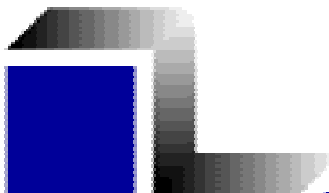
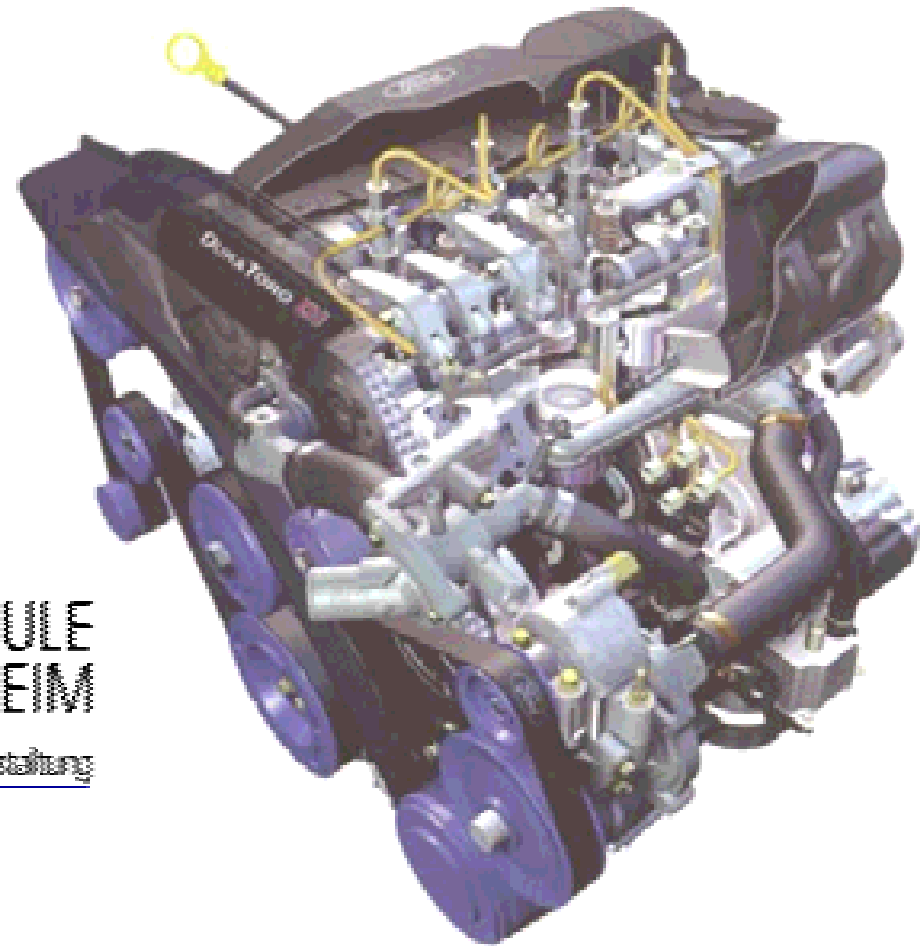


Charakteristische Unterscheidungsmerkmale von Verbrennungskraftmaschinen



FACHHOCHSCHULE
MANNHEIM

Hochschule für Technik und Gestaltung

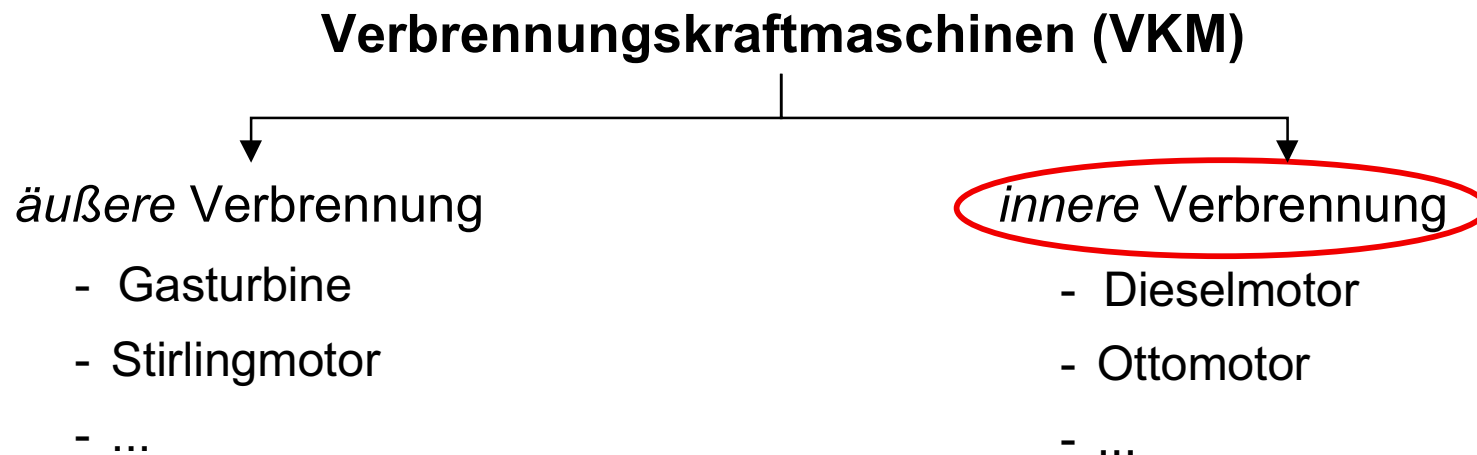
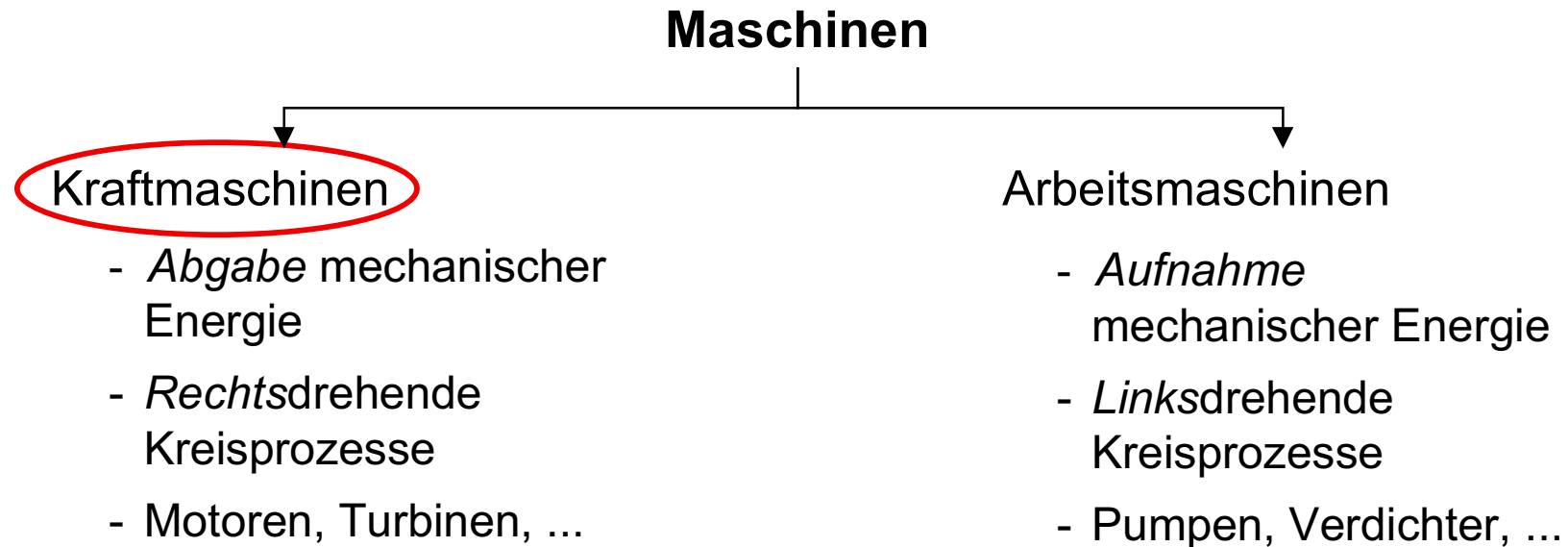
Vorlesung Kolbenmaschinen

Prof. Dr. Ing. W. Grundmann

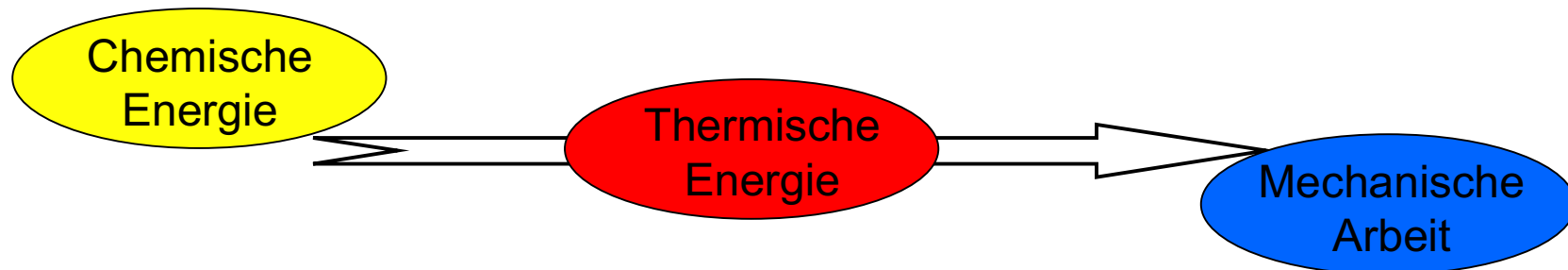
Charakteristische Unterscheidungsmerkmale von Verbrennungskraftmaschinen

1. Definitionen und Bezeichnungen
2. Einteilung nach Art der Kolbenbewegung
3. Einteilung nach Art des Arbeitsverfahrens
4. Einteilung nach Art der Gemischbildung
5. Einteilung nach Art der Zündung
6. Einteilung nach Art der Kühlung
7. Einteilung nach Art der Ladungseinbringung
8. Einteilung nach Art der Zylinderanordnung
9. Einteilung nach Art des Ventiltriebes
10. Beispiele ausgeführter Motoren

1.1 Einordnung der Verbrennungskraftmaschine



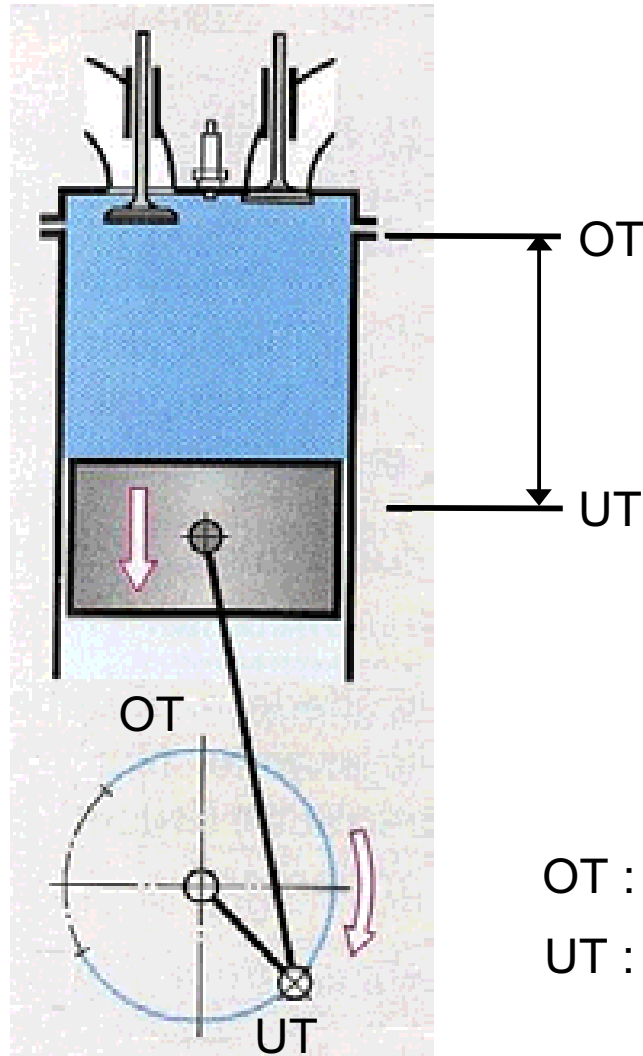
1.2 Definition einer Verbrennungskraftmaschine



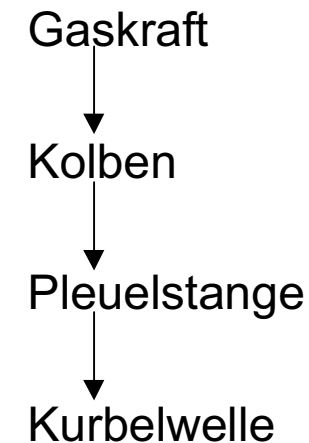
- dient zur Gewinnung Mechanischer Arbeit
- Chemische Energie (Kraftstoff) wird umgewandelt zu Thermischer Energie (Verbrennung)
- Thermische Energie wird umgewandelt zu Mechanischer Arbeit (Expansion)

→ Prozess mit 2 Energieumwandlungen

2.1 Kennzeichen des Hubkolbenmotors

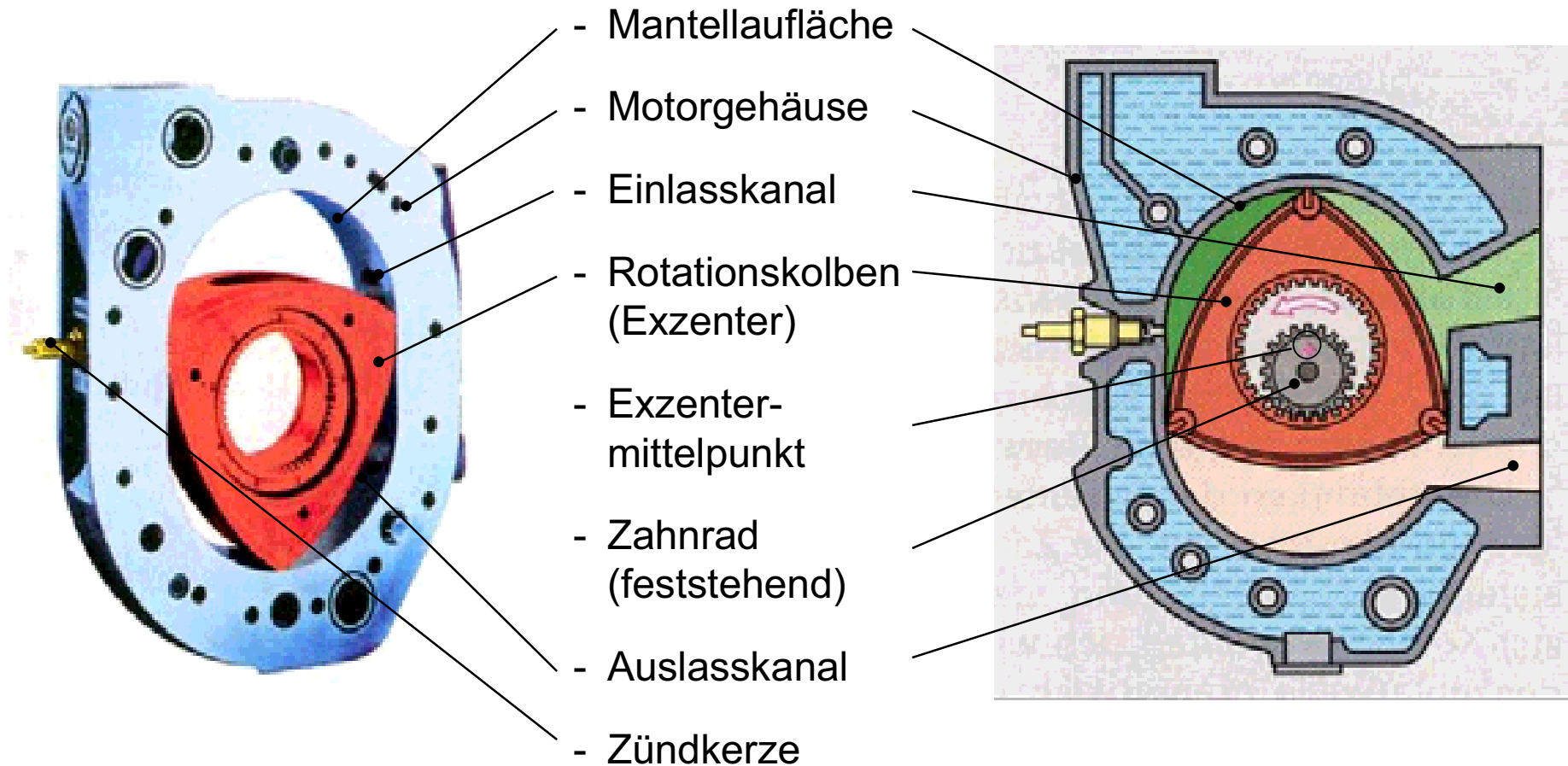


- Oszillierende Bewegung des Kolbens zwischen OT und UT
- Führung des Kolbens im Zylinder
- Gaskraft wird über Kurbeltrieb in Drehmoment umgewandelt

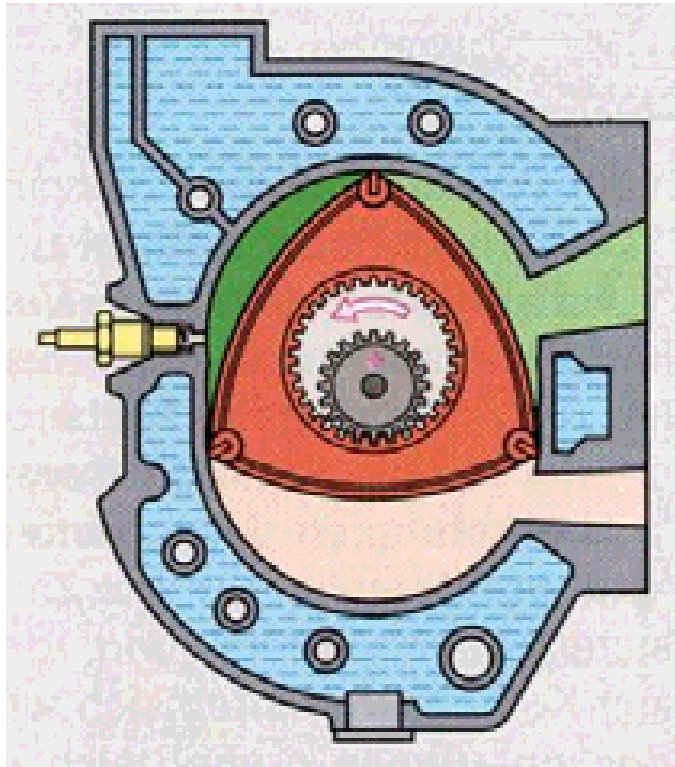


OT : Oberer Totpunkt
UT : Unterer Totpunkt

2.2 Rotationskolbenmotor



2.2.1 Kennzeichen des Rotationskolbenmotors



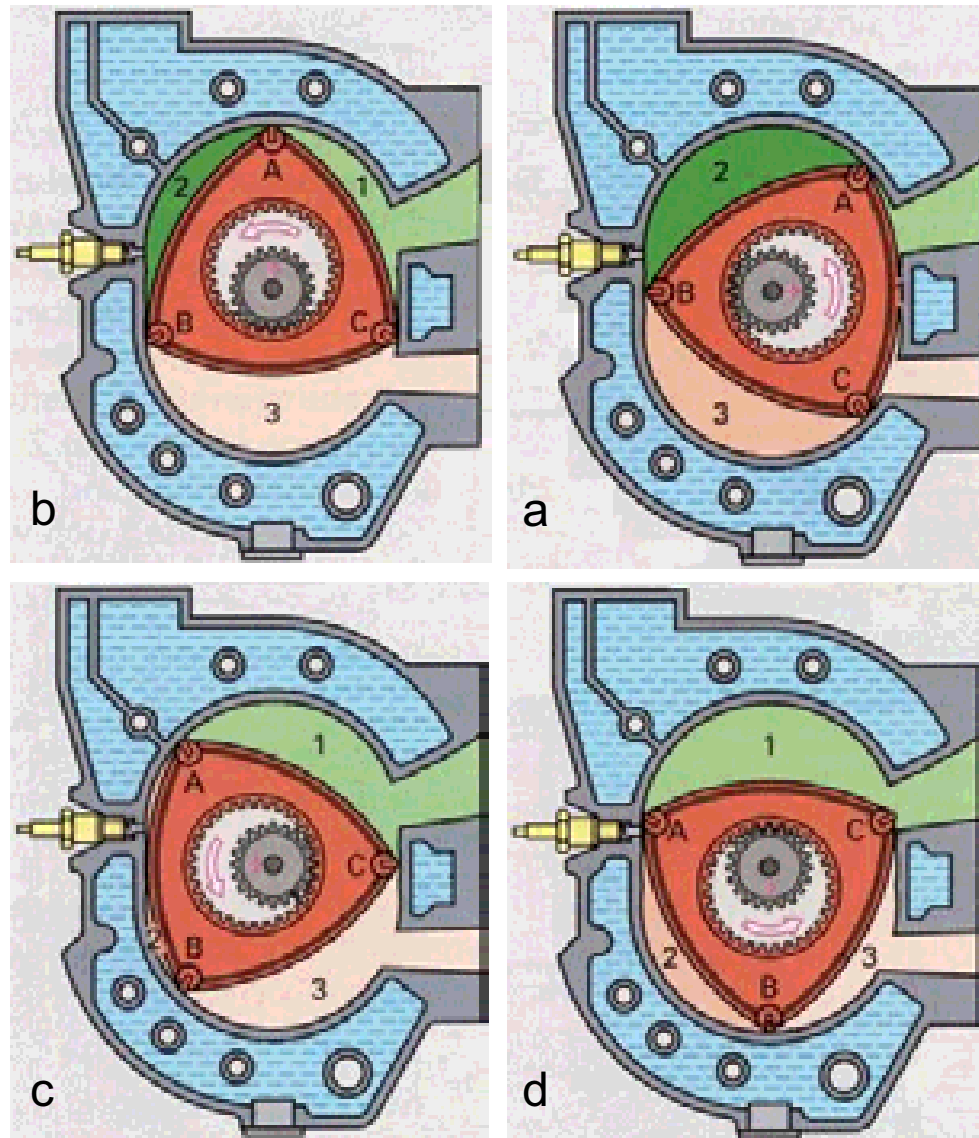
- Innen verzahnter Rotationskolben wälzt sich auf feststehendem Zahnrad ab
- Auf Kolben wirkende Gaskraft treibt Exzenterwelle an
- Steuerung des Ladungswechsels durch Kolben über Ein- und Auslaßöffnungen
- Verwendung von 3 Kammern
- Je Umdrehung des Kolbens durchläuft jede Kammer ein Arbeitsspiel

Gaskraft → Kolbenstirnfläche → Exzenterwelle

- + keine freien Massenkräfte ($n_{\max} \uparrow$, Bauvolumen \downarrow)
- + gleichförmige Bewegung
- + hohe Laufruhe
- höherer spez. Verbrauch
- Laufleistung
- Katalysator, Emission

2.2.2 Funktionsweise

- 3 Kammern: 1, 2, 3
- Ablauf in Reihenfolge a, b, c, d
- Kammern vergrößern und verkleinern sich während Rotation
- Nach einer Umdrehung des Rotationskolbens sind die 4 Takte nach dem 4-Takt-Prinzip durchlaufen (siehe unten)
- Gaskraft lässt Kolben auf feststehendem Ritzel abwälzen



Ansaugen



Verdichten



Arbeiten



Ausstoßen



Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

3.1 Vier-Takt-Verfahren

Kennzeichen:

- 4 Takte bilden ein Arbeitsspiel (AS)

Ablauf eines Arbeitsspieles:

- 1. Takt: Ansaugen
- 2. Takt: Verdichten
- 3. Takt: Arbeiten (Expandieren)
- 4. Takt Ausstoßen

- 1 Takt entspricht einer halben Kurbelwellenumdrehung

→ 2 Kurbelwellenumdrehungen bilden 4 Takte = 1 Arbeitsspiel

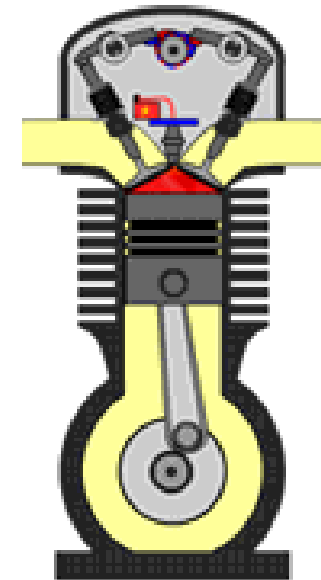
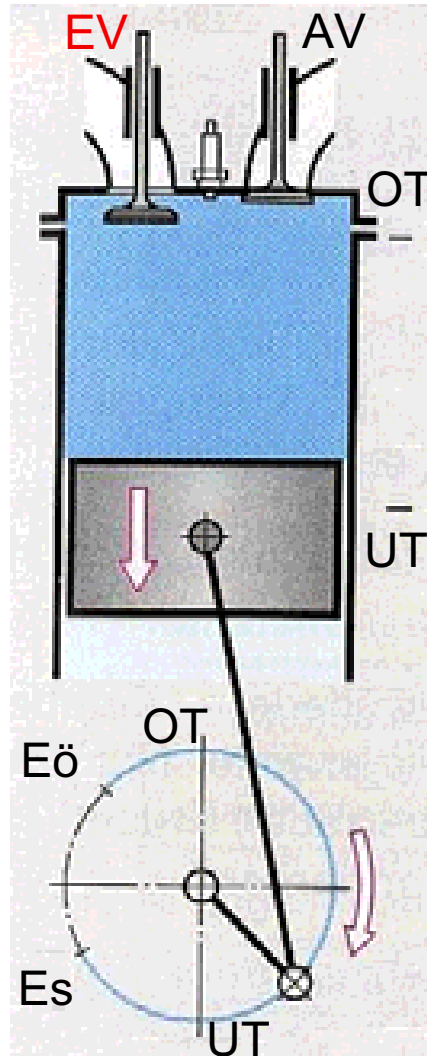


Bild mit [Hyperlink](#)
[Esc = zurück]

3.1 Vier-Takt-Verfahren



1. Takt: Ansaugen

- Abwärtsbewegung verursacht Raumvergrößerung
- Druckdifferenz ggü. Außendruck
- Geöffnetes Einlassventil lässt frische Ladung nachströmen
- Öffnen des Einlassventiles vor OT
- Schließen des Einlassventiles nach UT

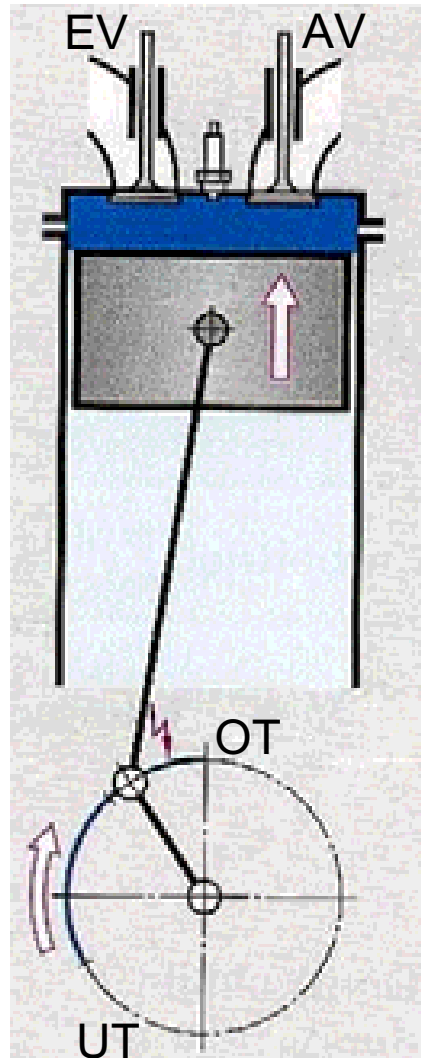
EV: Einlassventil
AV: Auslassventil

OT: Oberer Totpunkt
UT: Unterer Totpunkt

Eö: Einlassventil öffnet

Es: Einlassventil schließt

3.1 Vier-Takt-Verfahren



2. Takt: Verdichten

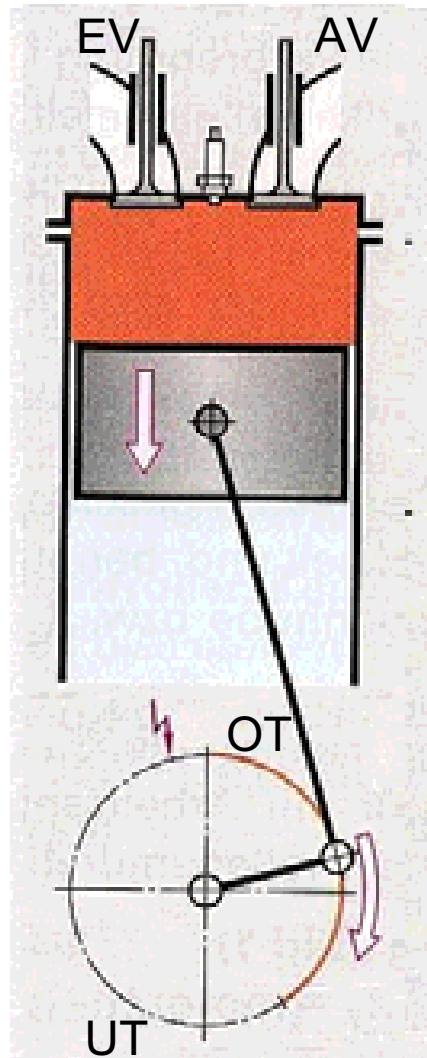
- Aufwärtsbewegung des Pleuellagers
- EV und AV sind geschlossen
- Verdichten der Ladung
- Temperaturerhöhung der Ladung
- Förderung der Vergasung des Kraftstoffes
- Erzielung einer innigen Vermischung von Luft und Kraftstoff

EV: Einlassventil
AV: Auslassventil

OT: Oberer Totpunkt
UT: Unterer Totpunkt

 Zündbeginn

3.1 Vier-Takt-Verfahren



3. Takt: Arbeiten

- Näherungsweise isentrop und isochor
- Einleitung der Verbrennung durch Zündfunken
- Entwicklung der Flammenfront dauert beispielsweise 1 ms bei einer Verbrennungsgeschwindigkeit von ca. 20 m/s
- Zündbeginn kurz vor OT
- Maximaler Verbrennungsdruck kurz nach OT
- Beide Energieumwandlungen im 3. Takt

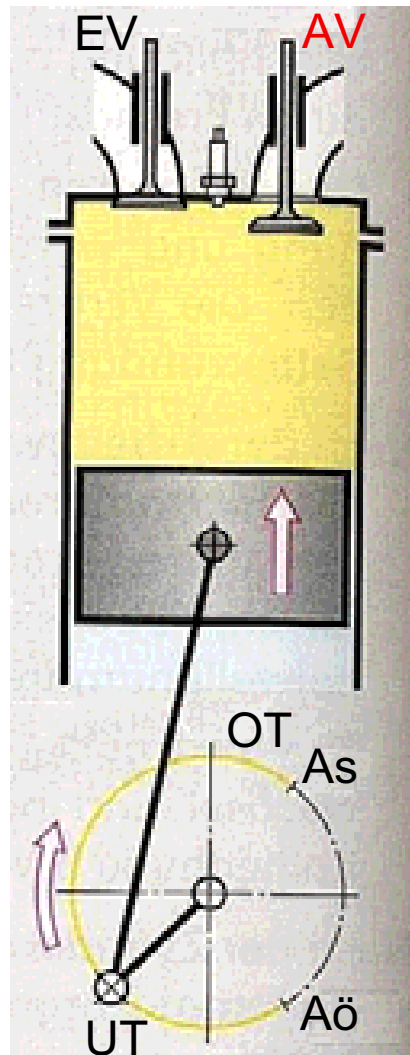
EV: Einlassventil
AV: Auslassventil

OT: Oberer Totpunkt
UT: Unterer Totpunkt

 Zündbeginn

Aö: Auslassventil öffnet

3.1 Vier-Takt-Verfahren



4. Takt: Ausstoßen

- Öffnen des Auslassventiles vor UT (Vorauspuff)
- Schließen des Auslassventiles erst nach OT, wenn Einlassventil bereits geöffnet
- Ventilüberschneidung, Spülverlust
- Kühlung des Verbrennungsraumes durch Spülgas

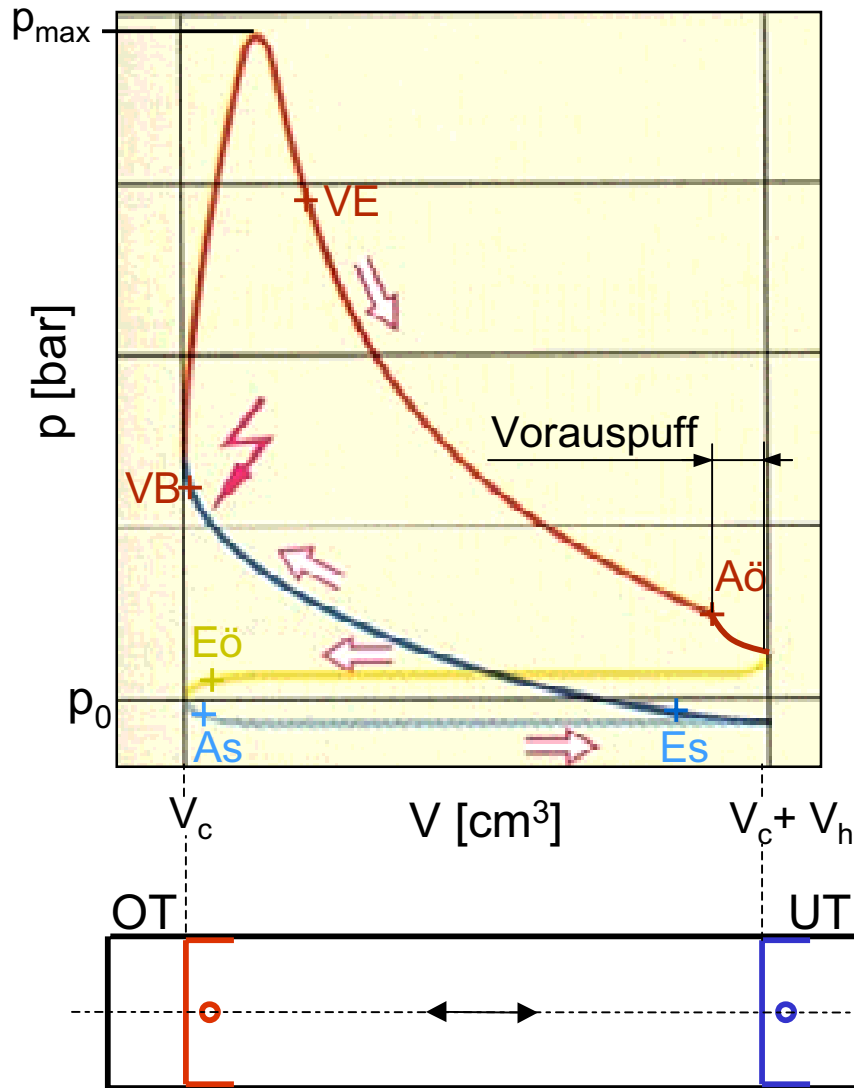
EV: Einlassventil
AV: Auslassventil

OT: Oberer Totpunkt
UT: Unterer Totpunkt

Aö: Auslassventil öffnet

As: Auslassventil schließt

3.1 Vier-Takt-Verfahren im p-V-Diagramm



- 1. Takt **Ansaugen** Niederdruckteil
- 2. Takt **Verdichten** Hochdruckteil
- 3. Takt: **Arbeiten** Hochdruckteil
- 4. Takt: **Ausstoßen** Niederdruckteil

- Steuerung durch Ventile

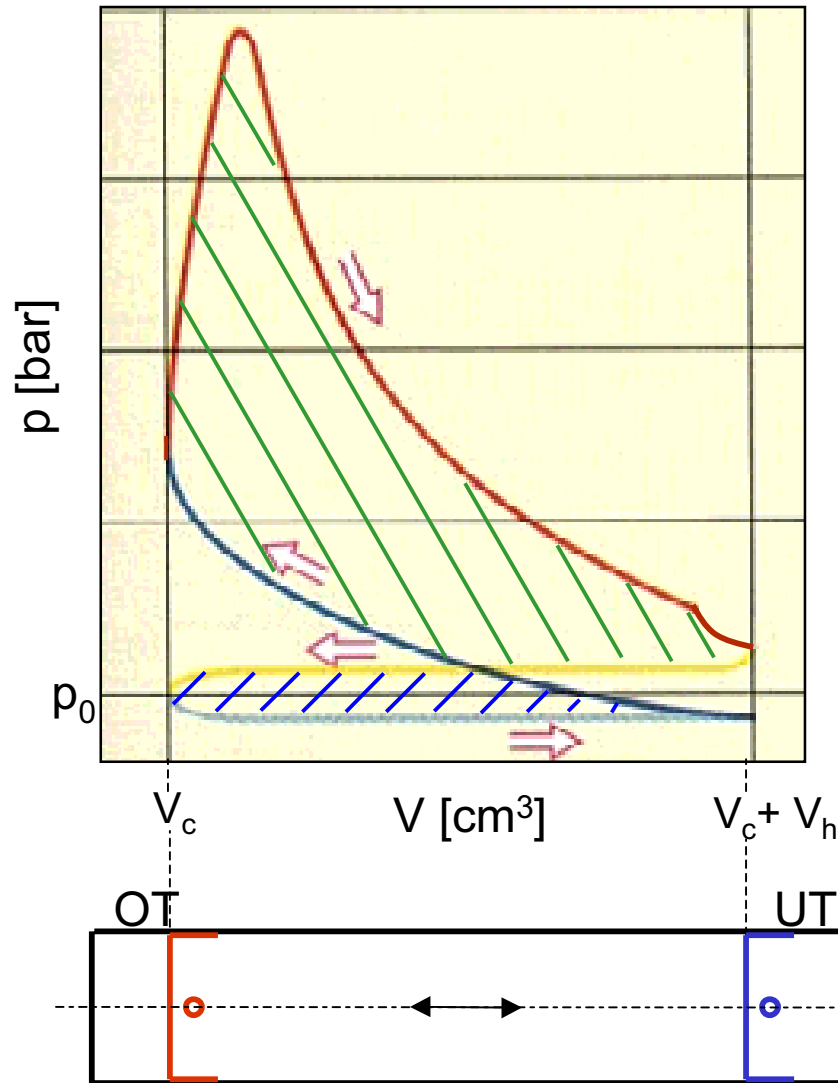
Eö: Einlassventil öffnet Aö: Auslassventil öffnet
 Es: Einlassventil schließt As: Auslassventil schließt
 VB: Verbrennungsbeginn V_c: Kompressionsvolumen
 VE: Verbrennungsende V_h: Hubvolumen

$$\epsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad \text{Verdichtungsverhältnis}$$

$$\epsilon \approx 18 \quad \text{KFZ-Diesel-Motor}$$

$$\epsilon \approx 10 \quad \text{Benzin-Otto-Motor}$$

3.1 Vier-Takt-Verfahren im p-V-Diagramm



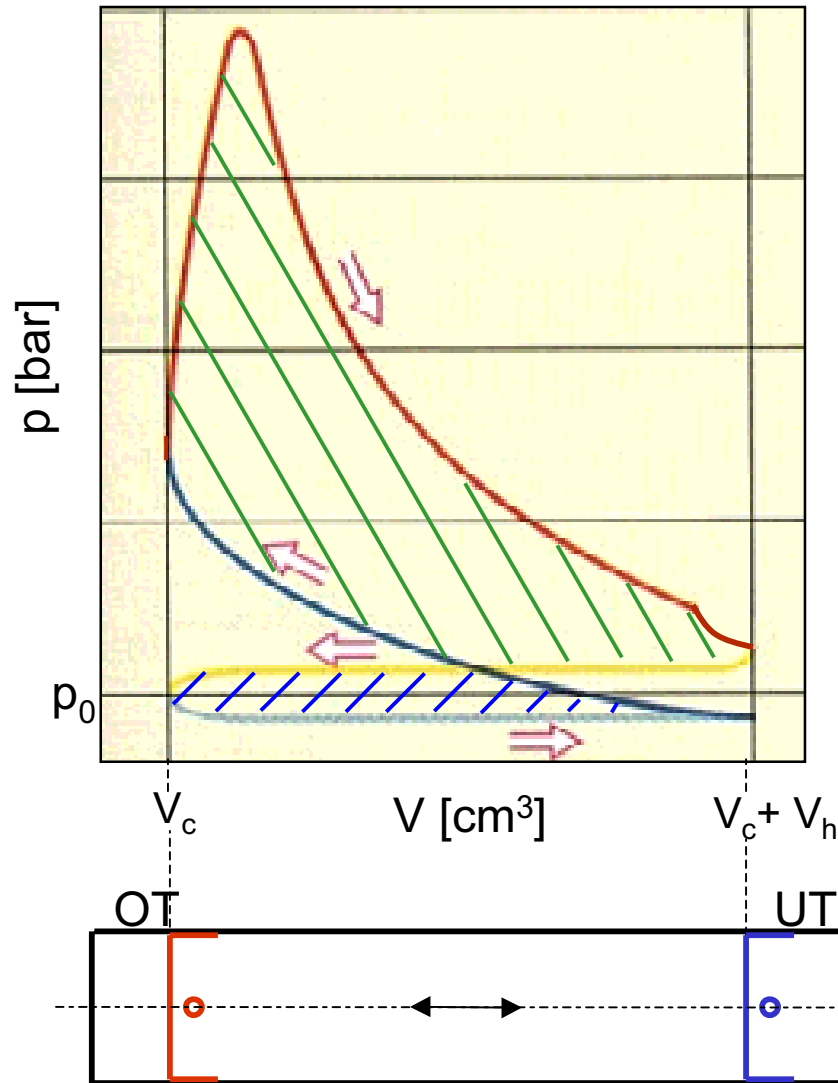
- 1. Takt **Ansaugen**
- 2. Takt **Verdichten**
- 3. Takt: **Arbeiten**
- 4. Takt: **Ausstoßen**

- Arbeitsaufnehmende und arbeitsliefernde Anteile
- Takt 1,2,4 nimmt Arbeit auf
- Takt 3 liefert Arbeit
- Nutzarbeit ist Differenz zwischen Arbeitsaufnahme und Arbeitsabgabe

$$W_{\text{NUTZ}} = \text{[Green Shaded Area]} - \text{[Blue Shaded Area]}$$

$$W_{\text{NUTZ}} = \text{Expansionsarbeit} - \text{Verdichtungsarbeit} - \text{Gaswechsellarbeit} - \text{Ansaugarbeit}$$

3.1 Vier-Takt-Verfahren im p-V-Diagramm



- 1. Takt **Ansaugen** 3. Takt: **Arbeiten**
- 2. Takt **Verdichten** 4. Takt: **Ausstoßen**

- Isentrope Volumenänderungsarbeit w_v ist abhängig von der Starttemperatur
- Temperatur vor der Expansion sollte so hoch wie möglich sein → Verbrennungsprozess
- Ohne Verbrennung (= Umwandlung der chemischen in thermische Energie) wäre Expansionsarbeit = Verdichtungsarbeit

$$W_{\text{NUTZ}} = \text{[Green Hatched Area]} - \text{[Blue Hatched Area]}$$

$$W_{\text{NUTZ}} = \text{Expansionsarbeit} - \text{Verdichtungsarbeit} - \text{Gaswechsellarbeit} - \text{Ansaugarbeit}$$

3.1 Zwei-Takt-Verfahren

Kennzeichen:

- 2 Takte bilden ein Arbeitsspiel (AS)

Ablauf eines Arbeitsspieles:

- 1. Takt: Ausströmen, Überströmen, Verdichten
 - 2. Takt: Arbeiten, Ausströmen
- 1 Takt entspricht einer halben Kurbelwellenumdrehung
→ 1 Kurbelwellenumdrehung bildet 2 Takte = 1 Arbeitsspiel

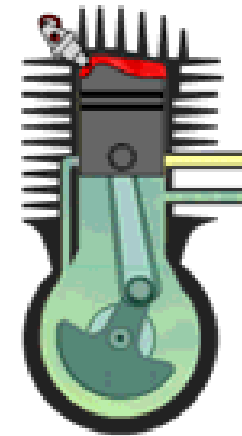


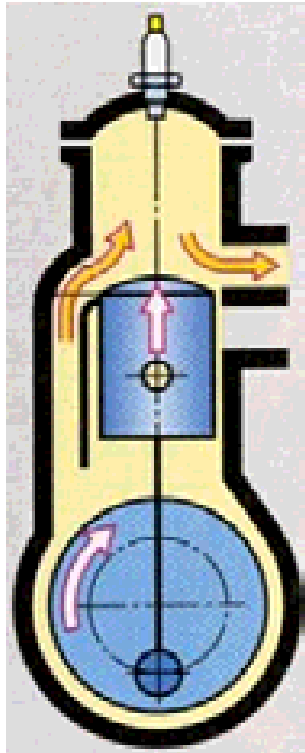
Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

Motorsteuerung:

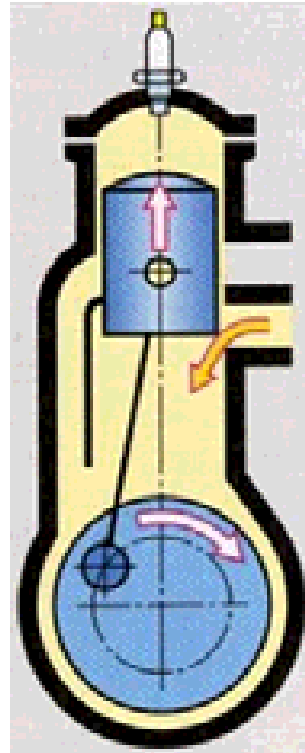
- Ladungswechsel wird in der Regel durch Pleuellager gesteuert
- keine zusätzlichen Steuerorgane notwendig

3.2 Zwei-Takt-Verfahren

Ausströmen,
Überströmen



Verdichten



Überströmen

Voransaugen,
Ansaugen

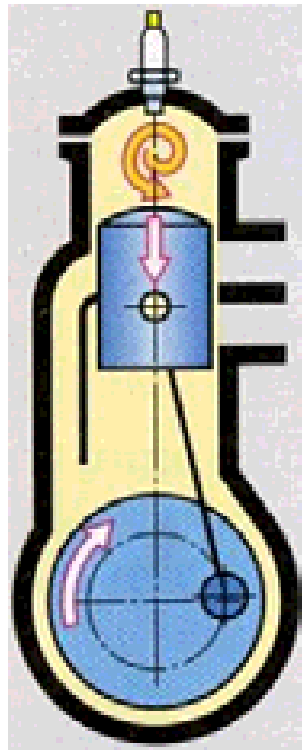
1. Takt

- Frischgas aus dem Kurbelgehäuse strömt in den Zylinder ein und spült Restgas aus
- Kolben überfährt Überströmkanal und Auslassschlitz
- Kolben verdichtet Ladung
- Kolben gibt Einlassschlitz frei
- Frischgas wird vom Kurbelgehäuse angesaugt

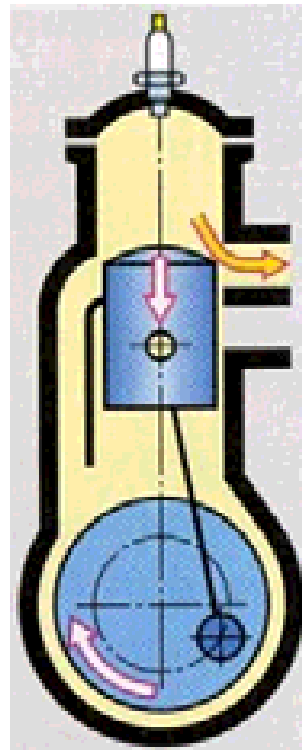
Abbildung: Dreikanal-Zweitakt-Motor

3.2 Zwei-Takt-Verfahren

Arbeiten



Ausströmen



Vorverdichten

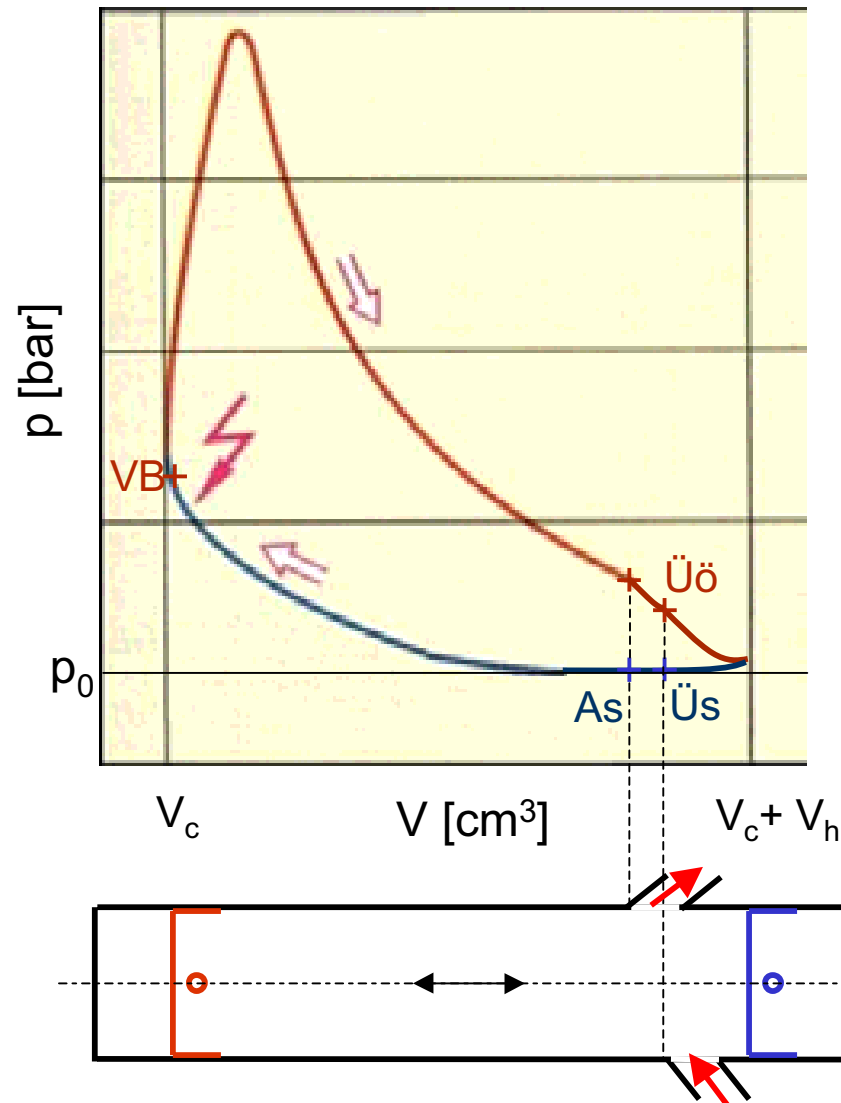
Vorverdichten,
Überströmen

2. Takt

- Hinabgleitender Kolben überfährt Einlassschlitz und verdichtet Frischgas im Kurbelgehäuse
- Auslassschlitz liegt höher als Einlassschlitz
- Arbeitsgas strömt aus
- Einströmen des Frischgases beginnt

Abbildung: Dreikanal-Zweitakt-Motor

3.2 Zwei-Takt-Verfahren im p-V-Diagramm



1. Takt: Ausströmen,
Überströmen,
Verdichten

2. Takt: Arbeiten,
Ausströmen

Aö: Auslassschlitz öffnet

As: Auslassschlitz schließt

Üö: Überströmschlitz öffnet

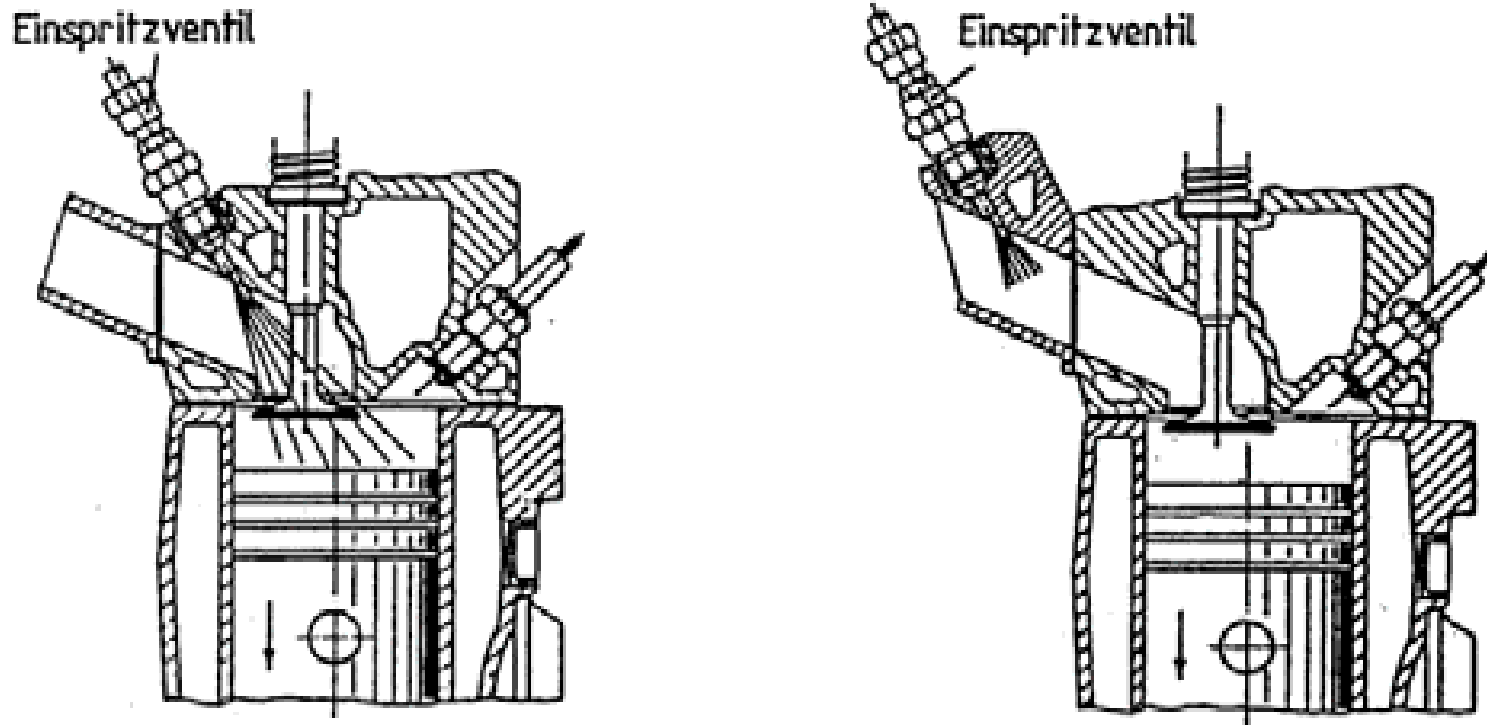
As: Überströmschlitz schließt

VB: Verbrennungsbeginn

V_c : Kompressionsvolumen

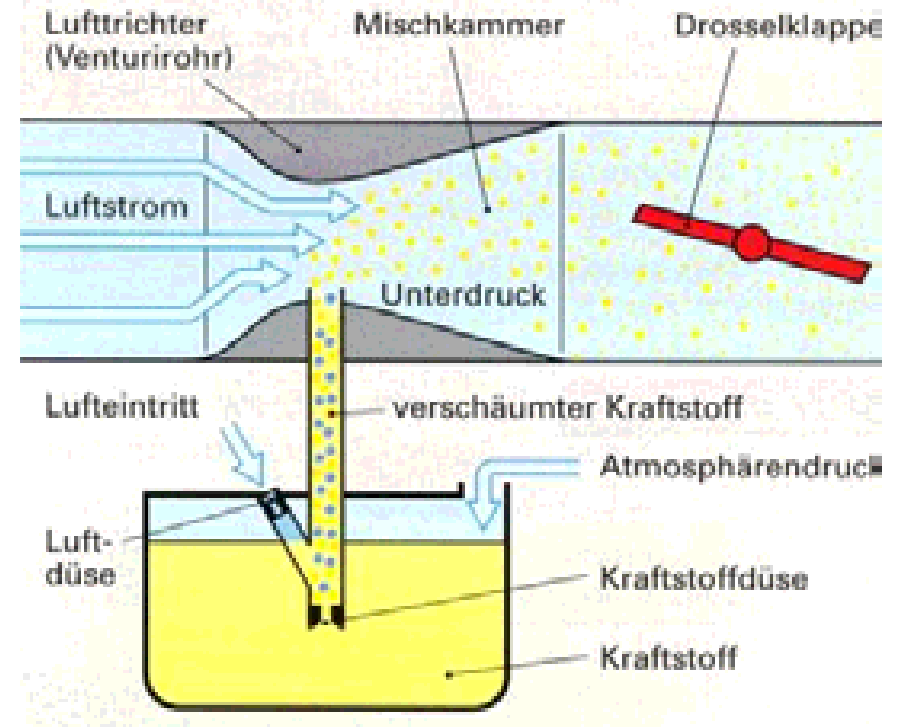
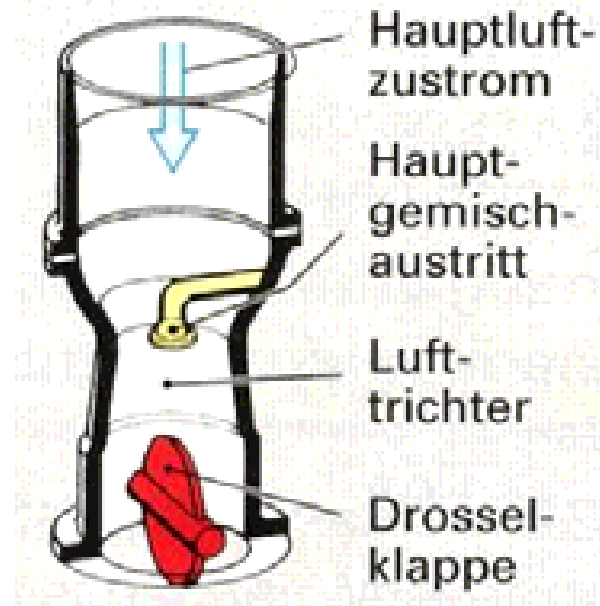
V_h : Hubvolumen

4.1 Äußere Gemischbildung



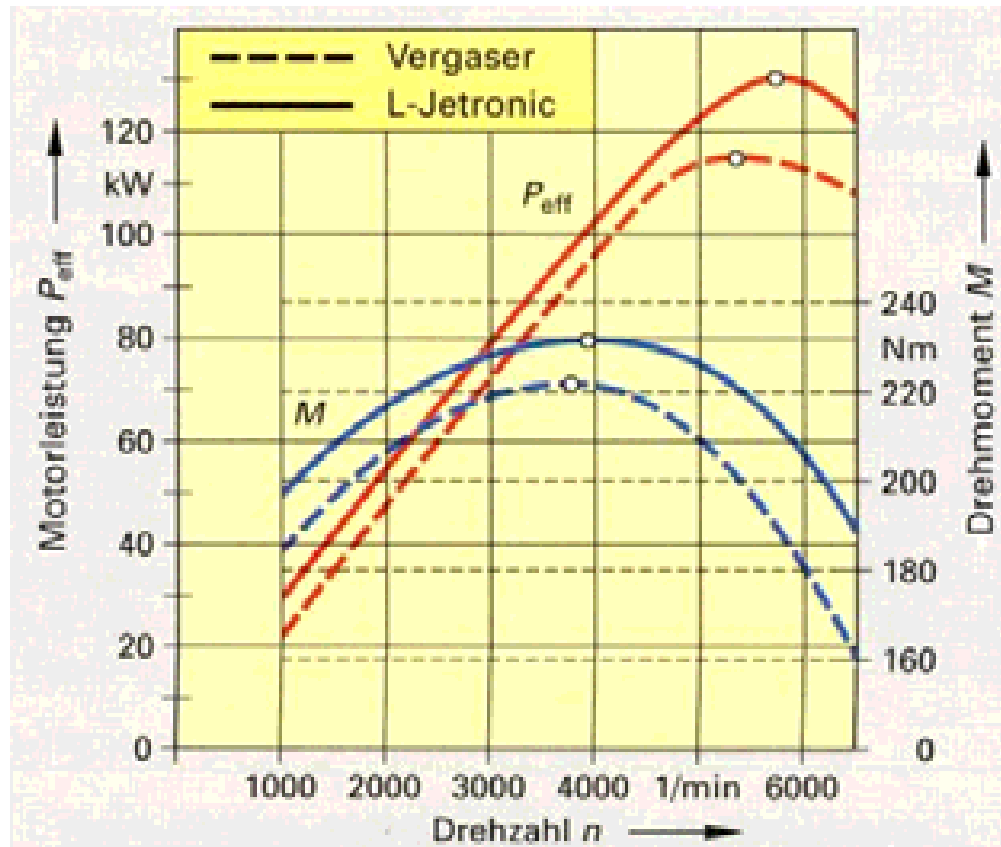
- Charakteristisches Merkmal für **Otto-Motoren**
- Bildung des Gemisches außerhalb des Brennraumes
- Bildung des Gemisches durch Vergaser oder Einspritzen des Kraftstoffes in das Saugrohr

4.1.1 Äußere Gemischbildung mit Vergaser



- Querschnittsverengung erzeugt Unterdruck
- Ansaugen des Kraftstoffes und Zerstäubung im Bereich der Mischkammer
- Verbesserung der Zerstäubung durch Erzeugung von Vorgemisch (Verschäumung)
- Drosselklappenstellung steuert Kraftstoff-Luft-Gemischmenge (Quantitätssteuerung)

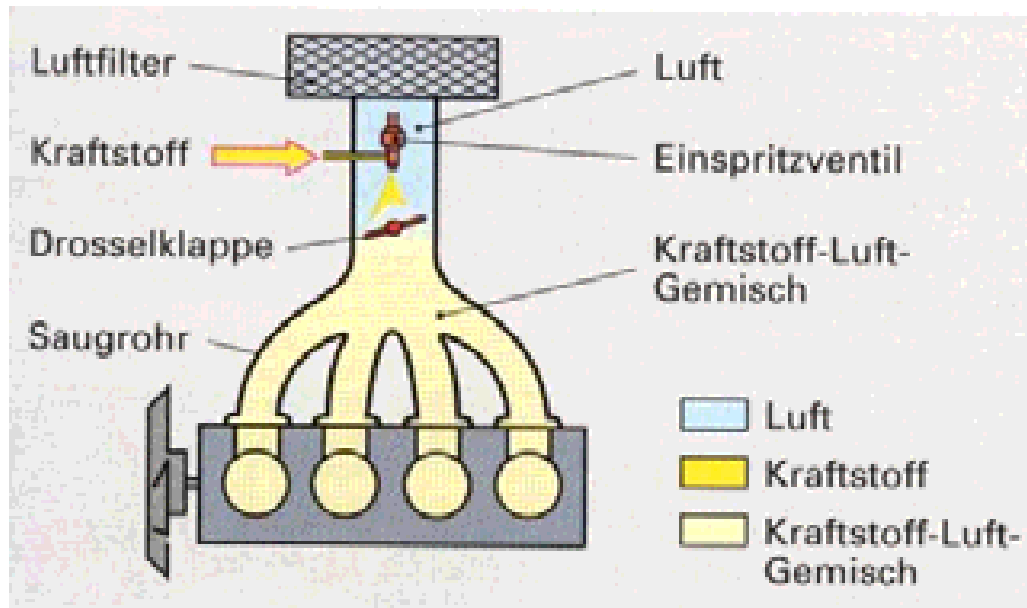
4.1.2 Indirekte Benzineinspritzung



- Benzineinspritzung hat Vergasertechnik weitgehend abgelöst
- Kraftstoff wird der angesaugten Luft in allen Betriebspunkten exakt zugemessen
- Kraftstoffpumpe erhöht den Druck des Kraftstoffes
- Feinzerstäubung direkt vor dem Brennraum durch Einspritzdüsen (schnellere Vergasung und Gemischbildung, kurze Wege)

- + Verringerung des spez. Verbrauches
- + Reduzierung der Schadstoffe im Abgas
- + Drehmoment und Leistungssteigerung
- + günstiger Verlauf der Vollastkennlinie

4.1.2 Indirekte Benzineinspritzung



Zentraleinspritzung

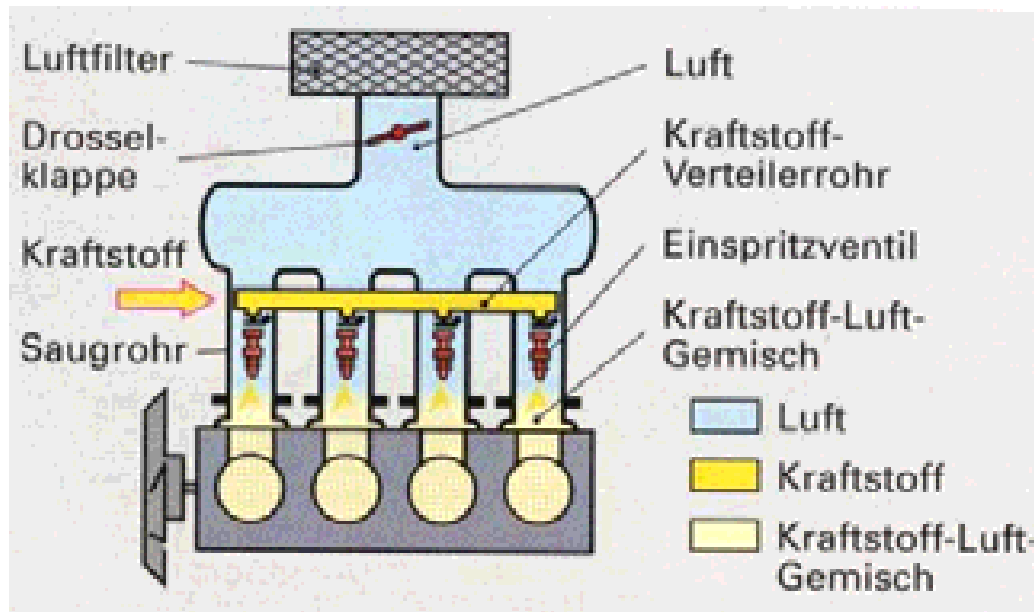
SPI (Single Point Injection)

(**TBI (Throttle Body Injection)**,
General Motors)

(Mono-Jetronic (Bosch))

- Zentrale Einspritzung vor der Drosselklappe
- + Verbesserung der Aufbereitung des Kraftstoff–Luft–Gemisches durch Zerstäubung im Drosselklappenspalt und Verdampfung im heißen Saugrohr
- Transport auf unterschiedlich langen Wegen und Rohrverzweigungen mit Randwirbeln verursacht unterschiedliche Aufteilung auf die Zylinder
- Wandbenetzungen können Gemischinhomogenitäten verursachen

4.1.2 Indirekte Benzineinspritzung

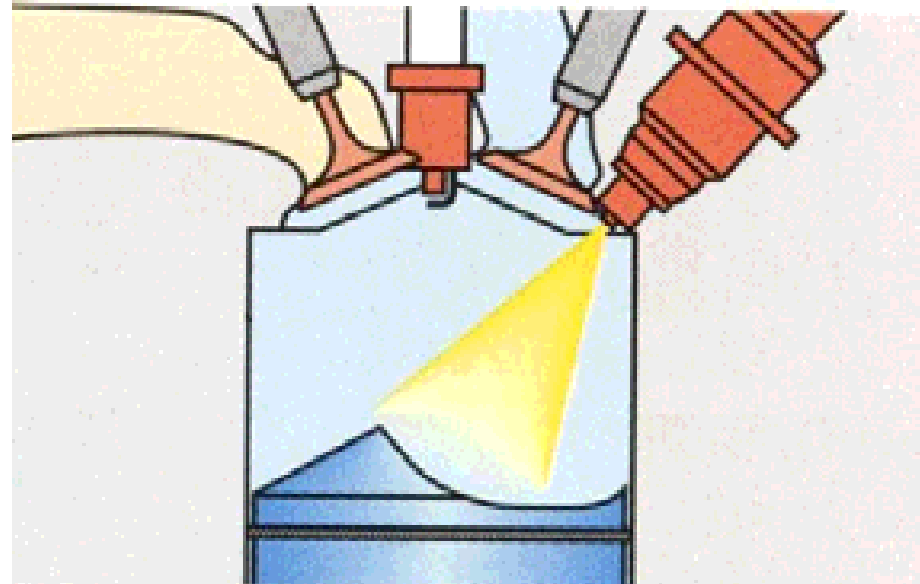
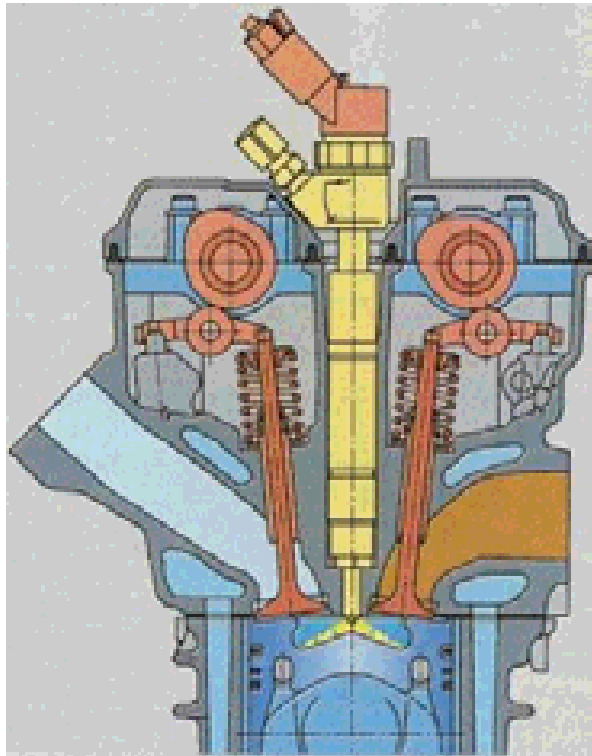


Einzelsaugrohreinspritzung

MPI (Multi Point Injection)

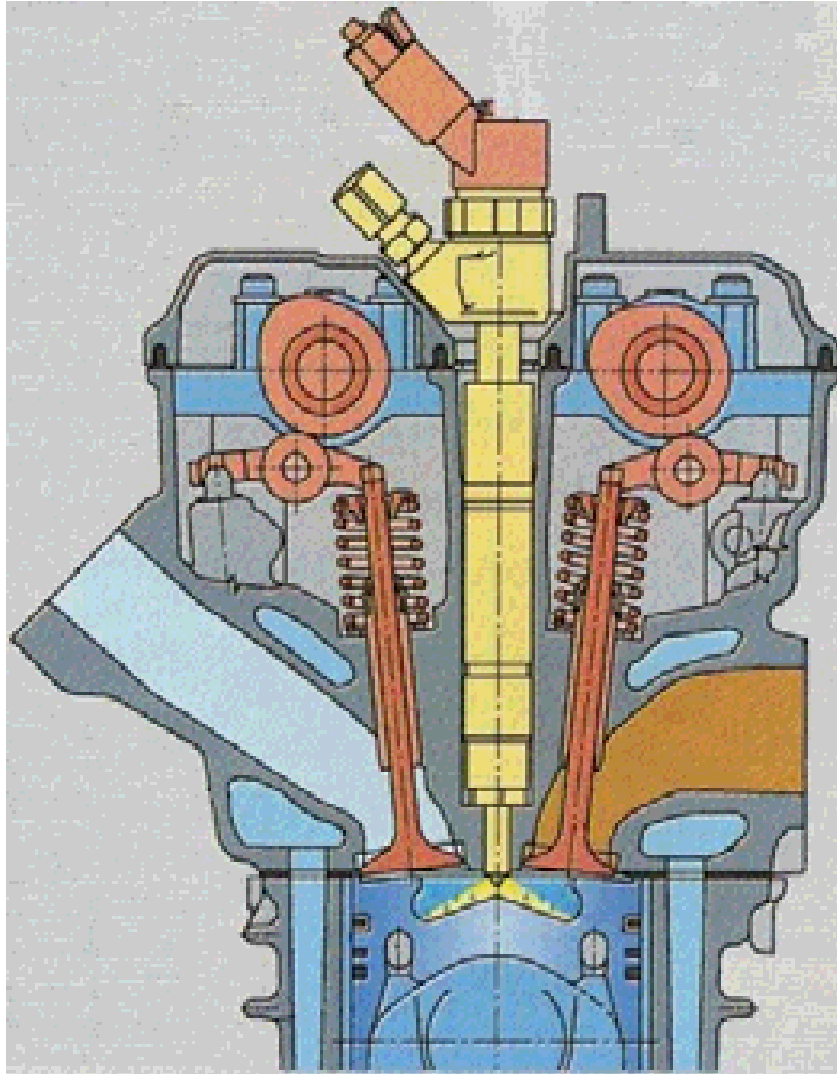
- jedem Zylinder ist ein Einspritzventil zugeordnet
- Einspritzventile können im Ansaugrohr oder unmittelbar vor dem Einlassventil sitzen (siehe auch 4.1)
- + kurze, gleich lange Transportwege
- + gleichmäßige Aufteilung des Gemisches auf die einzelnen Zylinder

4.2 Innere Gemischbildung



- Charakteristisches Merkmal für **Diesel-Motoren**
- Einsatz auch im Otto-Motor (GDI (Mitsubishi) , FSI (Volkswagen), ...)
- Kraftstoff-Luft-Gemischbildung erfolgt im Zylinder

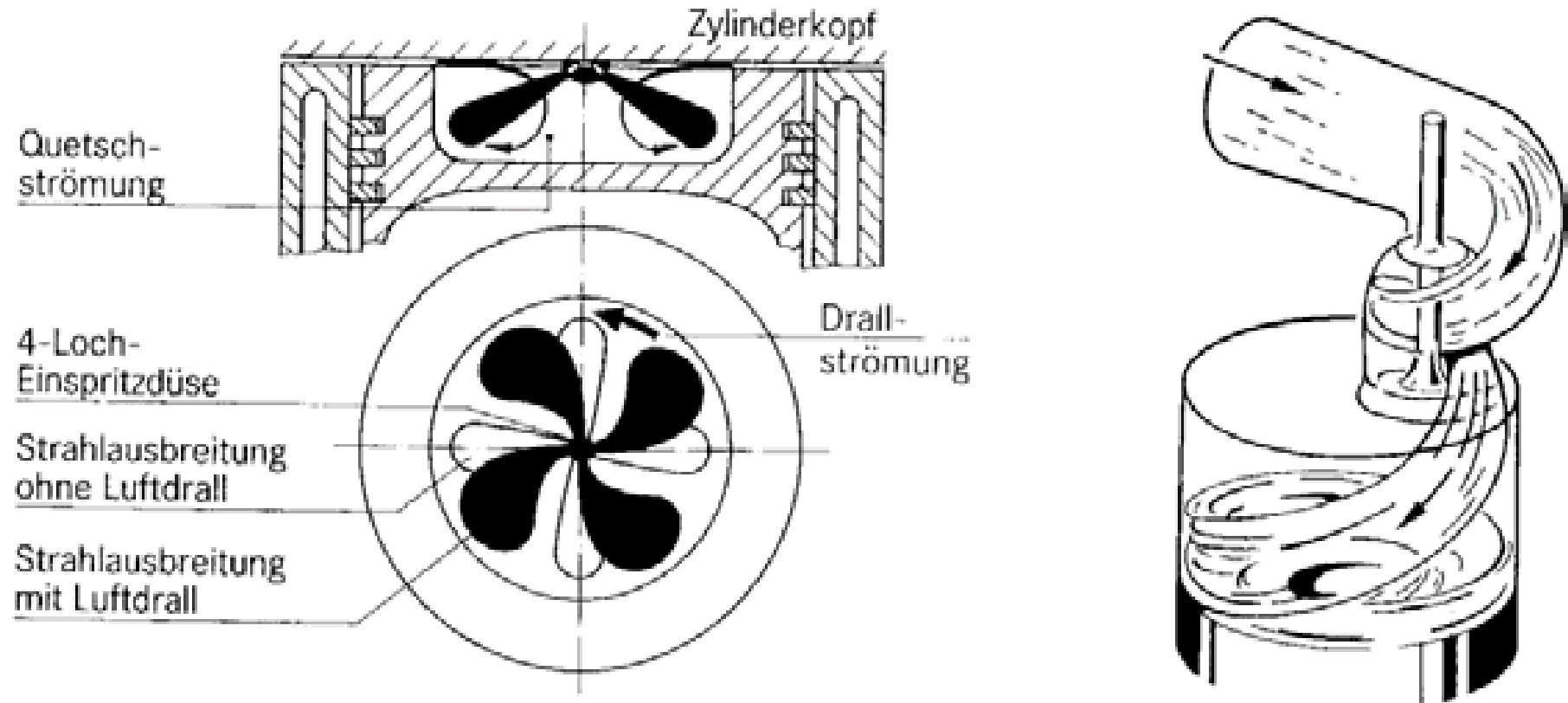
4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren



Direkte Einspritzung (**DI** – Motoren)

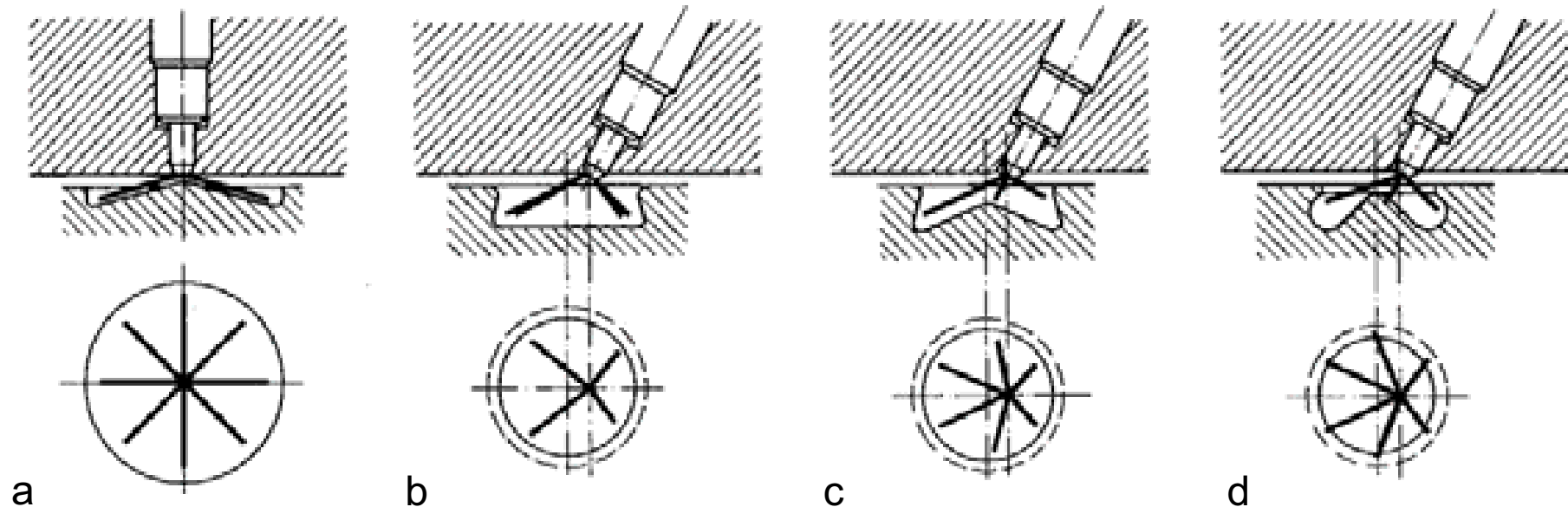
- Einformung des Brennraumes in den Kolben als Kolbenmulde
- Kraftstoff wird zu definiertem Zeitpunkt direkt in den Verbrennungsraum eingespritzt
- Verwendung von Lochdüsen und Einspritzdrücken bis ca. 2000 bar
- Kraftstoff entzündet sich an heißer Luft
- Heute bedeutendste Art der Einspritztechnik bei Dieselmotoren

4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren



- beim DI-Motor bestimmt die Intensität der Drallströmung die Kraftstoffverteilung
- Drallerzeugung in neueren Dieselmotoren erfolgt durch einen sog. Spiralkanal (s.o.)
- Aufladung kompensiert Strömungsverluste im Spiralkanal bei steigender Drehzahl

4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren



- Brennraumform a:
flache Verbrennungsmulde für drallarme Verfahren,
Anwendung bei großen Motoren mit niedriger Drehzahl
- Brennraumform b-d:
tiefere, zumeist eingezogene Brennräume für höhere Drallströmung,
Anwendung bei schneller laufenden Motoren

4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren

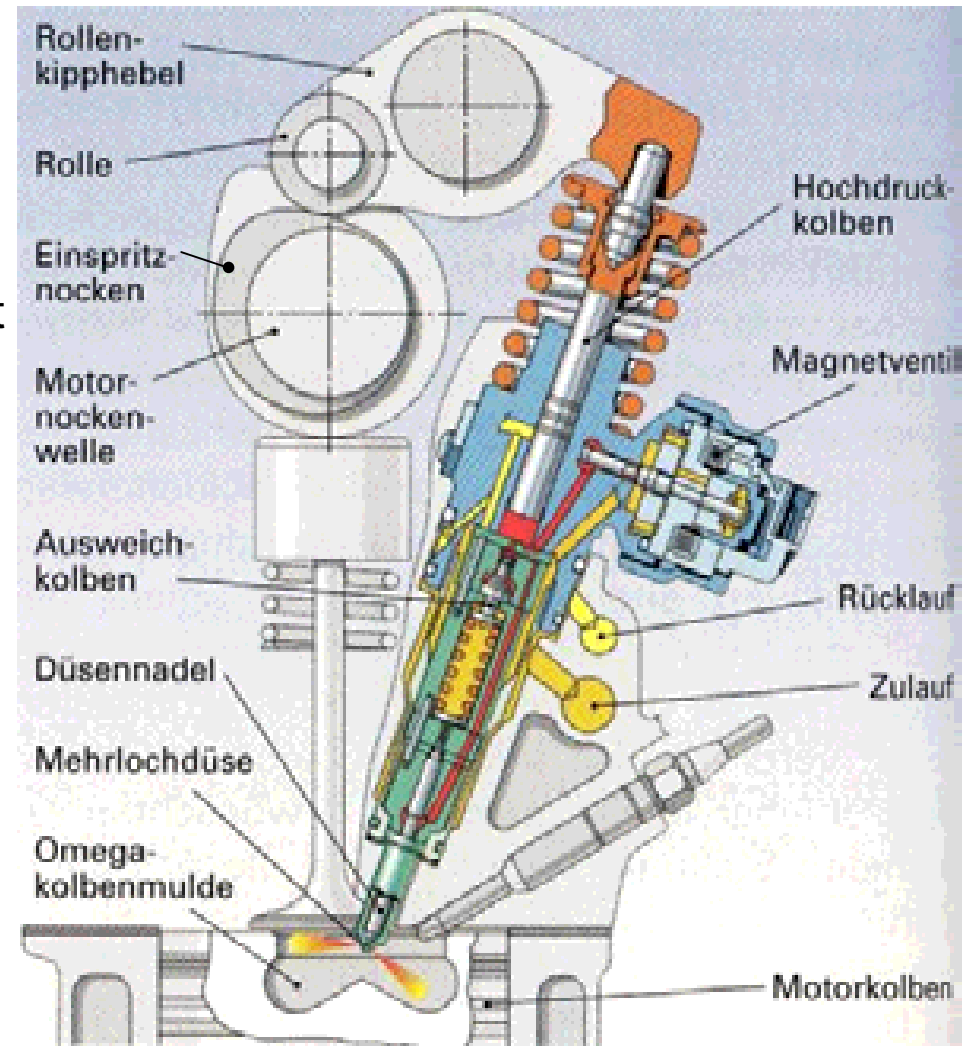
Beispiele hochmoderner Direkteinspritztechniken:

- Pumpe-Düse Einspritzsystem (Einzelpumpensystem)
- Common-Rail-Einspritzsystem (Speichereinspritzung)

4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren

Pumpe-Düse-Einspritzsystem (Einzelpumpen-System)

- Elektronisch geregeltes Einspritzsystem
- Pro Zylinder ein Pumpe-Düse-Element
- Einspritzdrücke bis 2050 bar
- Pumpenkolben, angetrieben durch Nockenwelle mit speziellem Einspritznocken
- Permanentes Kraftstoffpumpen durch Pumpenkolben
- Abführen des überschüssigen Kraftstoffes durch Rücklauf
- Bei offenem Rücklauf kann Kolben keinen Druck aufbauen



4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren

Voreinspritzung

- Beginn der Einspritzung durch Schließen des Rücklaufes mit Magnetventil
- Druckaufbau durch Kolben im Förderhub
- Hydraulisches Anheben der Düsennadel aufgrund der Drucksteigerung, Beginn des Einspritzvorganges
- Einspritzvorgang ist unterteilt in Vor- und Haupt-Einspritzung
- Voreinspritzung für weiche Verbrennung
- Einspritzung einer geringen Kraftstoffmenge zur Auslösung der Verbrennung während der Voreinspritzung
- Abfall des Druckes in der Düseneinheit durch Kraftstoffentnahme während der Voreinspritzung
- gleichzeitig zurückgehender Pumpenkolben (bedingt durch Nockengeometrie)
- Schließen der Düsennadel

4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren

Haupteinspritzung

- Düsennadel ist geschlossen
- Erneuter Druckaufbau durch Kraftstoffzufuhr bei geschlossener Nadel und wieder eindringenden Kolben (bedingt durch Nockengeometrie)
- Hochdruckaufbau (Nockengeometrie)
- erneutes Öffnen der Düsennadel, Einleitung der Haupteinspritzung
- Beenden des Einspritzvorganges durch Öffnen des Magnetventiles und somit Öffnen des Rücklaufes
- Kein Druckaufbau mehr möglich
- Düsennadel bleibt in Sperrstellung bis zum nächsten Einspritzvorgang

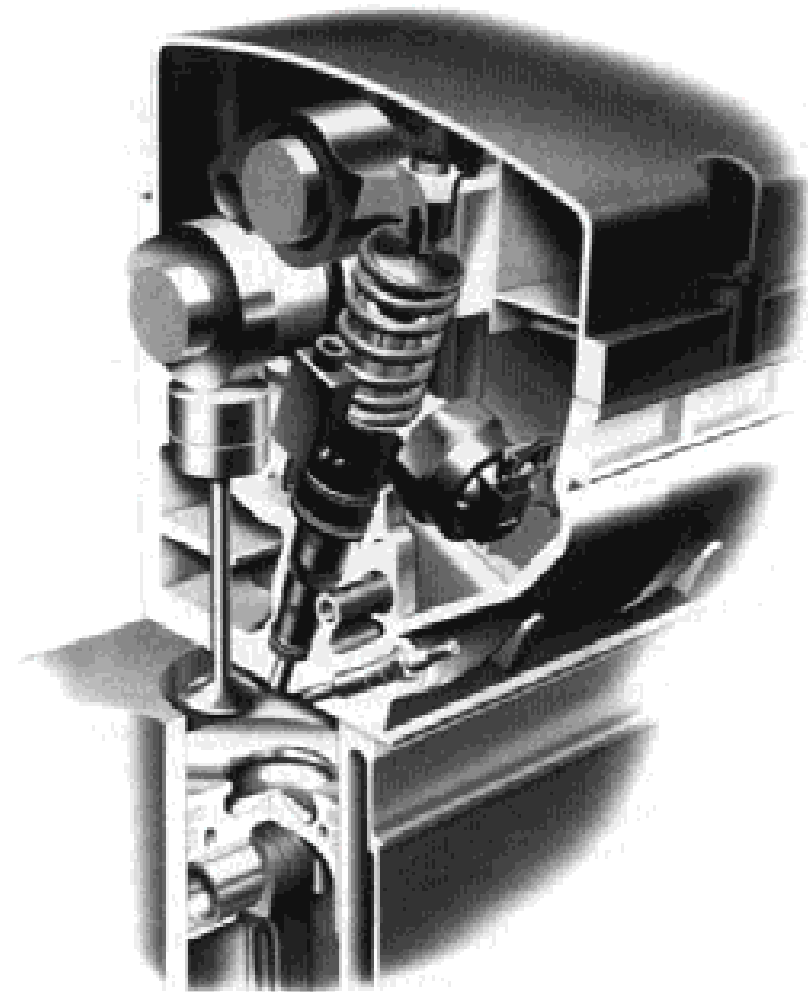
4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren

Eigenschaften der Pumpe-Düse-Technik:

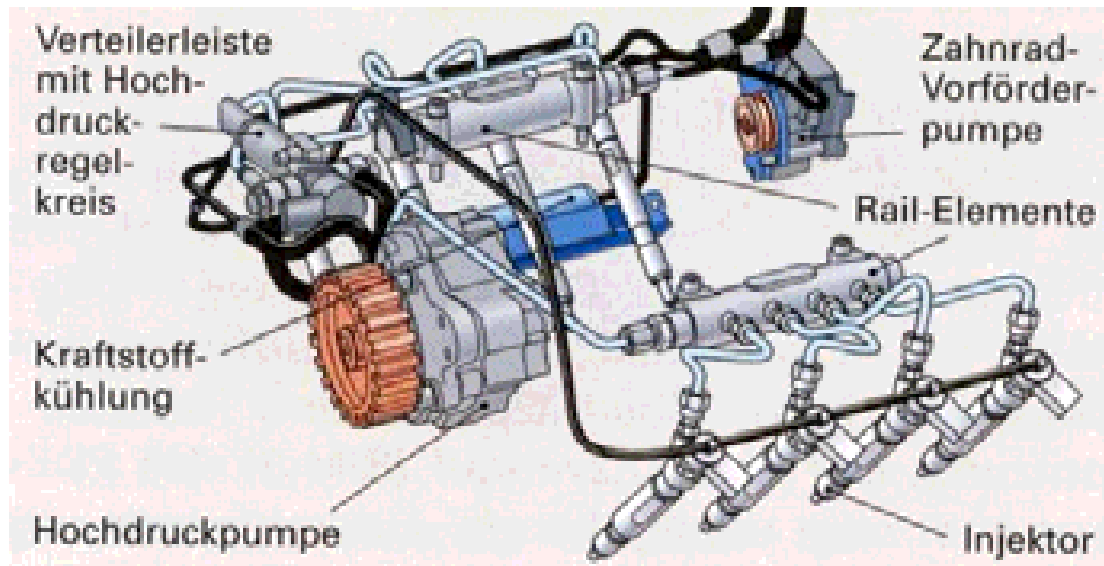
- + Voreinspritzung realisierbar
- + Reduzierung der Schadstoffbildung
- + Geringerer Kraftstoffverbrauch
- + Abschaltung einzelner Zylinder möglich

Abbildung:

Pumpe-Düse-Einspritzung
Volkswagen Golf
1,9-l-TDI -Vierzylinder
110 kW bei 4000 min⁻¹
320 Nm bei 1900 min⁻¹
($p_e = 17,7$ bar)



4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren



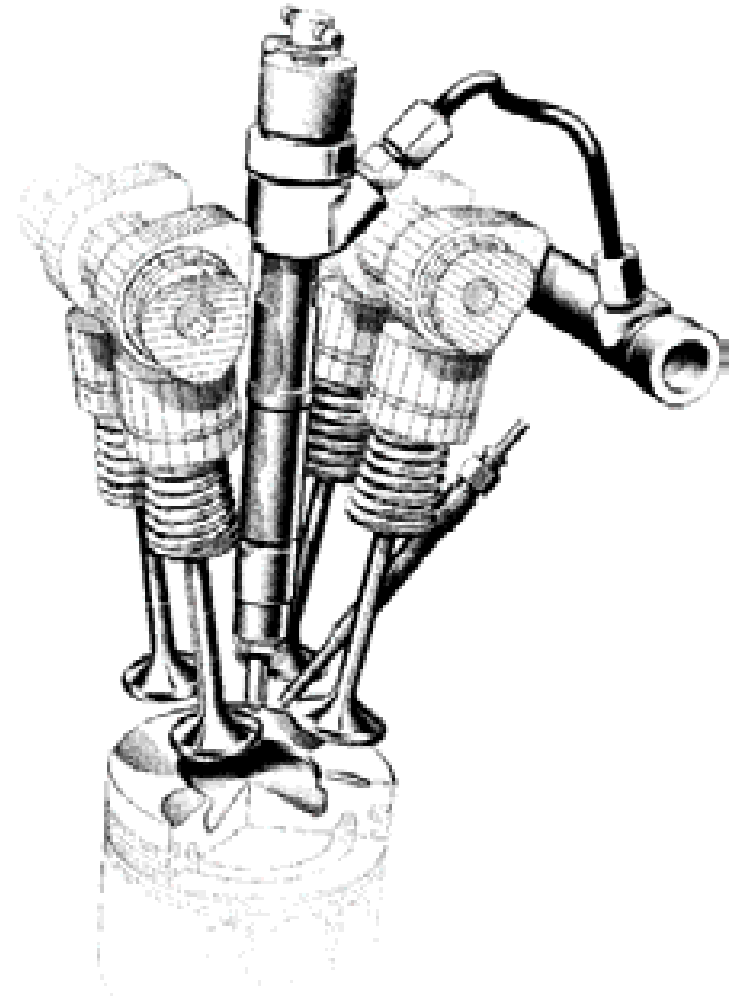
Common-Rail-Einspritzung (Speichereinspritzung)

- Elektronisch regelbare Einspritzanlage (bis ca. 1350 bar)
- Gemeinsames Verteilerrohr für alle Düsen (Common Rail)
- Rail (Volumenspeicher) führt den Kraftstoff über magnetventilgesteuerte Injektoren den Verbrennungsräumen zu
- Einspritzmenge wird bestimmt durch Raildruck und Öffnungsdauer des Einspritzventiles

4.2.1 Direkt einspritzende Dieselmotoren

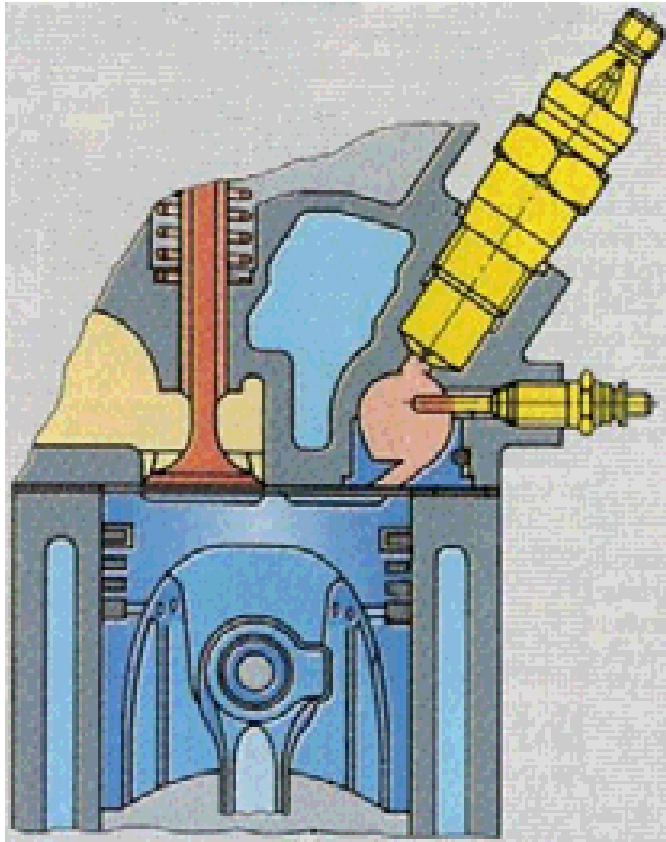
Eigenschaften der Common-Rail-Technik:

- + Voreinspritzung realisierbar
- + Reduzierung der Schadstoffbildung
- + Geringerer Kraftstoffverbrauch
- + kurzer Zündverzug für die Haupteinspritzmenge
- + sehr weiche Verbrennung
- + variable Einspritzdrücke
- + Einspritzverlauf programmierbar
- + günstige Anpassung an Motor möglich

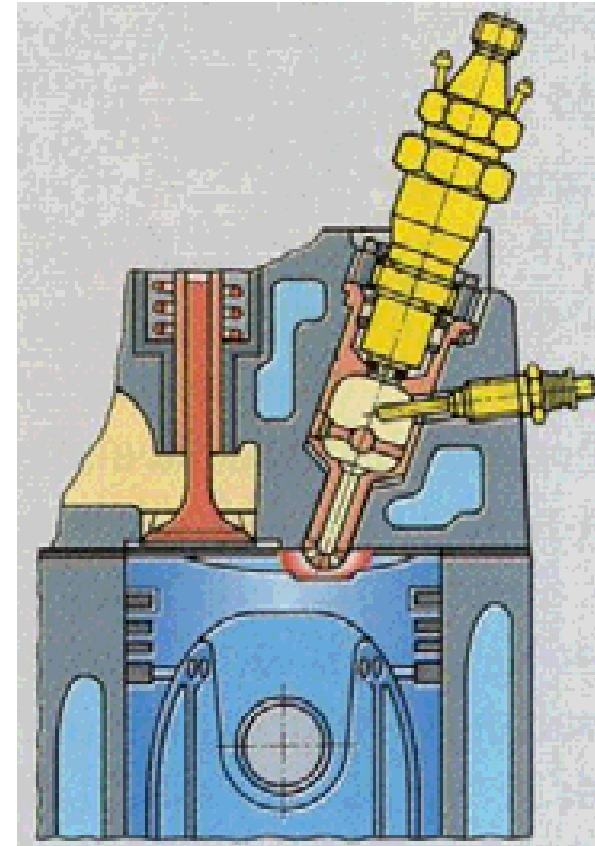


4.2.2 Indirekt einspritzende Dieselmotoren

Indirekte Einspritzung (**IDI**-Motoren)



a) Wirbelkammerverfahren



b) Vorkammerverfahren

4.2.2 Indirekt einspritzende Dieselmotoren

Indirekte Einspritzung (**IDI**-Motoren)

- Verfahren mit Nebenkammern (Wirbelkammer oder Vorkammer) im Zylinderkopf
- Einspritzdüse, oft in Form von Zapfendüsen
- Verdichtete, heiße Luft wird in Nebenkammer gepresst und gerät dort in Rotation
- Einspritzen des Kraftstoffes mit ca. 450 bar in Nebenkammer
- Wesentlicher Kraftstoffanteil lagert sich an Kammeroberfläche an
- Teil des Kraftstoffes bildet Gemisch mit Luft in Kammer und entzündet sich
- Verbrennungswärme verursacht Verdampfung des wandgelagerten Kraftstoffes
- Verbrennungsdruck presst teilverbranntes, fettes Gemisch aus der Nebenkammer über Schuss bzw. Strahlkanäle in den Hauptverbrennungsraum
- Vollständige Verbrennung mit heißer Luft im Hauptverbrennungsraum

→ Zweistufige Verbrennung

4.2.3 Vergleich DI-Motoren und IDI-Motoren

Direkte Einspritzung (**DI** – Motoren)

- + Hoher Gesamtwirkungsgrad
- + Geringer spezifischer Kraftstoffverbrauch (generell)
- + Gute Kaltstartfähigkeit
- + Einfacher, kostengünstiger Zylinderkopf
- + durch Voreinspritzung geringere Schadstoffemission und reduzierter Kraftstoffverbrauch
- Aufwendigere Einspritzanlage

Indirekte Einspritzung (**IDI**-Motoren)

- + Zweistufige, weiche Verbrennung
- + weicher, ruhiger Motorlauf
- + einfache Einspritzanlage
- höhere Verdichtung
- höherer spezifischer Kraftstoffverbrauch
- Kaltstarthilfseinrichtung benötigt

DI-Technik in Verbindung mit Aufladetechnik hat sich über die letzten Jahre durchgesetzt !

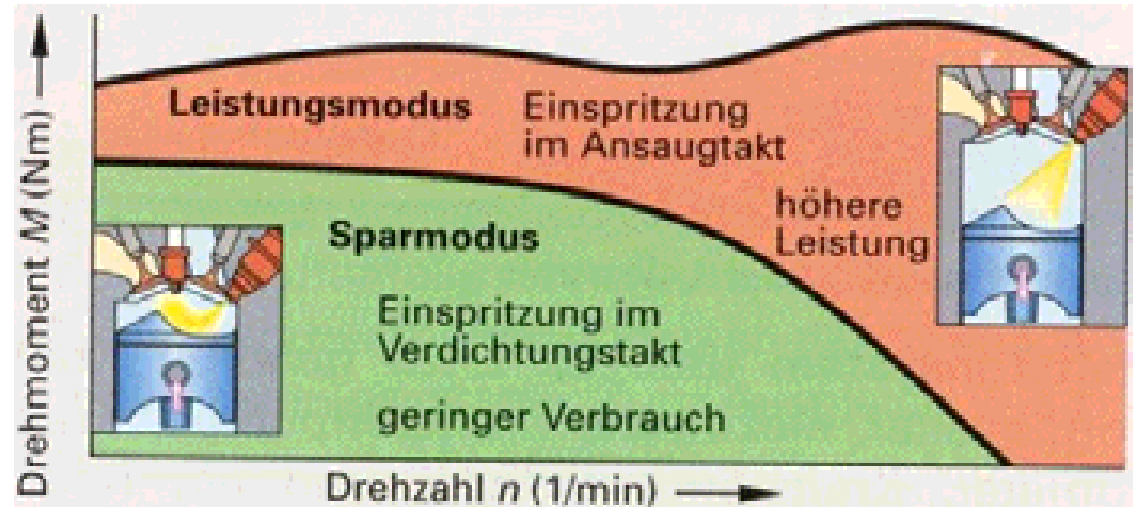
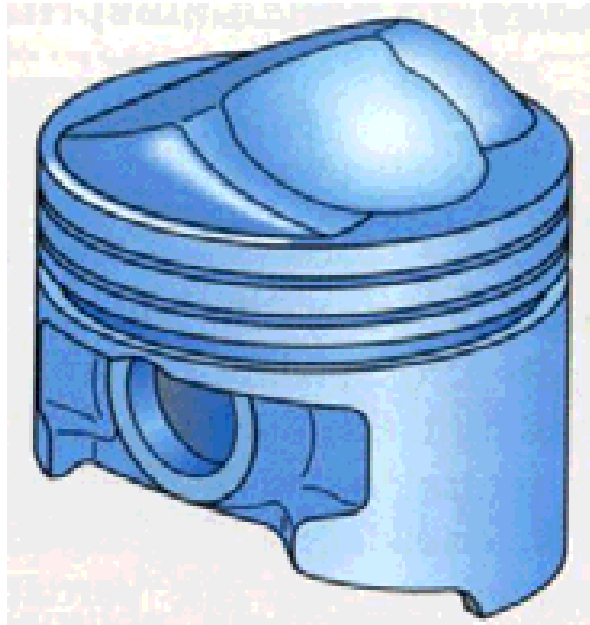
4.2.4 Direkt einspritzende Ottomotoren

Direkte Benzin-Einspritzung

GDI (Gasoline Direct Injection)

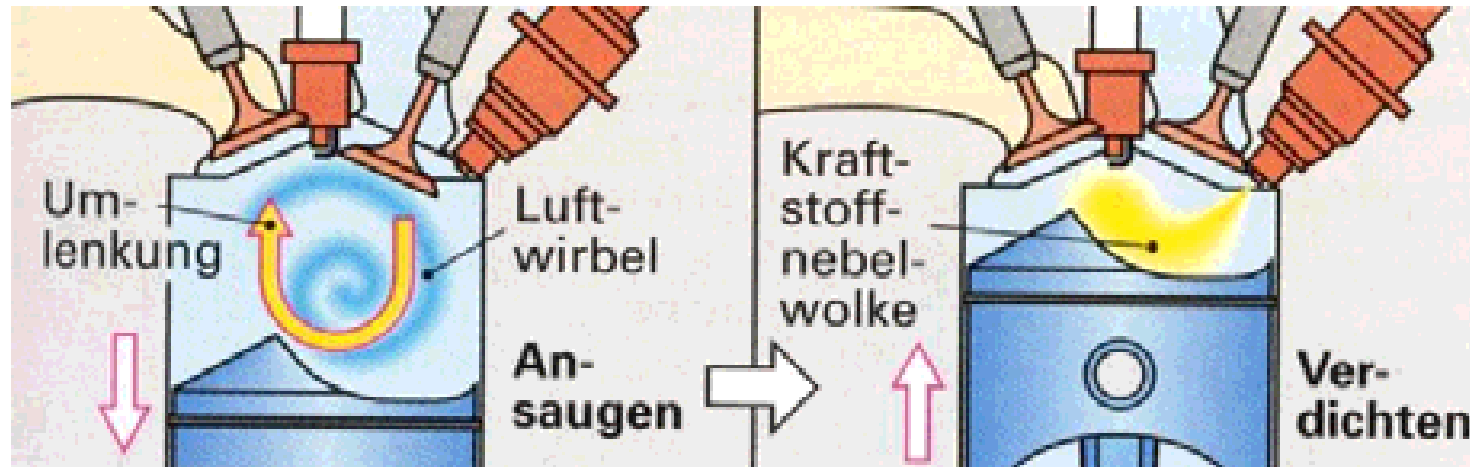
- Direkte Einspritzung des Kraftstoffes in die Zylinder
- 2 Betriebsarten (Spar- und Leistungsmodus)
- geringerer Kraftstoffverbrauch (abhängig von der Fahrweise)
- Höhere Leistung aus kleinerem Hubraum
- geringere CO₂-Emission

4.2.4 Direkt einspritzende Ottomotoren - GDI



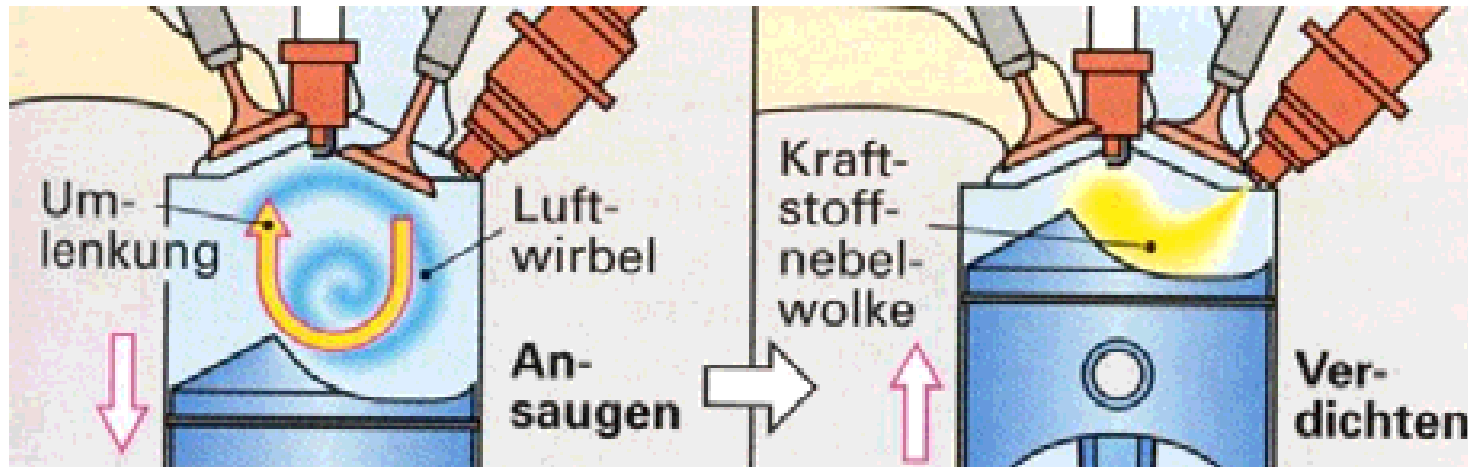
- Sparmodus –
Einspritzung im Verdichtungsstakt, Magergemisch
- Leistungsmodus –
Einspritzung im Ansaugtakt, homogenes Gemisch innerhalb der Zündgrenzen
- Nasenkolben mit Kolbenmulde lenkt Luftstrom und Kraftstoff-Luftgemisch
- Drallscheiben verändern Strahlbild

4.2.4 Direkte Benzineinspritzung - Sparmodus



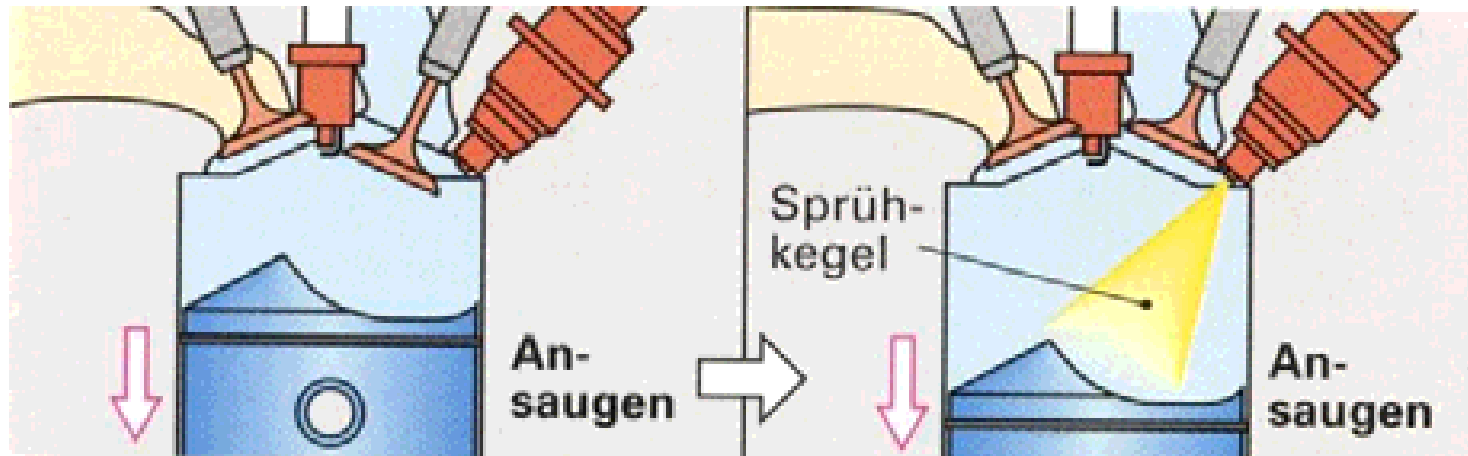
- Erzeugung von Magergemisch mit $\lambda = 2...5$
- Magergemisch wäre bei homogener Gemischbildung nicht mehr zündfähig
- Ansaugluft wird in eine drallförmige Bewegung versetzt (links)
- Umlenkung des Luftstromes nach oben durch Kolbennase und Pleiermulde
- Einspritzen einer minimalen Kraftstoffmenge
- Pleierscheibe gewährleistet feinste Zerstäubung des Kraftstoffes

4.2.4 Direkte Benzineinspritzung - Sparmodus



- unterschiedliche Drehbewegungen der stark verwirbelten Luft und kompakte Kraftstoffnebelwolke bilden Schichten mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen
 - Schichtladung, Schichtladebetrieb
- Fetttes Kraftstoff-Luft-Gemisch, umgeben von mageren Schichten
- Sicheres Entzünden des fetten Gemisches durch Zündfunken
- Stabile, saubere Verbrennung des Kraftstoffs mit umliegenden Schichten

4.2.4 Direkte Benzineinspritzung - Leistungsmodus

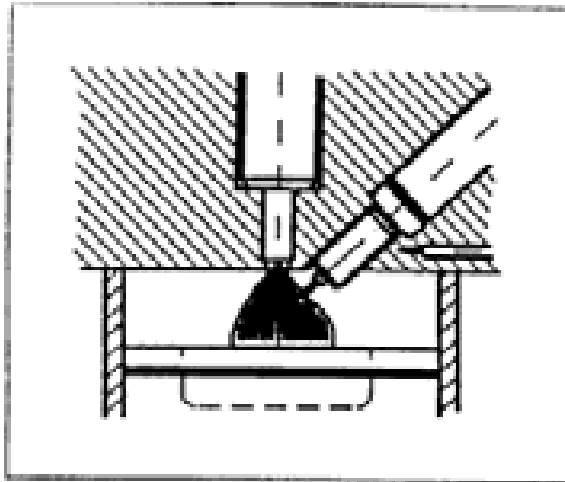


- Begrenzte Magerlauffähigkeit des Gemisches im oberen Lastbereich
- Erzeugung von Gemisch innerhalb der Zündgrenzen
- Einspritzen des Kraftstoffes mit breitem Sprühkegel im Ansaugtakt

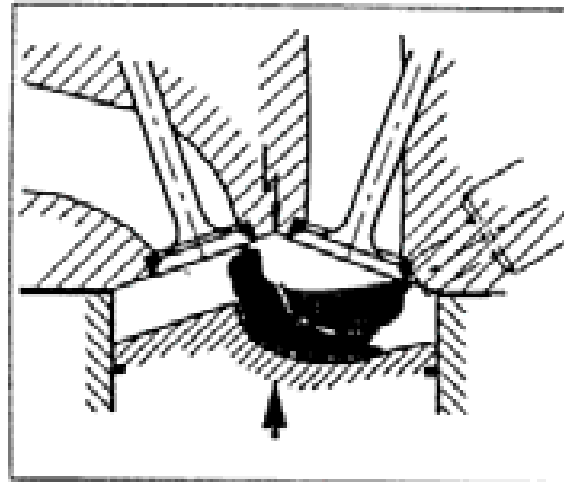
Anmerkung:

- Spezielle Elektronik-Einheit für Übergang vom Spar- in den Leistungsmodus ohne Zündaussetzer erforderlich
- Spezielle Ausführung der Abgasnachbehandlung

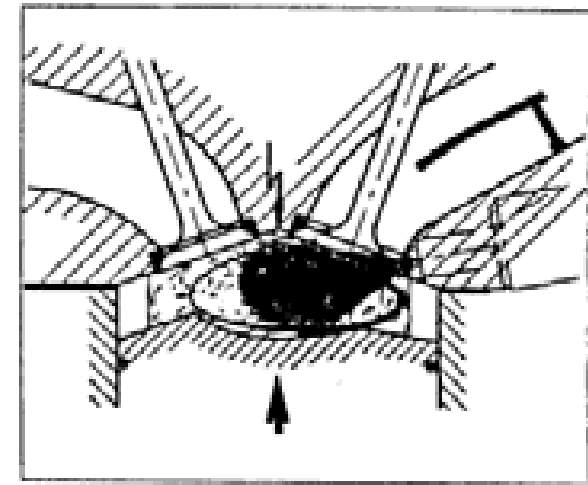
4.2.4 Arten der Strahlführung



Strahl-geführt



Wand-geführt



Luft-geführt

5.1 Fremdzündung

- Charakteristisches Merkmal für Otto-Motoren
- Zuführung der Zündenergie von außen
- Zuführung der Zündenergie durch Zündkerze

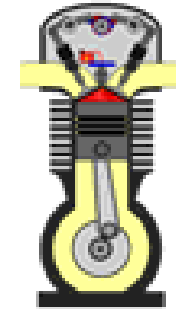


Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

5.2 Selbstzündung

- Charakteristisches Merkmal für Diesel-Motoren
- Verdichtung der Luft
- Zuführen des Kraftstoffes nach Verdichtung (Einspritzung)
- Entzünden des Kraftstoffes an der heißen Verbrennungsluft

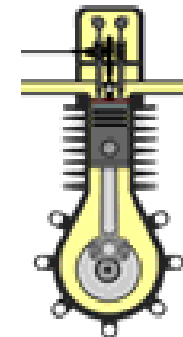


Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

6. Einteilung nach Art der Kühlung

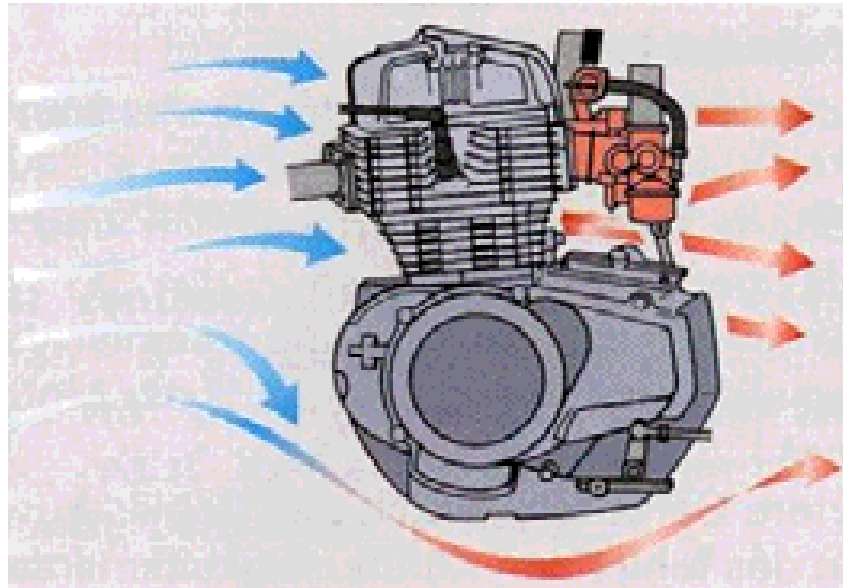
Aufgaben der Kühlung

- Abführung der überschüssigen Wärme aus dem Verbrennungsvorgang
- Vermeidung der Zerstörung von Bauteilen oder des Motoröls
- Im Volllastzustand müssen bis zu 30 % als Kühlenergie an die Umgebung abgeführt werden
- Kühlenergie ist für den Fahrbetrieb nicht mehr nutzbar

Gute Kühlung erlaubt:

- Verbesserte Zylinderfüllung
- Verminderung der Klopfneigung bei Otto-Motoren
- Höhere Verdichtung
- Höhere Leistung bei günstigerem spezifischen Kraftstoffverbrauch
- gleichmäßigere Betriebstemperaturen und günstige Auslastung der Bauteile

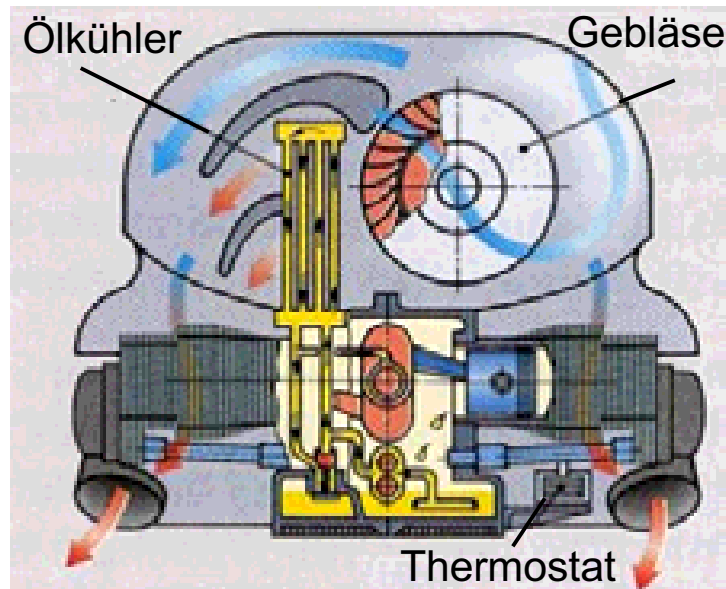
6.1 Luftkühlung



Fahrtwindluftkühlung

- Fahrtwind umströmt unverkleideten Motor und führt überschüssige Wärme ab
- Vergrößerung der wärmeabführenden Oberfläche durch Kühlrippen
- Häufig bei Krafträdern angewendet

6.1 Luftkühlung



Gebläseluftkühlung

- Zwangskühlung des Motors
- Umgebungsluft wird vom Gebläse angesaugt und beschleunigt
- Umleitung des Luftstromes über Leitbleche
- Luftstrom kühlt Schmieröl, Zylinder und Motorgehäuse

6.1 Luftkühlung

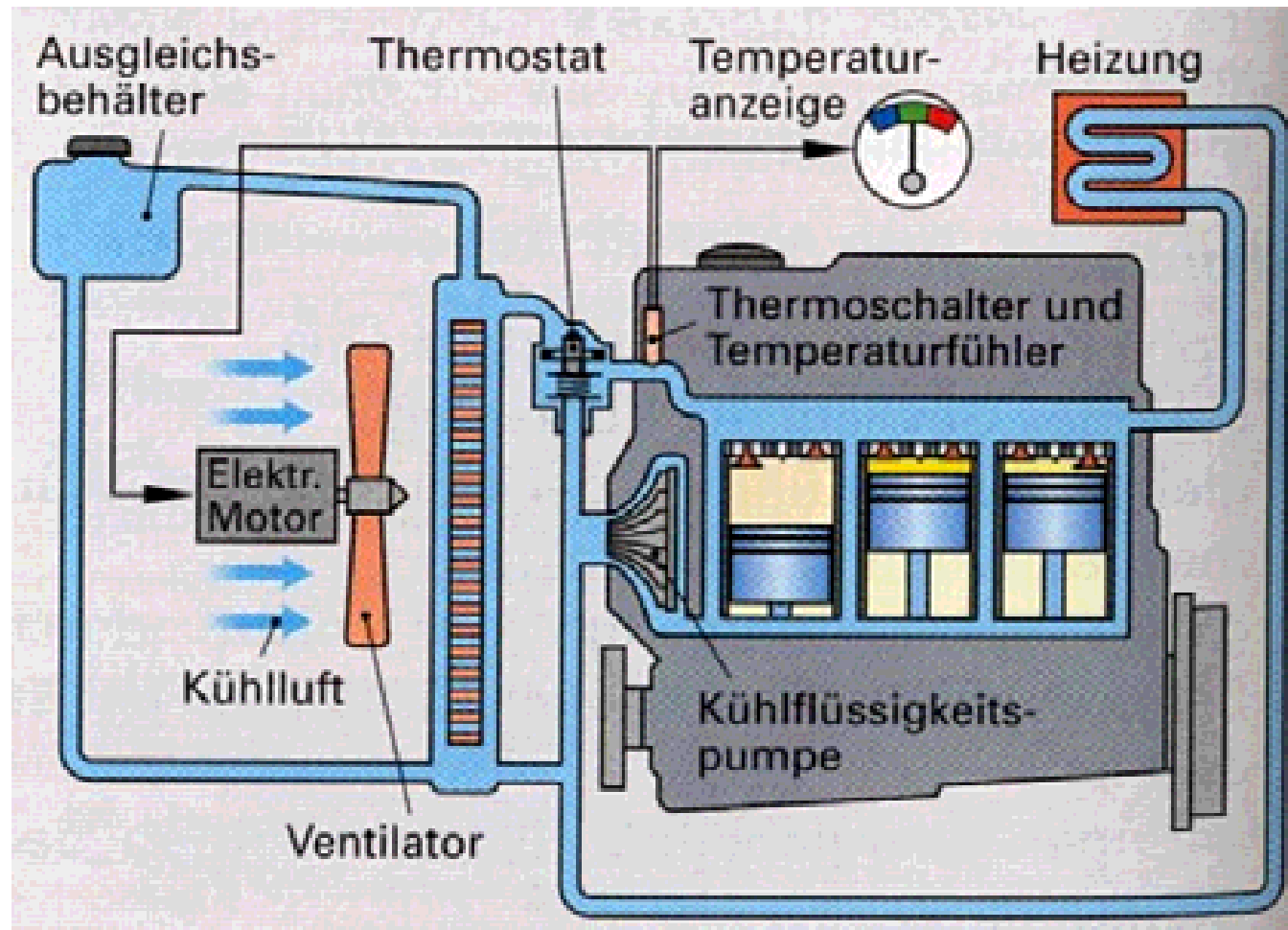
Vorteile

- + Einfacher, kostengünstiger Aufbau
- + geringes Leistungsgewicht
- + keine Kühlflüssigkeit mit Gefrierschutz erforderlich
- + kein Flüssigkeitskühler notwendig
- + in der Regel hohe Betriebssicherheit
- + sehr wartungsarm

Nachteile

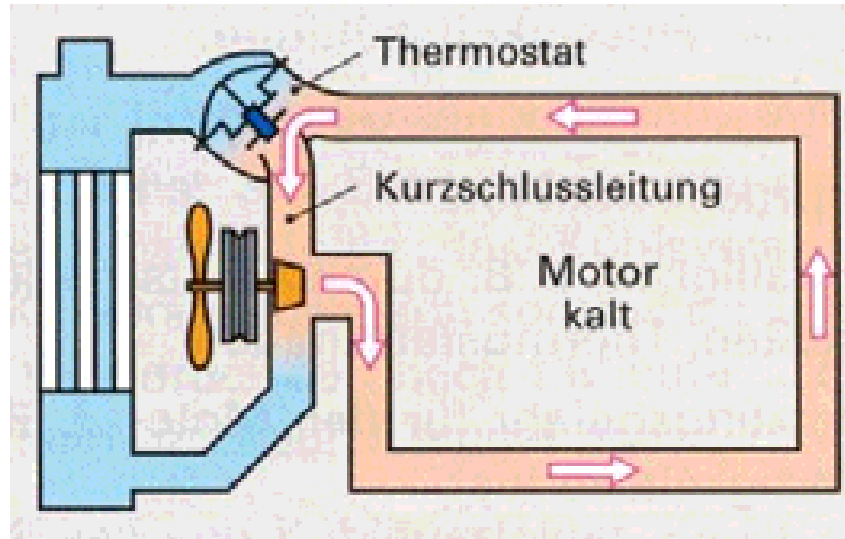
- Größere Schwankungen der Betriebstemperatur (Leistung, Geschwindigkeit)
- größere Kolbenspiele erforderlich, erhöhte Gefahr des Kolbenkippens
- Leistungsbedarf des Kühlgebläses ist relativ hoch
- Höhere Geräusentwicklung
- Innenraumheizung verzögert und ungleichmäßig
- Geringe spez. Wärme der Luft

6.2 Flüssigkeitskühlung



Zwangsumlaufkühlung (Pumpenumlaufkühlung)

6.2 Flüssigkeitskühlung



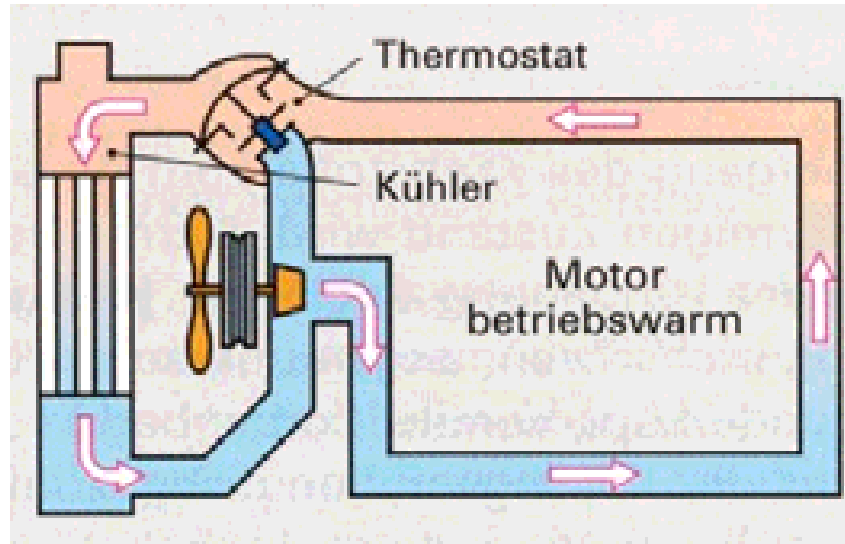
Kalter Motor

Thermostat geschlossen

Kleiner Kühlkreislauf

- Kühlflüssigkeit fließt durch die Zylinder, den Zylinderkopf und ggf. durch den Wärmetauscher der Innenraumheizung
- Geschlossenes Thermostat
- Direkte Verbindung durch Kurzschlussleitung zur Kühlflüssigkeitspumpe

6.2 Flüssigkeitskühlung



Betriebswarmer Motor

Thermostat offen

Großer Kühlkreislauf

- Kühlflüssigkeit fließt durch die Zylinder, den Zylinderkopf und ggf. durch den Wärmetauscher der Innenraumheizung
- Thermostat offen
- Kühlflüssigkeit fließt durch Kühler und wird gekühlt

6.2 Flüssigkeitskühlung

Vorteile

- + Gleichmäßige Kühlwirkung
- + hohe spezifische Wärme der Kühlflüssigkeit
- + verhältnismäßig geringer Leistungsbedarf
- + Geräuschkämpfung durch Kühlmantel
- + kein Flüssigkeitskühler notwendig
- + gute Beheizung des Innenraumes möglich

Nachteile

- hohes Leistungsgewicht
- hohes spez. Bauvolumen
- höhere Störanfälligkeit (Leckage, Thermostat, ...)
- bei Ausfall Motorzerstörung möglich
- längere Warmlaufphase als bei Luftkühlung

Regelung der Kühlung hat Einfluss auf:

- Kraftstoffverbrauch

- Abgaszusammensetzung

- Verschleiß

7.1 Freisaugender Motor

Merkmale

- Frischladung wird durch Abwärtsbewegung des Kolbens direkt aus der Umgebung angesaugt
- Aufwärtsbewegung des Kolbens schiebt das Abgas direkt in die Umgebung aus
- Frischladungsmasse im Zylinder ist abhängig von den Umgebungsbedingungen (Druck, Temperatur)

Liefergrad

- Liefergrad ist Verhältnis zwischen der tatsächlichen Frischladung im Zylinder und je Arbeitsspiel und der tatsächlich vorhandenen Frischladungsmenge je Arbeitsspiel an

$$\lambda_L = \frac{\text{Tatsächliche Frischmasse im Zylinder je Arbeitsspiel}}{\text{Theoretisch mögliche Frischladung je Arbeitsspiel}}$$

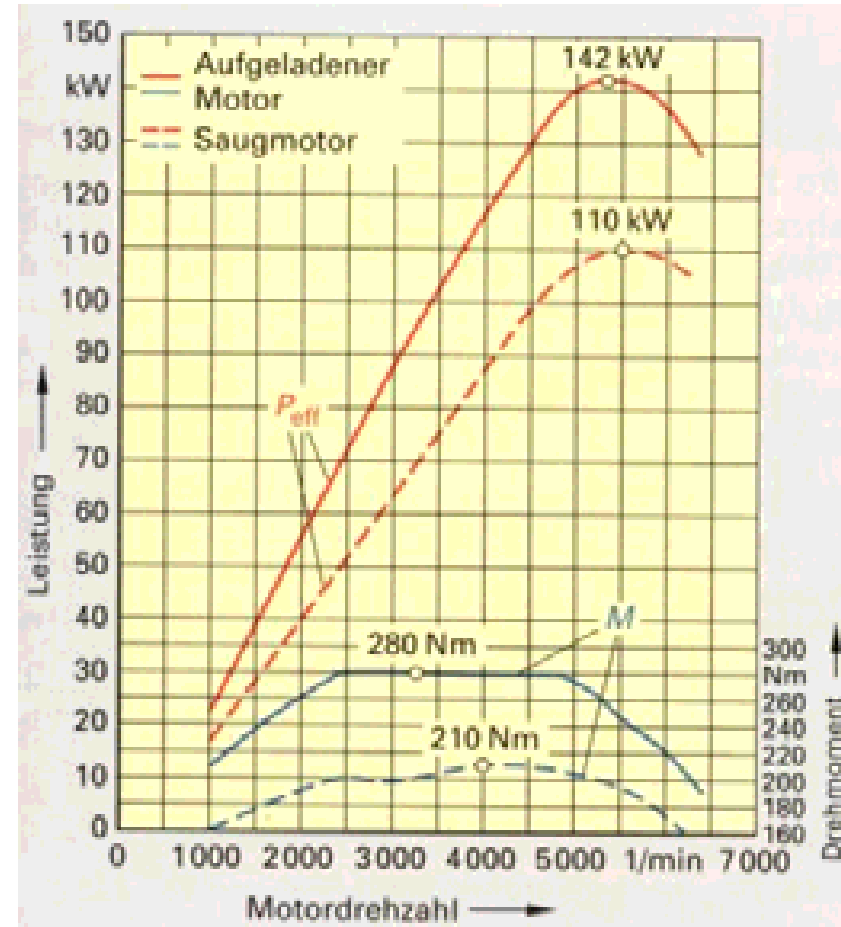
7.2 Aufgeladene Motoren

Ansatz

- Leistungssteigerung
 - mehr Leistung
 - mehr Kraftstoff
 - mehr Luft
- Realisierung:
 - A) Hubraum vergrößern
 - B) Drehzahl erhöhen
 - C) Luftdichte steigern (=Aufladen)

Merkmal

- Erhöhung des Liefergrades durch Steigerung der Luftdichte (= Aufladen)



Motoren mit gleichem Hubraum

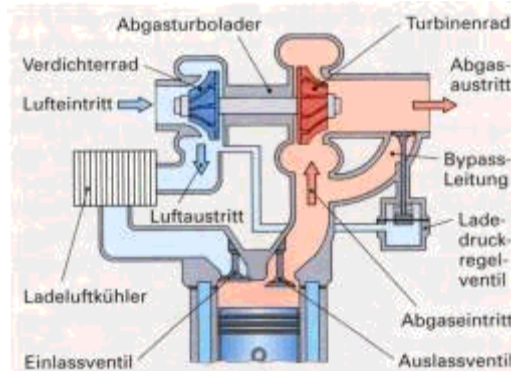
7.2 Aufgeladene Motoren

Aufladung

Dynamische Aufladung

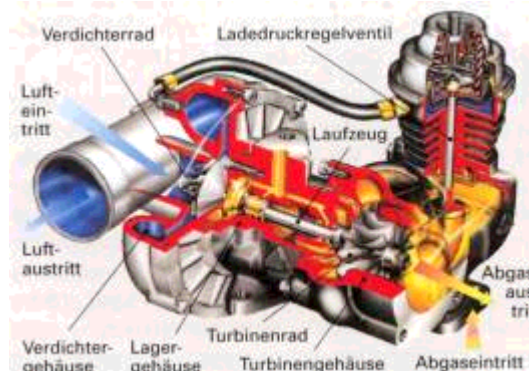
Fremdaufladung

- Lader ohne mechanischen Antrieb (Abgasturbolader)
- Lader mit mechanischem Antrieb (Rootslader)



Abgasturbolader (Schema)

Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]



Abgasturbolader (Bild)

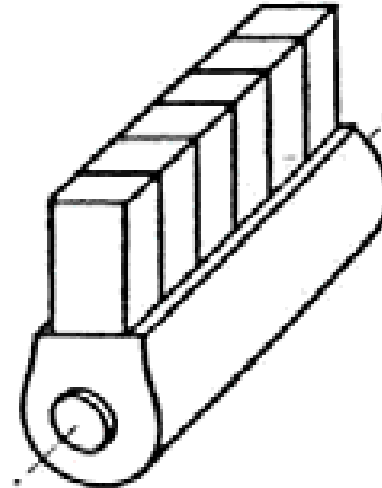
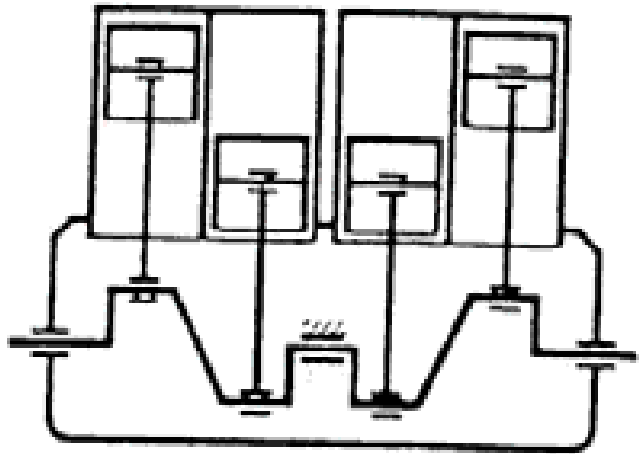
Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]



Rootslader (Bild)

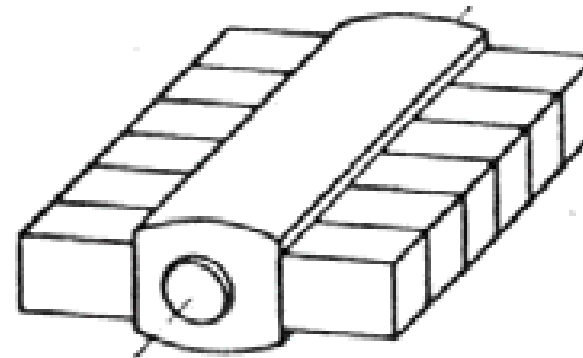
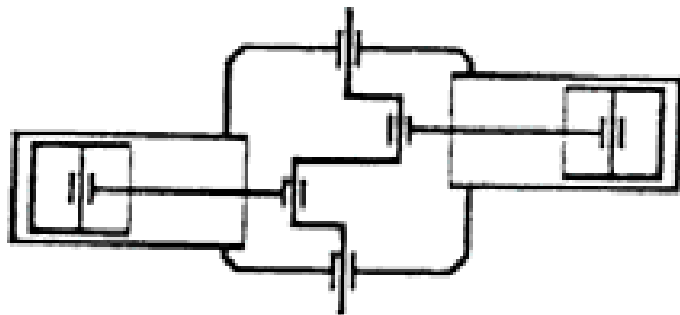
Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

8.1 Zylinderanordnungen



Bilder mit Hyperlink
[Esc = zurück]

Reihenmotor



Boxermotor

8.1 Zylinderanordnungen

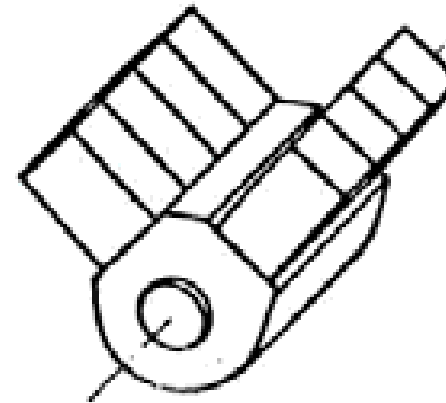
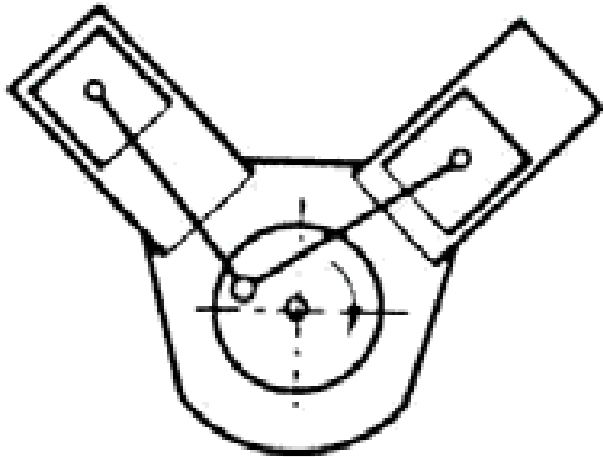


Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

V-Motor

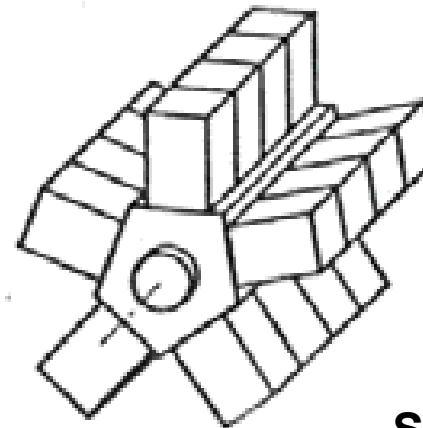
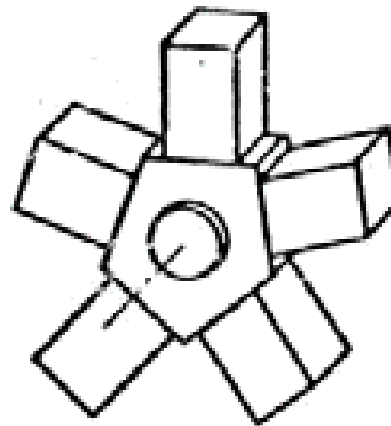
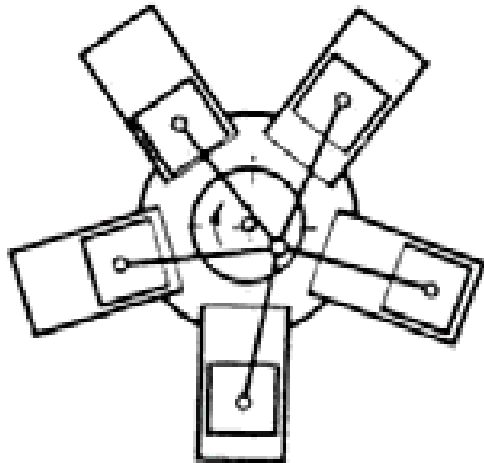
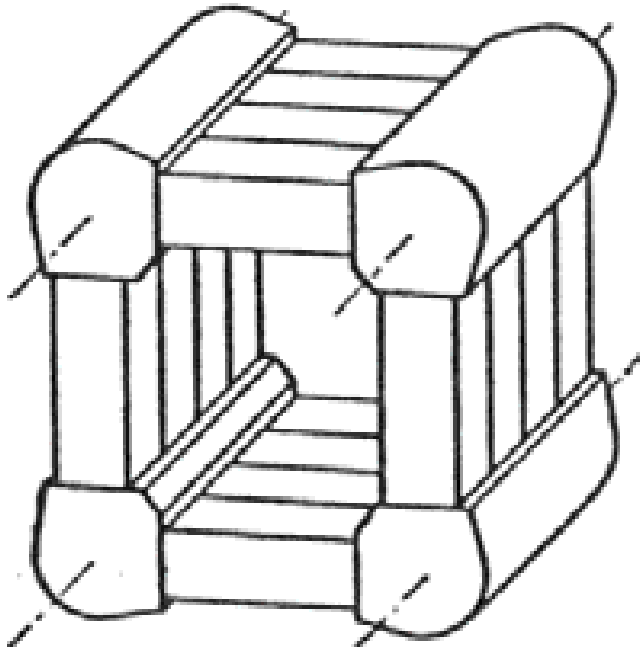
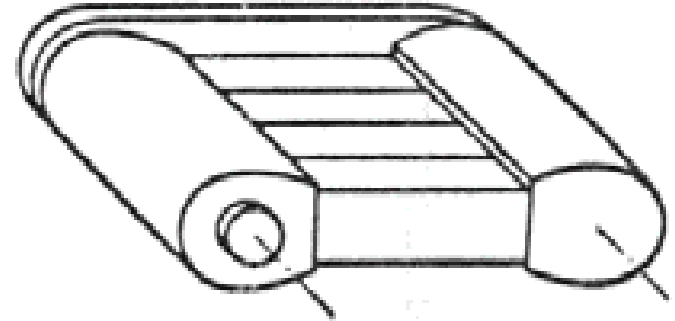
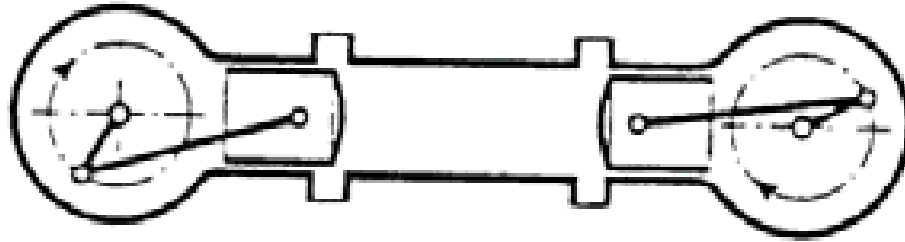


Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

Sternmotor

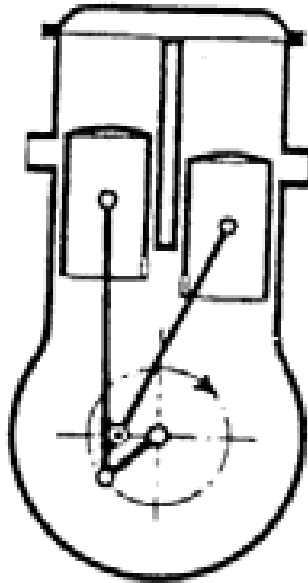
8.1 Zylinderanordnungen



Gegenkolbenmotor (oben)

Viereck-Gegenkolbenmotor (links)

8.1 Zylinderanordnungen



U-Motor

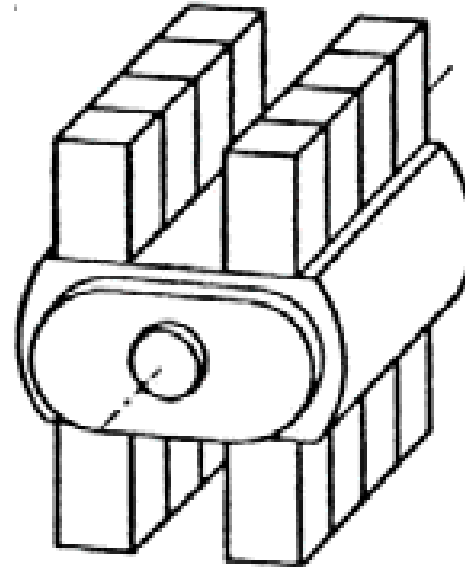
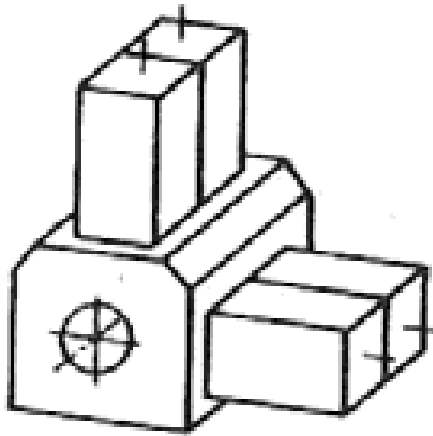


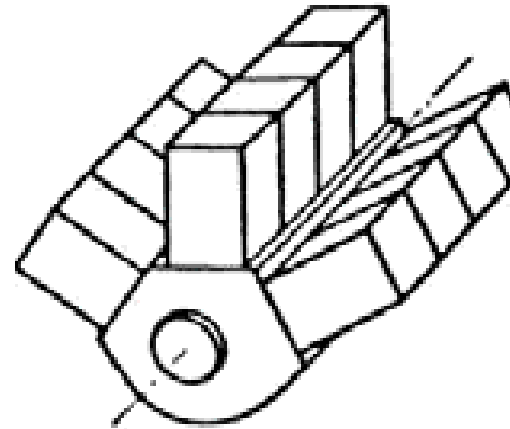
Bild mit Hyperlink
[Esc = zurück]

H-Motor

8.1 Zylinderanordnungen

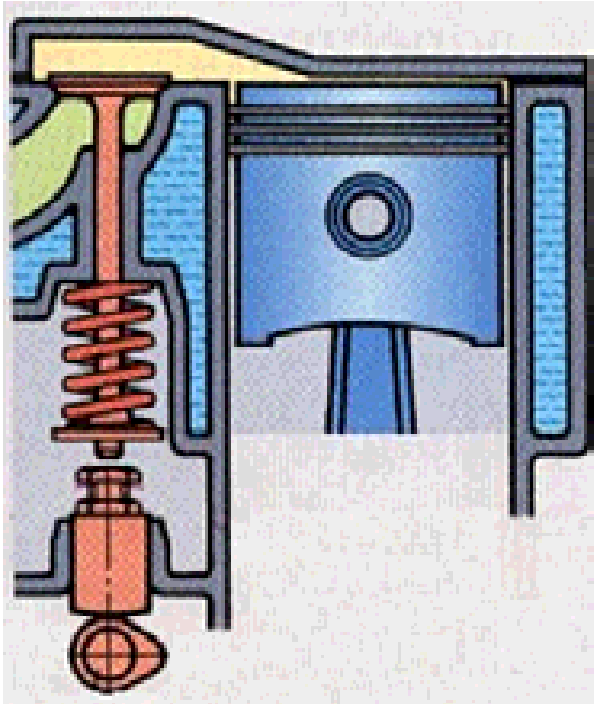


L-Motor



W-Motor

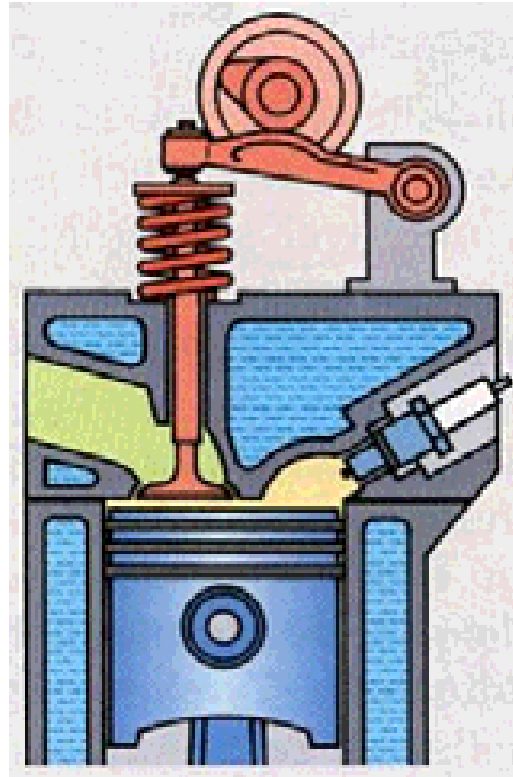
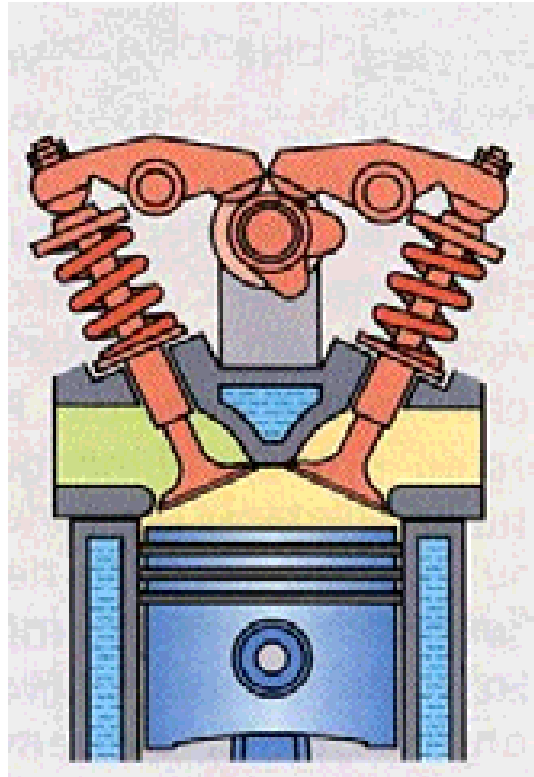
9.1 Anordnung der Ventile



Untengesteuerter Motor
sv-Motor (engl. **side valves**)

- Schließbewegung der Ventile ist gleichgerichtet mit Pleuellagerung in Richtung UT
- Seitlich stehende Ventile
- Wegen ungünstiger Bauform im Automobilbau selten verwendet

9.2 Anordnung der Nockenwelle



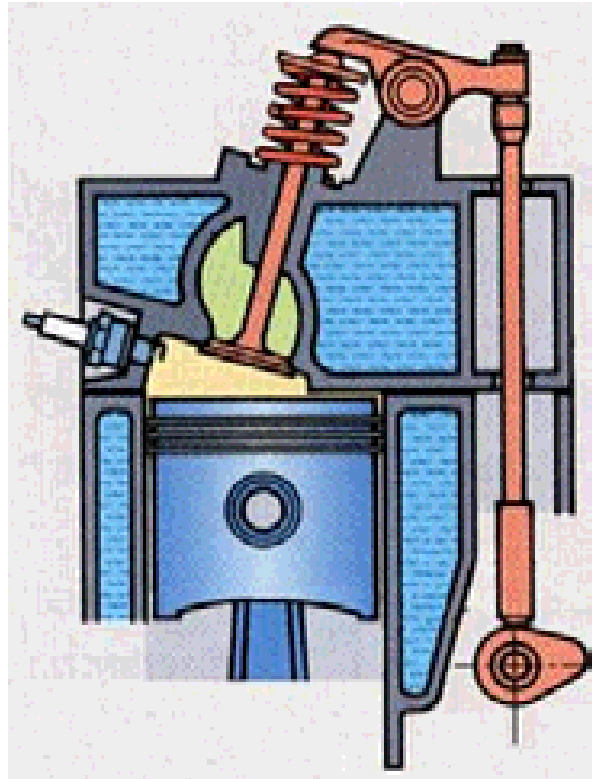
ohc - Motoren

overhead camshaft

Überkopf-Nockenwelle

- Nockenwelle ist überhalb des Zylinderkopfs angeordnet

9.2 Anordnung der Nockenwelle



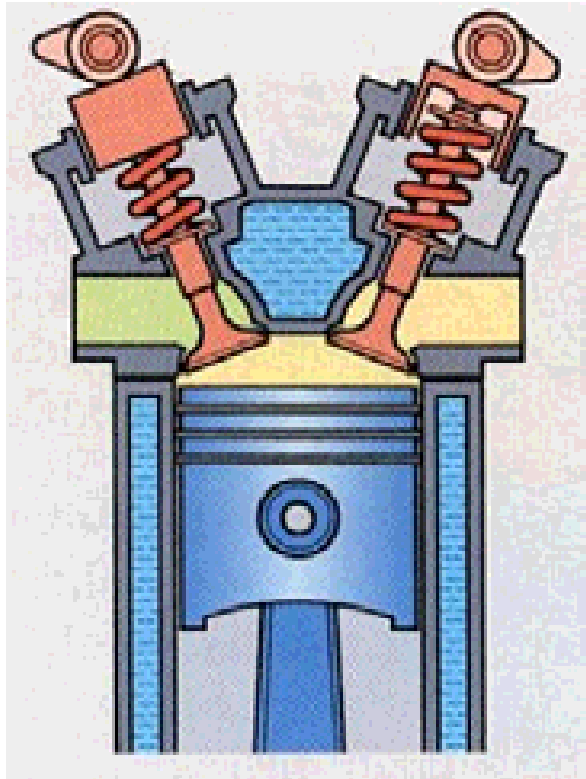
ohv - Motoren

overhead valves

Überkopf-Ventile

- Überhalb des Zylinderkopfs hängende Ventile
- Nockenwelle im Zylinderblock oder im Kurbelgehäuse

9.2 Anordnung der Nockenwelle



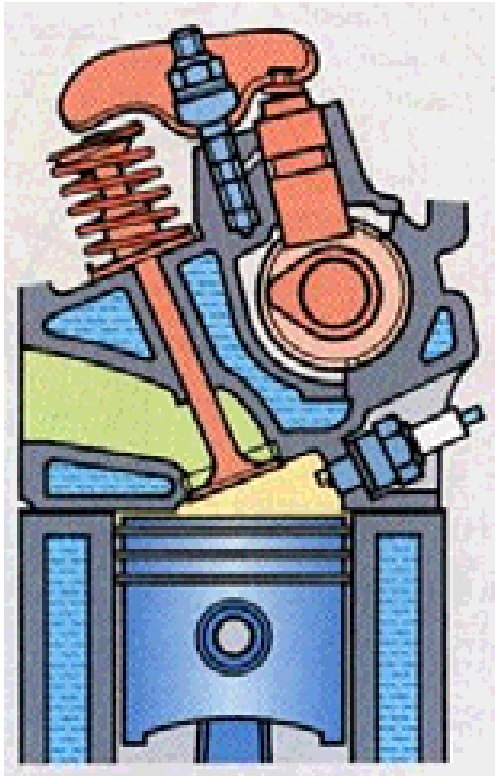
dohc - Motoren

double-overhead camshaft

Doppel-Überkopfkopf-Nockenwelle

- Zwei überhalb des Zylinderkopfes angeordnete Nockenwellen

9.2 Anordnung der Nockenwelle



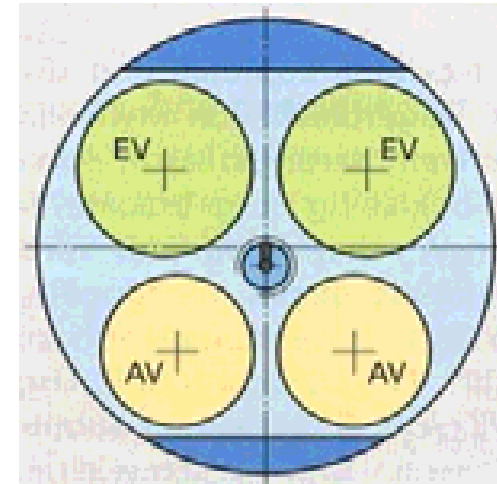
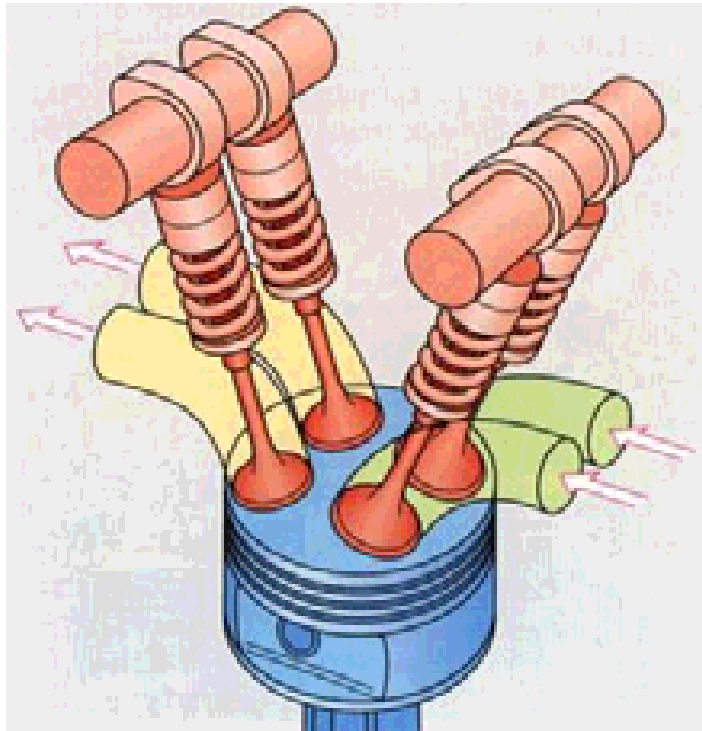
cih - Motoren

Camshaft in head

Nockenwelle im Zylinderkopf

- Nockenwelle ist im Zylinderkopf angeordnet

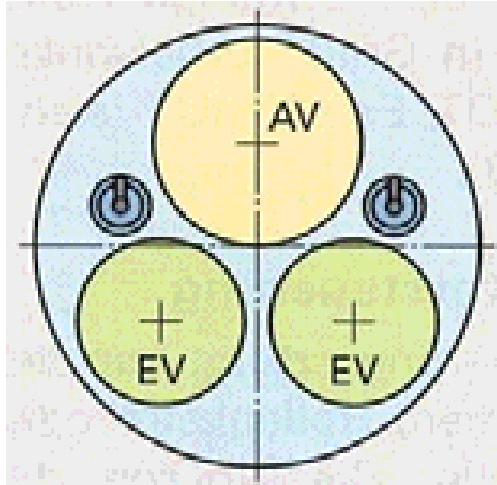
9.3 Anzahl der Ventile



4 - Ventiler

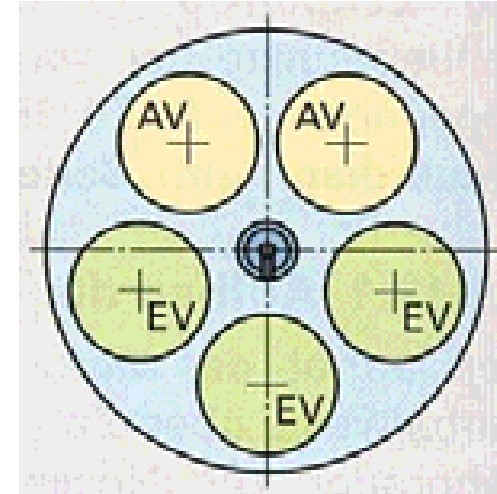
- Meist verbaute Mehrventiltechnik
- Oft zwei vergrößerte Einlassventile und zwei Auslassventile gegenüber
- Mittige Anordnung der Zündkerze bei Otto-Motoren
- Eine Einlassventilnockenwelle und eine Auslassventilnockenwelle zur Steuerung

9.3 Anzahl der Ventile



3 - Ventiler

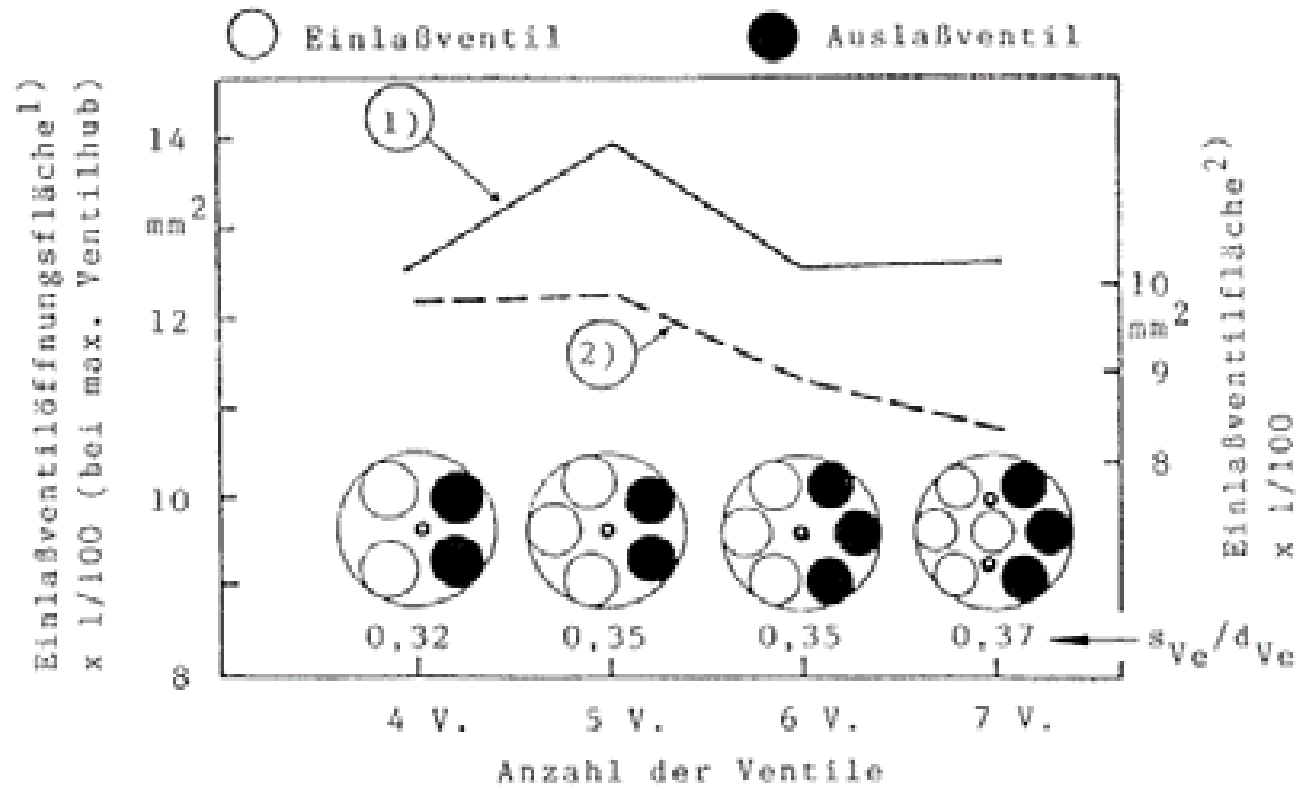
- Zwei Einlassventile und vergrößertes Auslassventil gegenüber
- Mittige Zündkerzenlagen oder seitlich angeordnete Doppelzündung
- Gemeinsame Nockenwelle



5 - Ventiler

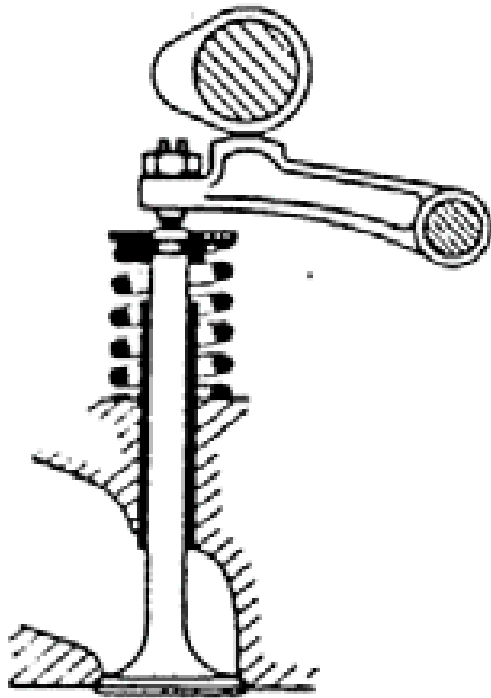
- Drei Einlassventile und zwei Auslassventile
- Zwei Nockenwellen

9.3 Anzahl der Ventile

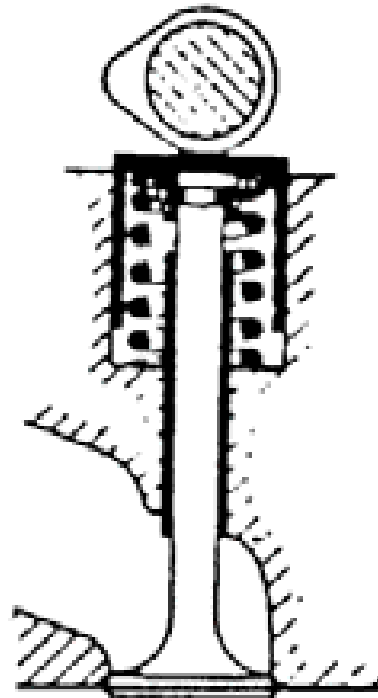


- Bei vorgegebenem Zylinderdurchmesser besitzt 5-Ventiler größte Einlassventillösungsfläche (erwünscht)
- 4 Ventiler stellt Kompromiss aus Bauaufwand (Kosten) und Einlassventillösungsfläche dar → meist verbaute Technik

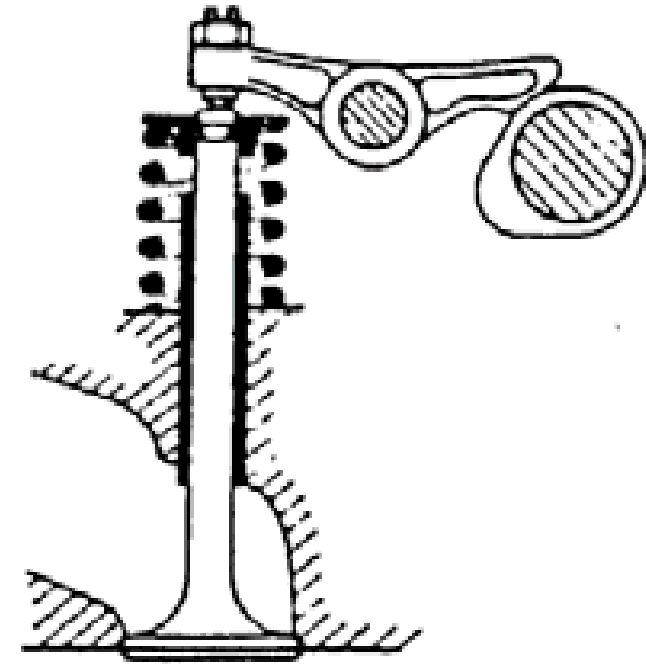
9.4 Art der Ventilbetätigung



Schwinghebel



Kipphebel



Tassenstößel