NO_x	N_2	N reagiert träge, NOx entsteht nur bei hohem Druck und Temperatur, Zyanid CM und Ammoniak NH_3 nicht relevant.
O	H_20	CO, CO_2	O_2		
C	C_xH_y	C (Ruß)			
H	H_2				Wasserstoff reagiert leicht und bleibt nicht übrig.

3-Wege-Katalysator

3) *Welche sind giftig, welche sind weniger schädlich?*
4) *Wie werden die giftigen in weniger schädliche umgewandelt?*

Katalysator

FK, TabB -> Katalysatorfenster

1) *Erkläre das Diagramm (mit dem Katalysatorfenster)*

Schalldämpfer

1) *Mit welcher Geschwindigkeit strömen die Gase aus?*
2). *Wie muss der entstehende Lärm vermindert werden?*
— Schalldämpfer leitet das Gas um die Ecken, bis es sich beruhigt hat.

Vertiefung

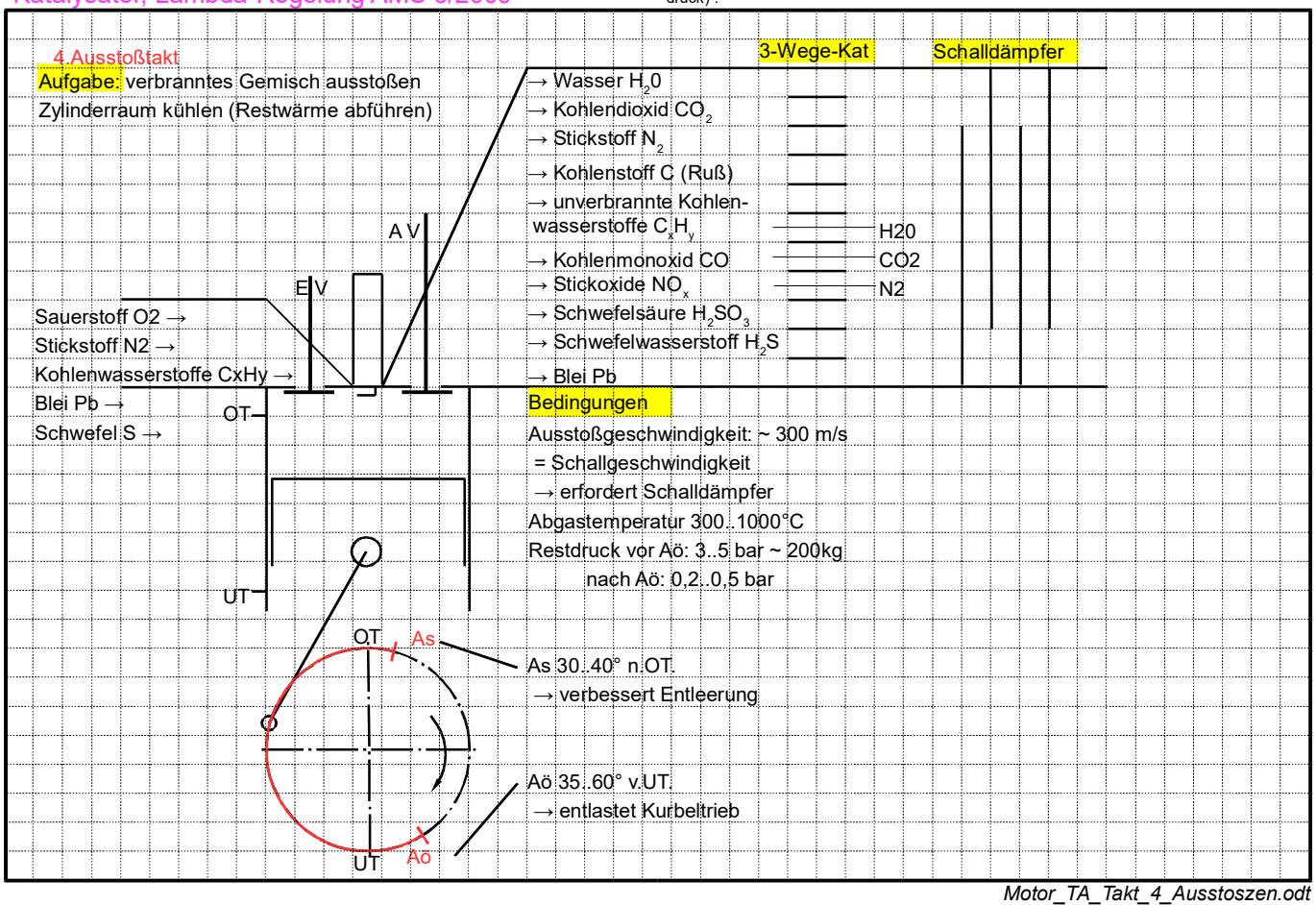
AB Abgasentstehung: Buchstabensalat, -suppe, Trimino

Veranschaulichung des Gasdynamik
Schädliche Kraftstoffbestandteile Pb, S
Katalysator, Lambda-Regelung AMS 6/2009

3). Welche Farbe haben Abgase?
normalerweise unsichtbar
- weiß: Kondens- oder Kühlwasser im Zylinder
- schwarz: zu fettes Gemisch
- blau: Öl im Zylinder (Ventilführung, Kolbenringe)

Querverweis

„Spannung (≈Druckunterschied) ist das Ausgleichsbestreben (→ führt zum Ausstoßen des Abgases) zweier unterschiedlicher Potentiale ([Über-]Druck im Zylinder und Atmosphärendruck)".



1. Ansaugtakt

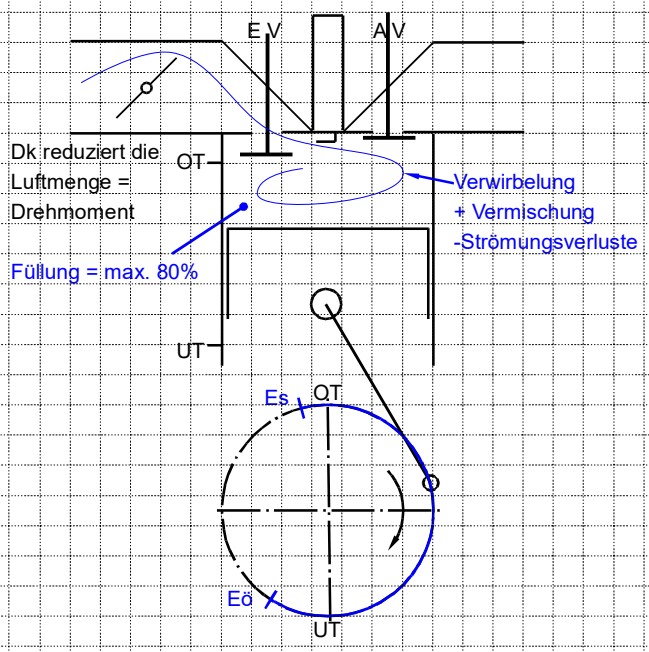
1) Füllung bestimmt Drehmoment - Wann wird gefüllt? Beschreiben Sie die Vorgänge beim Füllen

– Eö sorgt dafür, dass EV bei OT bereits einen größeren Querschnitt freigibt, u.U. wird auch Staudruck aus Resonanzen im Ansaugrohr ausgenutzt. Dies wird im Sinne des Drehmomentverlaufes konstruktiv meist bei mittleren Drehzahlen optimiert.
– Der Nachladeeffekt nützt die Trägheit des strömenden Gases aus und wirkt besonders bei großen Strömungsgeschwindigkeiten (= hohen Drehzahlen).

1. Ansaugtakt

Aufgabe: Frischgas in den Brennraum bringen

Problem liegt bei der Luft, nicht beim Kraftstoff



Steigerung des Drehmomentes

= Luftmenge je Takt
- mehr Hubraum
- Ansaugwege offen, glatt, weit
- EV größer oder mehr
- niedrige Drehzahl steigert Füllung
- Eö vor OT (nutzt Staudruck)
- variables Ansaugrohr (steuert Staudruck)
- Es nach UT (Nachladeeffekt)
- verstellbare Steuerzeiten
- Lader: Turbo-L, G-Lader, …
- Ladeluftkühler

Steigerung der Leistung

= Luftmenge je Zeit
- wie oben
- höhere Drehzahl
- häufigere Arbeitstakte → 2-Takter

Bedingungen

Öffnungszeit EV ≈ 0,01s bei 3000/min
Ansaugdruck -0,1 … -0,3 bar
Frischgastemperatur 50 .. 100°C

Liefergrad $\lambda_L = \frac{Frischgasmenge}{Hubraum} = \max.\ 0{,}7..0{,}8$

- Zeit je Ansaugtakt beträgt ca. 0,01s bei 3000 U/min: per Dreisatz berechnen und durch Fotoapparat verdeutlichen (OH-Projektor strahlt durch Blendenöffnung)
  AM Spiegelreflexkamera
- Differenzdruck 0,1 .. 0,3 bar aus TabB suchen lassen, Außendruck beträgt ca. 1bar, Absolutdruck im Brennraum ca. 0,8 .. 0,9 bar (bei Volllast)
  FO Wetterkarte mit Isobaren in bar
- Ventilteller∅ d_v = ..., Ventilhub h = 0,1 … 0,3 · d_v und Ventilsitzwinkel α am Ventil abmessen lassen oder abschätzen lassen (Fermi-Aufgabe), Querschnitt $A_v = \pi \cdot d_v \cdot h \cdot \cos\alpha$ [EuroTabKfz9 S64]. Aus d_v = 30mm, α=45°, n=3000 U/min und V_h = 0,4l folgt: mittlere Gasgeschwindigkeit v_g = 100m/s. Tatsächlich beträgt v_g 100 … 300m/s
  AM Ventil

$$\frac{V_h}{t_{1E}} = A_V \cdot v_g \Rightarrow v_g = \frac{V_h}{t_{1E} \cdot A_V} = \frac{400000\ mm^3}{0{,}01s \cdot 400\ mm^2} = 100\frac{m}{s}$$

$$\lambda_{a1} = \frac{m_z}{m_{th}} = \frac{imZylinderverbleibendesFrischgas}{theoretischmöglicheLadung(Hubraum)}$$

- Abkürzung für den Liefergrad ist λ [Bosch 21]. Um Verwechslungen mit dem Luftverhältnis zu vermeiden, verwende ich die Abkürzung aus [HJTabKfz]19 S.55 „λ_L“.

Querverweis

„Spannung (≈Druckunterschied) ist das Ausgleichsbestreben (→ führt zum Ansaugen des Frischgases) zweier unterschiedlicher Potentiale ([Unter-]Druck im Zylinder und Atmosphärendruck)“.

1) Warum strömt Frischgas beim Einlasstakt in den Brennraum?

Einfache Antwort: Kolben fährt nach UT und erzeugt Unterdruck.
Genauere Antwort: Umgebungsdruck drückt Frischgas hinein.

Versuch: Atmosphärischer Druck

Leere Getränkedose mit wenigen cm³ Wasser füllen und beides über einem Bunsenbrenner erhitzen bis die Dose mit Wasserdampf gefüllt ist. Anschließend die Dose mit der Öffnung nach unten in einem Wasserbad abschrecken → Wasserdampf kondensiert, Atmosphärendruck drückt die Dose zusammen.

2. Verdichtungstakt

1) Wann beginnt u. endet der 2. Takt, wohin bewegt sich der Kolben?

Aufgabe

Kreisprozess schließen, dabei Wirkungsgrad erhöhen

1) Warum wird verdichtet? Vgl. Böller geöffnet, verdämmt

- ohne Verdämmung baut sich kein Druck auf
- Je höher verdichtet wird, desto höher ist der Verbrennungsdruck (Wirkungsgrad)

Verdichten steigert den Wirkungsgrad, ist aber bei einmaligen Prozessen nicht notwendig. Zwingend erforderlich ist der Verdichtungstakt, um einen Kreisprozess zu schließen, oder banal ausgedrückt: Um den Kolben wieder nach oben zu bringen.

Verdichtungsverhältnis

ist das Verhältnis Raum vor zu Raum nach der Verdichtung

1) Welche Kenngröße bestimmt das Maß der Verdichtung? Wie gibt man die Höhe der Verdichtung an?

2) Wie kann man das Verdichtungsverhältnis erklären und dann auch berechnen?

Drucksteigerung

bewirkt eine bessere Ausnutzung des Kraftstoffes = weniger Verbrauch oder mehr Drehmoment

1) Wie verändert sich das Volumen beim Verdichten?

2) Wie ändert sich der Druck?

3) Welche Werte werden erreicht?

[HJTabKfz] „(Viertakt-)Ottomotor"

Der Druck im Verbrennungsraum steigt auf 10..16 bar. Der Verdichtungsenddruck ist höher als der vermutete Enddruck p = 1bar * 0,8 Füllungsgrad * ε = 6,4 bar, weil die steigende Temperatur den Druck weiter erhöht.

Temperatursteigerung

kann Frühzündung auslösen (Klopfen)

1) Druck nach Ansaugen ohne Füllungsgrad ?= 1bar.

2) Übliches Verdichtungsverhältnis ? =8:1

3) rechnerischer Druck nach Verdichten ?= 8bar.

4) Normaler Kompressionsdruck ?= 10..11bar.

5) Durch was wird der Druck noch erhöht (s.o.)?

AM Luftpumpe zusammendrücken

6) Welche Werte werden erreicht?

Temperatur steigt auf 400..500°C, Verdichtungsenddruck 10 bis 18 bar [HJTabKfz] „(Viertakt-)Ottomotor"

7) Welche Auswirkung kann die Temperaturerhöhung auf das Kraftstoff-Luft-Gemisch haben?Bei welcher Temperatur zündet Benzin / Diesel ?

[HJTabKfz] „Stoffwerte"

- Benzin: 450 .. 500°C Zündtemperatur; Diesel 220°C, d.h. erst im Arbeitstakt einspritzen

8) Die Verdichtungstemperatur liegt knapp an der Zündtemperatur Wie verhält sich das Gemisch, bei zu hoher Temperatur ?

– durch Mängel in Kühlung, Zündeinstellung, Kraftstoff (niedrige OZ), Gemischverteilung, Wärmeabfuhr (Ölkohleablagerung) oder durch Glühzündung (überhitzte, schlecht gekühlte Teile) o.ä. zu hoch wird?

Klopfen (Selbstzündung, Frühzündung)

Leistungsverlust und Motorschäden

Das Gemisch entzündet sich an mehreren Stellen, die Verbrennung erfolgt sehr schnell, Druck kommt zu schnell, zu früh und wird zu hoch. Daraus folgen erhöhte mechanische und thermische Belastung, Leistungsminderung: harte Geräusche (Klopfen), Kolbenfresser (Ölfilm baut nicht auf), durchgebrannte Kolbenböden und Ventile, verbogene Kurbelwelle. Beschleunigungsklopfen: bei Vollgas aus niedrigen Geschwindigkeiten bei oberen Gängen. Ursache meist schlechter Kraftstoff. Hochgeschwindigkeitsklopfen: bei Vollgas bei oberen Drehzahlen. Ursache: schlechter Kraftstoff. Folge: Etwas brennt durch. Es ist gefährlicher weil es längere Zeit auftritt und schlecht hörbar ist.

Vertiefung

1) Warum umgeht man die Klopfgefahr nicht durch geringere Verdichtung? Leistungsverlust

2) Andere Wege?

– Steigern Klopffestigkeit: z.B. Tetraethylblei TEL, Tetramethylblei TML (schaden Kat) Methyltertiärbutylether MTBE (aus Rapsöl?), Methanol (2..3%), höhere Alkohole (flüchtig, greifen Kunststoffe an) u.v.a.m. [Bosch 21] S.226ff.

3) Warum Normal / Super?

– Superbenzin hat eine höhere Klopffestigkeit (Oktanzahl OZ durch Bleitetramethyl, Benzol, o.ä.) und ermöglicht höheren Wirkungsgrad. Super kann in Normal-Motoren gefahren werden, bringt aber keine Vorteile (der minimal höhere Brennwert spielt kaum eine Rolle) , während Normalbenzin in Super-Motoren klopfgefährdet ist.

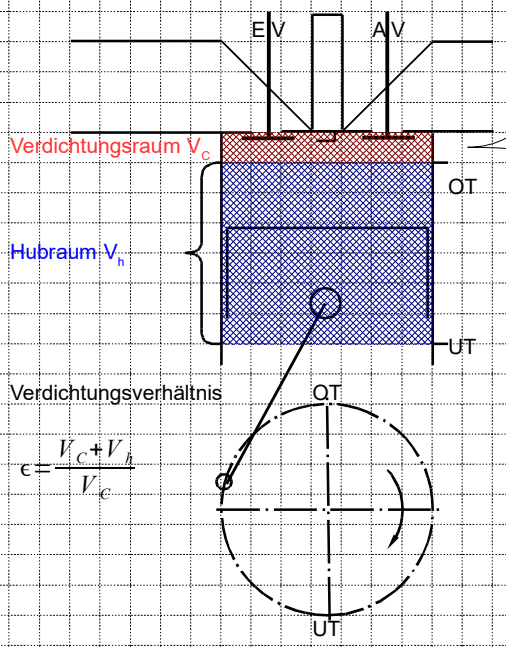
4) Diesel

– Im Dieselverfahren wird nur Luft verdichtet, die Zündung wird durch Einspritzen des Kraftstoffes initiiert. Der Kraftstoff muss hier besonders zündwillig sein. Die Zündwilligkeit wird gemessen in Cetanzahl CaZ und bedeutet sinngemäß das Gegenteil der OZ. Die Verdichtung ist durch die Festigkeit des Motors begrenzt.

2. Verdichtungstakt

Aufgabe: Kolben zu OT bringen

Verdichtung erhöht Wirkungsgrad



Verdichtungsverhältnis

$$\epsilon = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

$$\epsilon = \frac{\text{Raum vor der Verdichtung}}{\text{Raum nach der Verdichtung}} \approx 7..14$$

Druck steigt auf 10 .. 18 bar

→ Wirkungsgrad steigt

= weniger Verbrauch oder

= mehr Drehmoment

Steigerung der Leistung

→ Kraftstoff verdampft

→ Ottomotor kann klopfen

→ je höher die Verdichtung ist, desto höher muss die Oktanzahl sein

→ Dieselmotor erreicht Selbstzündungstemperatur

Motor_TA_Takt_2_Verdichten.odt

Gesamtvertiefung

Vertiefung

Ottomotor_Takte_Arbeitsweise_AB

Mögliche Erweiterung

Motorr-Verbrauchskennfeld_AB (2 Stunden)

Drehmoment, Reistung

Seitenumbruch

Motoren in Diagrammen

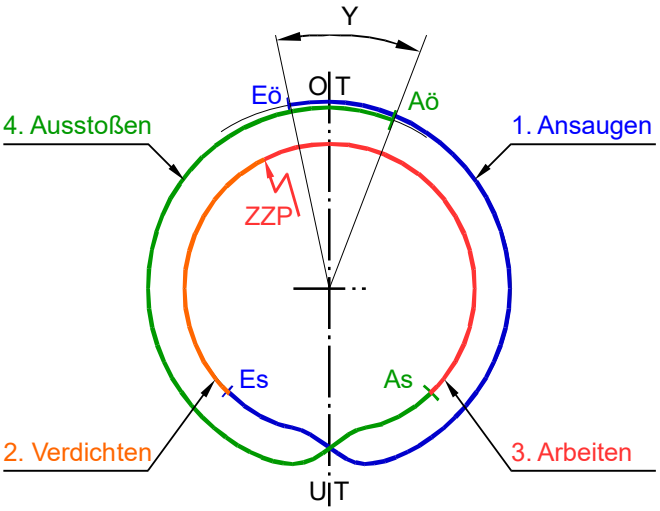
Diagramme für Motoren

Steuerdiagramm eines 4-Takt-Motors

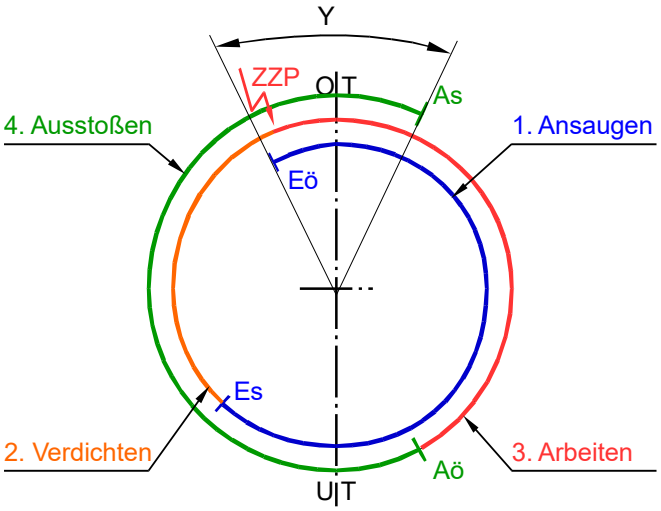
Motorsteuerung umfasst alles, was zum Steuern des Gaswechsels notwendig ist.

stellt die Steuerzeiten grafisch dar
= Öffnungs- und Schließzeiten der Ventile

als Ringwurst



als Spirale



„Takt“ kann bedeuten

Kolbenhub (Bewegung hoch bzw. runter)
- 2-Takter benötigt 2 Hübe (=1 Umdrehungen) je Zyklus
- 4-Takter benötigt 4 Hübe (=2 Umdrehungen) je Zyklus

Arbeitsschritt
- Ansaugen, Verdichten, Arbeiten, Ausstoßen → machen auch 2-Takter

Ventilüberschneidung Y

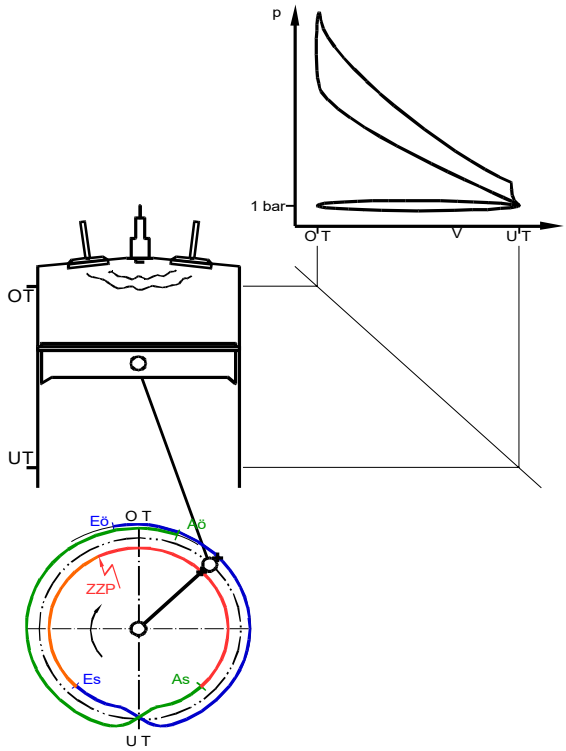
Ventilüberschneidung lässt ohne großen Strömungswiderstand Frischgas durchspülen, was nur bei Direkteinspritzern sinnvoll ist. Vorteile:
- Kühlung, (Scavenging),
- Verringerung eines Turboloches bei geringen Drehzahlen
- Innere Abgasrückführung

Vertiefung

Motor_Steuerdiagramm_AB_4Takte

1) *WICHTIG!! Jeder einzelne Schüler muss mit dem Finger durch sein Steuerdiagramm fahren und den Verlauf der 4-Takte erklären.*

Steuerdiagramm und pV-Diagramm



Beschriftungen ergänzen

pV-Diagramm, Hubraum, Takte, Arbeit im pV-Diagramm

Steuerdiagramm

1) *Zeichnen: Motor, Kurbelkreis*
2) *Nennen lassen und in Kurbelkreis eintragen: Steuerzeiten*
3) *Ablauf erklären lassen: In diese Darstellungen folgt Aö auf Es usw. Verbesserungsvorschlag?*
4) *Steuerdiagramm mit 2 Kreisen, als Spirale oder als Schlaufe (Lyoner)*
5) *Steuerzeiten eintragen*

Motor_Steuerdiagramm_AB_4Takte

1) *Kontrolle: Jeder einzelne Schüler muss mit dem Finger durch sein Steuerdiagramm fahren und den Verlauf der 4-Takte erklären.*

pV-Diagramm

1) *Zeichnen: Achsen, Beschriftung*
2) *Ein typischer Druck? Umgebungsdruck*
3) *Welche Volumen kennen wir im Brennraum? Wodurch sind sie gekennzeichnet?*
4) *OT, UT eintragen*
5) *Wo beginnt der Einlasstakt? Welcher Druck herrscht?: Kurvenverlauf entwickeln*
6) *Aussage: Arbeit*

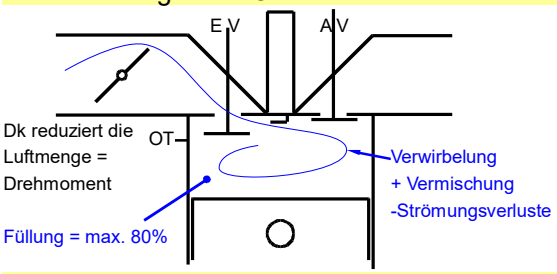
Ventilerhebungskurven

zeigen den Ventilhub abhängig vom Kurbelwinkel

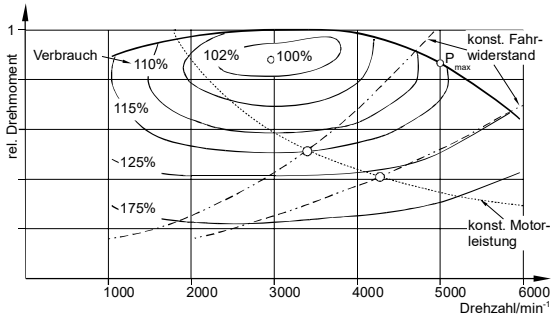
Ist aussagekräftiger als das Steuerdiagramm, weil auch die Öffnungs- und Schließcharakteristik dargestellt wird (scharfe / spitze Nocken).

Drehmoment- und Leistungsverhalten
eines 4-Takt- Ottomotors

Laststeuerung eines Ottomotors



Verbrauchskennfeld
oder Muscheldiagramm



Fahrverhalten ohne Schalten

Fahrverhalten mit Schalten
Schussfolgerungen

<u>Notwendigkeit von Kupplung und Getriebe</u>

Ottomotoren haben nur einen engen nutzbaren Drehzahlbereich. In Kfz benötigt man deshalb
– eine schaltbare Kupplung zum Anfahren und Anhalten
– und ein Wechsel-Getriebe (Drehmomentwandler), um den Geschwindigkeitsbereich zu erweitern.

<u>elastischer Bereich</u>

Zwischen M_{max} und P_{max} ist das Drehzahlverhalten eines Ottomotors stabil (elastischer Bereich).
– Nfz- und Pkw: maximales Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen (komfortabler zu fahren)
– Sportwagen: maximales Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen (höhere Leistung)

Vertiefung

FO QEII: Warum benötigt die QEII weder Anfahrkupplung noch Getriebe ? Weil das Schiff einen Hybridantrieb hat, d.h. die Verbrennungsmotoren treiben nur Generatoren an, d.h.. sie müssen nicht unter Last anfahren und arbeiten nur bei einer Drehzahl.
Warum benötigen Mofa keine Getriebe ? Weil sie mit geringem Geschwindigkeitsbereich arbeiten.

<u>Aufgaben mechanischer Getriebe</u>
– Drehmomentänderung
– Drehzahländerung
– Drehsinnänderung

Dazu können auch Antriebe gerechnet werden, die geradlinige in drehende Bewegung u.u. umwandeln: Kurbelschwingengetriebe, Ventilsteuerung durch Nockenwelle, Kurbeltrieb.

Zeitbedarf: ca. 90'

1). Vorgehensweise anhand
Verbrauchskennfeld_AB.

AM OH-Modell mit Ventilen

1) Wer arbeitet in einem Viertakt-Ottomotor ?
KLG wird gezündet, verbrennt, wird heiß und will sich ausdehnen. Da die Ausdehnung behindert ist, entsteht Druck. Die Kraft, die auf den Kolben wirkt, wird vom Kurbeltrieb in Motormoment umgewandelt.

2) Von welcher Größe wird das abgegebene Moment bestimmt ?
Bei gegebenem Motor kann das Drehmoment durch die Menge des KLG (Füllungsgrad) beeinflusst werden.

3) Wie kann man sie beeinflussen ?
Der ungedrosselte und ungebremste Motor läuft mit maximaler Drehzahl ohne Abgabe von Drehmoment. Wenn er Drehmoment abgeben könnte, würde er seine Drehzahl steigern.

4) Welche Aufgabe hat die Dk ?
Die Dk dient der Senkung / Steuerung der Füllmenge.

Quelle: [Bosch 21]
Der Mitteldruck ist der durchschnittliche Druck, der während des Arbeitstaktes auf den Kolben wirkt. Der effektive Mitteldruck ist um die Verluste bereinigt, enthält somit den mechanischen (?) Wirkungsgrad des Motors und ist ein Maß für das abgegebenen Motormoment. Der relative Mitteldruck verzichtet auf absolute Werte (etwa 15bar ?).
Die Drehzahl wird traditionell in U/min angegeben. Bei 3000/min (= 50Hz) dauert eine 1 KW-Umdrehung 0,02s, der Einlasstakt umfasst mehr als 180°KW und dauert knapp über 1/100s (für typisch 0,5l Frischgas). Deshalb erreichen Saugmotoren maximal 80% Liefergrad,
Die Füllung als Maß für das erreichbare Motormoment hängt von der Dk-Stellung (Isolinien) und der Drehzahl ab. Unter der LL-Drehzahl erzeugt der Motor nicht genügende Moment, um seine eigene Reibung zu überwinden, er stellt ab. Um die LL-Drehzahl herum läuft der Motor, gibt aber kein Moment ab. Bei steigender Drehzahl steigt das Moment, weil die Verhältnisse (Resonanz, Strömungsverhalten, Zündverzug, Steuerzeiten usw.) für die Energiewandlung günstiger werden. Die Lage des maximalen Motormomentes wird konstruktiv beeinflusst, darüber sinkt das Drehmoment, vor allem wegen steigender Strömungsverluste.
Aufgabe in Partnerarbeit: Tragen Sie in das Diagramm ungefähr ein:
- eine Isolinie für die konstante Dk-Stellung bei etwa 50% Öffnung (Lsg: die Linie für maximales Drehmoment entspricht 100% Öffnung, 50% verläuft parallel darunter.
- eine Isolinie für konstante Motorleistung bei verschiedenen Drehzahlen. Lsg $P = 2\pi Mn$.
- zwei Linien für Fahrwiderstand abhängig von der Drehzahl bei 2 verschiedenen Übersetzungen (Stufensprung 0,8). Lsg: der Fahrwiderstand steigt überproportional mit der Drehzahl an, weil der Luftwiderstand im Quadrat eingeht.

Aufgabe: Gegeben sei ein Kfz mit Tempomat, das auf ebener Strecke auf einen Berg zufährt. Der Tempomat regelt die Geschwindigkeit auf einen konstanten Wert. Der Fahrer greift nicht ein. Beschreiben Sie das Fahrverhalten anhand des Muscheldiagrammes, wenn der Tempomat nur auf die Dk wirkt und ein Schaltgetriebe vorliegt.
1. Kräftegleichgewicht auf dem Kfz ist gestört, es beschleunigt negativ
2. Drehzahl sinkt geringfügig, Tempomat öffnet Dk, bis das Fz beschleunigt oder VL erreicht ist.
3. Wenn VL erreicht ist, steigt bei sinkender Drehzahl das Drehmoment, bis die Kräfte auf dem Pkw im Gleichgewicht sind oder bis das maximale Drehmoment erreicht wird.
4. Wenn das maximale Drehmoment unterschritten ist, sinken Drehzahl und Drehmoment immer schneller, bis der Motor abwürgt (außer die Fahrwiderstandslinie schneidet sich mit der Momentenkurve).

5) Wie kann man das Abwürgen verhindern ?
5. Herunterschalten: bei konstanter Leistungsabgabe steigt die Drehzahl und sinkt das notwendige Drehmoment. Dadurch erhält man eine Drehmomentreserve. Wenn nach dem Herunterschalten kein Moment mehr verfügbar ist, nützt Schalten nichts mehr.
Erinnerung: beim Erreichen der Steigung müssen wir zur Erhöhung des Drehmomentes zurückschalten, nicht zur Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit !
Mofas kommen ohne Getriebe aus, da sie nur einen kleinen Drehzahlbereich benötigen. Fahrzeuge mit hydrodynamischem Drehmomentwandler benötigen weniger Gänge, weil durch die Drehmomentverstärkung des Wandlers der erste Gang eingespart werden kann. Dieselmotoren haben etwa einen waagerechten Drehmomentverlauf. Sie sind deshalb instabil und benötigen einen Drehzahlregler, wenn sie nicht nur äußere Umstände stabilisiert werden (z.B. Fahrwiderstandsverlauf beim Kfz).

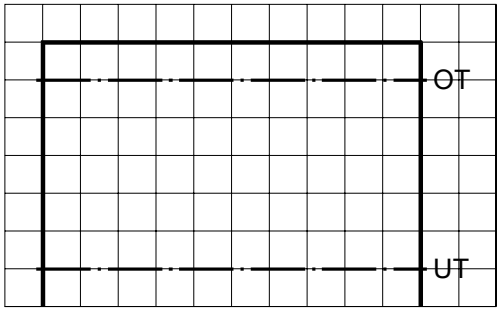
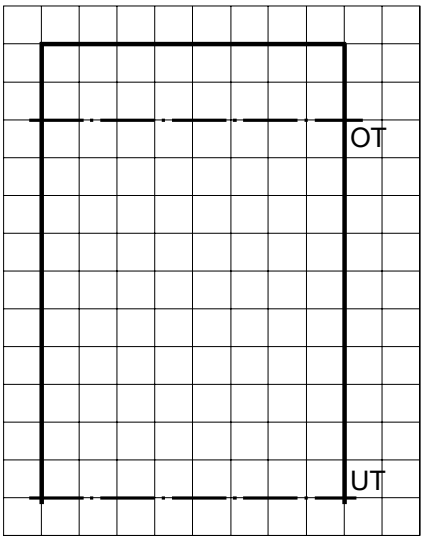
Unter dem elastischen Bereich ist das Drehzahlverhalten eines Ottomotors instabil, weil bei jeder Erhöhung des Fahrwiderstandes und daraus bedingter Drehzahlverringerung das Motormoment abfällt und die Drehzahl weiter verringert.
Über dem elastischen Bereich ist zwar das Drehzahlverhalten immer noch stabil, aber ausgereizt, weil auch Zurückschalten Drehmoment / Leistungsabgabe nicht mehr steigert.

FO Chanderli (Dampflokomotive): Warum benötigt das Chanderli weder Anfahrkupplung noch Getriebe ? Weil eine Dampfmaschine schon bei Drehzahl 0 ihr höchstes Moment abgibt und weil sie einen sehr hohen Drehzahlbereich hat.
FO Trämli (Straßenbahn): Warum benötigen Trämli weder Anfahrkupplung noch Getriebe ? Weil einige Typen von E-Motoren (Gleichstrom-(?), Asynchronmotoren (Käfigläufer)) bereits bei niedrigen Drehzahlen hohe Momente erreichen und einen weiten Drehzahlbereich haben
Warum benötigen Kinder keine Schaltung am Fahrrad, aber Rad-Profis ? Um den engen Geschwindigkeitsbereich des Muskels durch Drehmomentwandlung zu erhöhen.

Aufgaben von Kupplungen
Verbindung von Wellen; Unterbrechung des Drehmomentes, z.B. im Kfz zum Schalten; Drehzahlangleichung z.B. zum Anfahren mit dem Kfz, auch zum Bremsen !; Überlastschutz, z.B. bei Seilwinden oder NC-Maschinen für den Kollisionsfall; Dämpfung von Schwingungen und Stößen, z.B. Förderanlagen; Ausgleich von Wellenversetzungen, z.B. Gelenkwelle, Kardanwelle, Topfgelenk, Kreuzgelenkwelle usw.

Sonstiges

Vergleich Lang-/Kurzhuber

Kurzhuber	Langhuber
	
niedrige Kolbengeschwindigkeit – Leistung über Drehzahl möglich – Formel1-Motoren – weniger Hubraumsteuer – leichte Motoren	hohe Kolbengeschwindigkeit (bei gleicher Drehzahl) – Langsamläufer
flacher Brennraum bietet wenig Gestaltungsspielraum	hoher Brennraum erlaubt höhere Verdichtung bei gleicher Zylinderkopfgestaltung – Diesel
größere Ventilquerschnitte möglich – besserer Ladungswechsel aber begrenzt durch Ventilhub besonders bei hohen Verdichtungen	große Zylinderfläche bei gleichem Hubraum – leichter zu kühlen
flacher Brennraum fördert ungünstige Quetschströme – Klopfneigung	
Bei Zweitaktern wird der Hubraum durch die Schlitze stark vermindert	Bei Zweitaktern können große Schlitze ohne Verringerung des Hubraumes angebracht werden
Bei gleichem Hubraum, Kolbengeschwindigkeit, Verdichtung und effektiver Leistung – höhere Leistung – höhere mechanische Verluste Das gleiche Hubvolumen auf mehrere Zylinder verteilt ergibt eine höhere Leistung: – kleineres Vh = VH / z – kleinerer Hub – höhere Drehzahl möglich	

Vergleich Otto – Diesel

Zündung	Ottomotor	Dieselmotor
wird ausgelöst durch	Zündkerze (Fremdzündung)	Einspritzbeginn (Selbstzündung)
wo ist ein zündfähiges Gemisch nötig	zw. den Elektroden der Zündkerze	irgendwo im Brennraum
mögliches Luftverhältnis	zündfähig (λ=0,8..1,2) Das Gemisch muss fast gleichmäßig zündfähig sein, damit sichergestellt ist, dass es an den Elektroden zündfähig ist.	sehr mager möglich (λ=1,2..10) da die verdichtete Luft überall heiß ist und irgendwo zw. Tröpfchen und Luft immer irgendwo ein zündfähiges Gemisch entsteht, ist das Luftverhältnis fast beliebig.
Steuerung des Drehmomentes durch	Gemischmenge = Quantitätssteuerung	Gemischverhältnis= Qualitätssteuerung

Warum rußt ein Diesel?

Warum verbrennt ein Dieselmotor bei O_2-Mangel den Kraftstoff zu Ruß, während ein Ottomotor den Kraftstoff zu CO oder gar nicht verbrennt?

Verbrennung	Ottomotor	Dieselmotor
Ablauf der Verbrennung	KLG verbrennt sehr schnell (V=10..30m/s)	je nach Einspritzverlauf
	Gleichraumverbrennung	Gleichdruckverbrennung
	⇓	⇓
	Druckspitzen	Gleichmäßiger Druck
	⇓	⇓
	hohe Motorbelastung	höhere Lebensdauer höherer Wirkungsgrad

Verbrennungsvorgang

Diesel wollte die höhere Verdichtung und die Gleichdruckverbrennung umsetzen. Tatsächlich ist der Einspritzverlauf wegen der kurzen Zeit und der erforderlichen Drücke allenfalls annähernd möglich, sodass Gleichdruckverbrennung eine idealisierte Bezeichnung ist. Zudem hat das KLG beim Ottomotor mehr Zeit zum Mischen. Durch den Zündverzug verbrennt auch beim Dieselmotor relativ viel Kraftstoff sehr schnell, sodass Druckspitzen und rauer Lauf die Folge sind. Man versuchte dies bisher durch abgestufte Verbrennung (Vorkammermotoren) zu verhindern, verliert aber wegen der großen Brennraumoberfläche an Wärme. Der aktuelle Trend geht zum TDI mit abgestufter Einspritzung und Entwicklung neuer Einspritzsysteme.

Motorsteuerung

variable Motorsteuerung

TA Motor mit Kurbelkreis
Wdhg: Steuerdiagramm

Ventilspiel: - 0,1..0,3mm

Ventil

Stößelformen

Teller- Pilz - Rollen - Tassenstößel

Wärmeausdehnung

l_1=150mm
α=0,000016/K für Cr-Ni-legierten Stahl
ΔT=(80+600)°C/2-20°C=320°C
l_2=150mm*(1+0,000016*320)=150,768mm

Längenausdehnungskoeffizient [HJTabKfz] "Stoffwerte"
Ventilspiel: - 0,1..0,3mm

Zweck des Ventilspiel

zum Ausgleich der Wärmedehnung der Ventile

<u>zu kleines Spiel</u>
Ventil schließt spät oder gar nicht
⇒ Gasverluste ⇒ Drehmomentverluste
⇒ Überhitzung ⇒ Wärmeschäden

Ventilspiel einstellen

Hydraulische Stößel

Stößelformen WestKfz2 S232

<u>Vorteile</u>
Ventilspiel entfällt unabhängig von Temperatur und Verschleiß

Nockenwellenantriebe

Steuerriemen

Auch: Zahnriemen
besser: Synchronriemen

Steuerkette

Stirnradantrieb

Königswelle

Schubstangen/Exzenter

AB Ventil und angrenzende Bauelemente
Bezeichnen Sie die Elemente, und zeichnen Sie die Ventilführung ein.

Staudruck

1. *TA Luftmoleküle: Luft strömt schnell auf den Kolben zu. Wie verhält sich verändert sich die Luft, wenn sie auf den Kolbenboden trifft ?*
   Stoppt, Luft wird zusammengedrückt, Druck steigt ⇒ Staudruck
2) *Vorgehensweise mit unbekannte Formel aus TabB üben: Wie viel länger wird das Ventil ?*
3) *Berechnen mit Formel aus TabB, ohne sie zu kennen:*
- Formeln durch Schüler diktieren lassen, bloße Umrechnungen streichen, geeignete Formel auswählen, Größen erklären lassen
4) *Größen für Ventil festlegen, Ergebnis berechnen, Folgerung*
- kaltes Ventil benötigt Spiel wegen der Wärmeausdehnung
5) *Fehlerquellen*
- Ventil ist reichlich lang, Durchschnittstemperatur ist viel niedriger (nicht linear), Wärmeausdehnung anderer Teile. (z.B. Zylinderkopf)

AB Ventil und angrenzende Bauelemente
Bezeichnen Sie die Elemente, und zeichnen Sie die Ventilführung ein.

AM Ventil
1. *Verhalten der Ventile beim Warmlauf*
Erwärmen und Längenausdehnung, Formel HJTabKfz17 S42 "Längen-, Wärmeausdehnung"
2) *Vorgehensweise mit unbekannte Formel aus TabB üben: Wie viel länger wird das Ventil ?*
3) *Berechnen mit Formel aus TabB, ohne sie zu kennen:*
- Formeln durch Schüler diktieren lassen, bloße Umrechnungen streichen, geeignete Formel auswählen, Größen erklären lassen
4) *Größen für Ventil festlegen, Ergebnis berechnen*
5) *Folgerung*
- kaltes Ventil benötigt Spiel wegen der Wärmeausdehnung
6) *Fehlerquellen*
- Ventil ist reichlich lang, Durchschnittstemperatur ist viel niedriger (nicht linear), Wärmeausdehnung anderer Teile. (z.B. Zylinderkopf)

1. *Wie verändern sich die Ventile im Betrieb ?*
2. *Welcher Ausgleich ist nötig ?.*
3. *welche Folgen hat falsches Ventilspiel*

<u>zu großes Spiel</u>
Ventil schließt zu früh und öffnet zu spät
⇒ schlechter Gaswechsel ⇒ Drehmomentverlust, Schadstoffemission
Betriebsspiel zu groß
⇒ Klappern, Verschleiß,

AM Fühlerlehre
Maßnahmen, wenn das Ventilspiel zu klein oder zu groß ist ?
mündliche Schilderung der Vorgehensweise durch Schüler zur Förderung des Ausdrucks, theoretisch nicht weiter vertiefen
Welche anderen Konstruktionen gibt es ?
- Spielausgleichselement funktioniert wie Hydrostößel, meist im Kipphebel integriert
- Hydroelemente können auch fest im Zylinderkopf montiert sein und das Kipphebellager verschieben

Partnerarbeit mit FB, anschließend Vortrag

1. *Aufgabe: Mit FB Funktion eines hydraulischen Stößels erarbeiten*
[EuroKfz]23 S200 "Hydraulischer Stößel, Ventilstößel"
FO Hydraulischer Stößel
2 *Schüler tragen die Vorgänge vor*
- Kraftfluss beim Öffnen und Schließen des Ventils drillmäßig wiederholen, um den Vorgang, die Begriffe und das Zeichnungslesen einzuüben
- Warmer Motor kühlt ab: Spielausgleichsfeder gleich die Verkürzung des Ventils aus, indem es den Druckbolzen gegen den Nocken drückt und Öl in den Arbeitsraum saugt. Kalter Motor wird wärmer: bei jedem Ventilhub wird etwas Öl aus dem Arbeitsraum gequetscht, so dass der Hydrostößel kürzer wird. Beide Vorgänge finden bei jedem Hub statt und passen den Hydrostößel an die Ventillänge an.

[Krafthand] 7/2010 S.30: Zahnriemen werden ölverträglich.

Synchronriemen sind notwendig, da Kurbel und Nockenwelle 'im Takt' bleiben müssen. Keilriemen können dies wegen des systemimmanenten Schlupf nicht leisten. Da moderne Keilriemen zur Verringerung der Walkarbeit Aussparungen an der Innenseite haben und wie Zahnriemen aussehen, ist die Bezeichnung Zahnriemen ungeeignet.

[Automobil1995] S.94: Bentley 4,5l-Kompressor von 1930

Motorbaugruppen

Zahnriementrieb *Zahnriementrieb_AB*

Abgasanlage *Abgasanlage_AB*

Dichtungen am Motor *Motordichtungen_AB*

Drehmomentberechnungen

Zündfolge