



---

# Kfz – Mechanik

## Notizen

---

**Jan Unger**

Version: 11. Juni 2022

**Quelle**

Marc Limburg



### **Zusammenfassung**

»Es gibt Abenteuer, die man sich besser erspart. Eine Deutschlandtour mit einem Elektroauto gehört dazu.«

– Dohmen, Frank, Hage, Simon

(Chaos an der Tanke, in Der Spiegel 26/26.6.2020)

#### **Bücher:**

- Motormanagement Sensoren, Schneehage [7].
- Techn. Mathe, Bell u. a. [3].
- Formelsammlung, Bell, Elbl und Schüler [1].
- Tabellenbuch, Bell, Elbl und Schüler [2].
- Prüfungsfragen (VOGEL), Schlüter und Deussen [6].
- Fachkunde Kfz-Technik, Brand u. a. [4].



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen Verbrennungsmotor</b>	<b>1</b>
1.1	Motorbauformen . . . . .	1
1.2	Hubraum - Brennraum - Verdichtungsraum . . . . .	1
1.3	Arbeitsweise . . . . .	1
1.4	Ansaugen . . . . .	1
1.4.1	Luftdruck . . . . .	2
1.4.2	Absolutdruck . . . . .	2
1.4.3	Relativer Druck . . . . .	2
1.4.4	Zusammensetzung der Luft (Prüfung) . . . . .	2
1.5	Verdichten . . . . .	2
1.5.1	Hoch verdichtete Motoren . . . . .	2
1.5.2	Verdichtungsverhältnis . . . . .	3
1.5.3	Wärme . . . . .	3
1.5.4	Wärmeabführung . . . . .	3
1.5.5	Verdichten z. B. 10:1 . . . . .	3
1.5.6	Verdichtungsendtemperatur . . . . .	3
1.5.7	Entzündungstemperatur Diesel . . . . .	3
1.5.8	Zündverzug . . . . .	4
1.5.9	Thermodynamischer Kreisprozess (keine Prüfung) . . . . .	4
1.5.10	Grad Celsius . . . . .	4
1.5.11	Aggregatzustand . . . . .	4
1.5.12	Kelvin . . . . .	5
1.6	Arbeiten . . . . .	5
1.6.1	Verbrennungstemperatur . . . . .	5
1.6.2	Kolbenmaterial . . . . .	5
1.6.3	Thermische Belastung Kolben . . . . .	5
1.6.4	Kolbenfläche berechnen . . . . .	6
1.6.5	Kolbenwärme abführen . . . . .	6
1.6.6	Kolbenkippen Ursache . . . . .	6
1.7	Ausstoßen . . . . .	6
1.7.1	Abgastemperatur . . . . .	6
1.7.2	Wirkungsgrad (Effizienz) . . . . .	7
1.7.3	Wie bewegt sich die Kurbelwelle? . . . . .	7
1.7.4	Hydrodynamischer Schmierkeil . . . . .	7
1.8	Kurbelgehäusearten . . . . .	8
1.9	Zylinderkopfdichtung . . . . .	8
1.10	Lösung - Grundlagen Verbrennungsmotor . . . . .	9

<b>2</b>	<b>Motorsteuerung</b>	<b>13</b>
2.1	Was ist ein Untengesteuerter Motor?	13
2.1.1	Untengesteuerter Motor	13
2.1.2	Obengesteuerter Motor	13
2.2	Anordnung der Nockenwelle (Steuerungsbauarten)	13
2.2.1	sv-Motor	14
2.2.2	ohv-Motor	14
2.2.3	ohc-Motor	14
2.2.4	dohc-Motor	14
2.2.5	cih-Motor	14
2.3	Arten von Nockenwellenantriebe	14
2.4	Nenne Zahnriemen Merkmale (trocken laufend)	15
2.5	Ölbadzahnriemen Eigenschaften (nass laufend)	15
2.6	Steuerkette Merkmale	15
2.7	Stirnradantrieb	16
2.8	Königswelle	16
2.9	Unterschied - Steuern und Regeln	16
2.9.1	Steuern	16
2.9.2	Regeln	16
2.10	Nockenwellen - Herstellungsmöglichkeiten	17
2.10.1	Gegossene Nockenwelle	17
2.10.2	Gebaute Nockenwelle	17
2.11	Nockenformen	17
2.11.1	spitzer Nocken (tagenden Nocken)	18
2.11.2	steiler Nocken (scharfer Nocken, Kreisbogen Nocken)	18
2.11.3	unsymmetrischer Nocken	18
2.12	Arten von Ventilbetätigung	18
2.12.1	Rollenschlepphebel, Schlepphebel, Schwinghebel	19
2.12.2	Kipphebel	19
2.12.3	direkt	19
2.13	Welche Beanspruchung ist das Ventil ausgesetzt?	19
2.13.1	Mechanische Beanspruchung des Ventils	19
2.13.2	Chemische Beanspruchung	20
2.13.3	Thermische Belastung	20
2.14	Ventilspielausgleich	20
2.14.1	definiertes Ventilspiel	20
2.14.2	Hydraulischer Ventilspielausgleich	21
2.15	Drehzahlverhältnis zwischen Kurbelwelle zu Nockenwelle?	22
2.16	Was steuert die Motorsteuerung?	22
2.17	Dreiventiltechnik mit zwei Zündkerzen	22
2.17.1	Zusammenfassung	22
2.17.2	Warum sind das zwei Einlassventile und ein Auslassventil?	23
2.17.3	Zylinderspülung bei Ventilüberschneidung	23
2.17.4	Nachladeeffekt beim Ansaugen	24
2.17.5	Warum zwei Zündkerzen?	24
2.17.6	Innermotorisch entstehen geringere Schadstoffe	24

2.17.7	Wann entsteht NOx? . . . . .	24
2.17.8	Zusammenhang zwischen HC und CO vs. NOx . . . . .	25
2.17.9	Schadstoffe . . . . .	25
2.17.10	Was ist AGR? . . . . .	25
2.17.11	Wie entsteht Ruß? . . . . .	26
2.17.12	Was fördert die Klopfneigung? . . . . .	26
2.17.13	Ein Auslassventil - ein Abgasrohr . . . . .	26
2.18	Lösung - Motorsteuerung . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Füllungsoptimierung I</b>	<b>31</b>
3.1	Downsizing (Prüfung) . . . . .	31
3.2	LSPI - Low Speed-Pre-Ignition . . . . .	31
3.3	Vorteile von Downsizing Motoren . . . . .	32
3.4	Mehrventiltechnik . . . . .	32
3.5	Nockenwellenverstellung - variable Steuerzeiten . . . . .	33
3.5.1	VarioCam - Verstellbarer Kettenspanner (Audi, VW) . . . . .	34
3.5.2	Vanos - Variable Nockenwellensteuerung (BMW) . . . . .	34
3.5.3	Flügelzellenversteller (Mercedes) . . . . .	35
3.6	Variabler Ventiltrieb . . . . .	35
3.6.1	Stufenweise variabler Ventiltrieb . . . . .	35
3.6.1.1	VTEC - Variable Valve Timing and Lift Electronic Control (Honda) . . . . .	36
3.6.1.2	VarioCam Plus (Porsche) . . . . .	36
3.6.1.3	Valvelift (Audi, + Zylinderabschaltung) . . . . .	37
3.6.2	Stufenlos variabler Ventiltrieb . . . . .	37
3.6.2.1	Valvetronic . . . . .	38
3.6.2.2	Elektrohydraulischer Ventiltrieb (MultiAir) . . . . .	38
3.6.2.3	Elektromagnetischer Ventiltrieb (noch nicht zur Serienreife geschafft) . . . . .	39
3.7	Lösung - Füllungsoptimierung I . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Füllungsoptimierung II</b>	<b>43</b>
4.1	Wie beschreiben Sie die Dynamische Aufladung? . . . . .	43
4.1.1	Schwingsaugrohr . . . . .	43
4.1.2	Resonanzsaugrohr . . . . .	44
4.1.3	Resonanz- und Schwingsaugrohr (keine Prüfung) . . . . .	44
4.2	Fremdaufladung . . . . .	45
4.2.1	Abgasturbolader . . . . .	45
4.2.1.1	Turbolader mit Bypass für Ladedruckbegrenzung . . . . .	45
4.2.1.2	VTG-Lader (Variable Turbinengeometrie, meist bei Dieselmotoren) . . . . .	45
4.2.1.3	Registeraufladung (Stufenaufladung) . . . . .	46
4.2.1.4	Doppelaufladung . . . . .	47
4.2.1.5	Twin-Scroll-Lader . . . . .	47
4.2.2	Mechanische Lader . . . . .	47
4.2.2.1	Schraubenkompressor (Roots-Lader, Kompressor) . . . . .	47

4.2.2.2	Comprex-Lader (keine Serienreife, keine Prüfung) . . . . .	48
4.2.2.3	Kombi von Turbolader und Kompressor (VW bei den Twincharger-TSI-Motoren) . . . . .	48
4.2.3	Elektrische Lader (eLader) . . . . .	48
4.2.4	Warum muss ich die Ladeluft kühlen? . . . . .	49
4.3	Lösung - Füllungsoptimierung II . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Betriebs- und Hilfsstoffe</b>	<b>55</b>
5.1	Was sind Betriebsstoffe? . . . . .	55
5.2	Was sind Hilfsstoffe? . . . . .	55
5.3	Scheibenwaschwasserezusatz . . . . .	55
5.4	Woraus bestehen Kraftstoffe? . . . . .	55
5.5	Wo kommen die Kraftstoffe her? . . . . .	56
5.6	Warum ist ein Dieselmotor effizienter als ein Ottomotor? . . . . .	56
5.7	Herstellung von Kraftstoffen . . . . .	57
5.8	Ottokraftstoffe – leicht siedende Kraftstoffe . . . . .	58
5.9	Bremsflüssigkeit . . . . .	59
5.10	Kühlflüssigkeit . . . . .	60
5.11	AdBlue . . . . .	60
5.12	Ölverdünnung oder Ölvermehrung . . . . .	61
5.13	Kältemittel . . . . .	62
5.14	Biodiesel – Fatty Acid Methyl Esther (kurz: FAME) . . . . .	63
5.15	Bioethanol (Ottomotoren) . . . . .	64
5.16	Gasförmige Kraftstoffe (Motoren mit Fremdzündung) . . . . .	64
5.17	Dieselskraftstoff – schwer siedende Kraftstoffe . . . . .	65
5.18	Schmieröle . . . . .	66
5.19	Getriebeöle . . . . .	70
5.20	Schmierfette . . . . .	70
5.21	Lösung - Betriebs- u. Hilfsstoffe . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Matheaufgaben</b>	<b>75</b>
6.1	Druckberechnung am Pleuellager . . . . .	75
6.2	Motorberechnung - siehe Datenblatt Audi S6 . . . . .	76
6.3	Druck - Volumen - Temperatur . . . . .	78
6.4	Motor - Hubraum - Verdichtung . . . . .	80
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>83</b>



# 1 Grundlagen Verbrennungsmotor

## 1.1 Motorbauformen

- Reihenmotor, V-Motor, VR-Motor, Boxermotor
- Hubkolbenmotor, Kreiskolbenmotor

## 1.2 Hubraum - Brennraum - Verdichtungsraum

$$\text{Hubraum } V_h = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{Gesamthubraum } V_H = V_h \cdot z$$

$$\text{Brennraum} = V_h + V_c$$

$$\text{Verdichtungsraum } V_c = \frac{V_h}{\epsilon - 1}$$

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

## 1.3 Arbeitsweise

- (1) Vier-Takt-Arbeitsverfahren (1 Arbeitsspiel = 2 Kurbelwellenumdrehungen = 4 Kolbenhübe)
- (2) Zwei-Takt-Arbeitsverfahren (1 Arbeitsspiel = 1 Kurbelwellenumdrehung = 2 Kolbenhübe)

## 1.4 Ansaugen

- Abwärtsgehen des Kolbens
- Volumenvergrößerung, Druckdifferenz (Zylinderdruck versus höhere Außendruck)
- Einströmen der Luft (Ansaugen der Luft)
- zündfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch innen/außen bilden (Zylinder, Ansaugrohr)
- Kraftstoff (Kohlenstoff – Wasserstoff - Verbindung)

### 1.4.1 Luftdruck

Luftdruck in Abhängigkeit der geodätischen Höhe

Luftdruck bezogen auf Meereshöhe ( $1013 \text{ hPa} = 1013 \text{ mbar}, \text{ca. } 1 \text{ bar}$ )

Erdanziehung ist von der Masse abhängig

Das Gewicht der Umgebungsluft drückt auf die Erdoberfläche und erzeugt einen Druck, Atmosphärendruck.

### 1.4.2 Absolutdruck

Druck gegenüber Null (Vakuum, luftleeren Raum)

### 1.4.3 Relativer Druck

Druck messen gegenüber Absolutdruck

### 1.4.4 Zusammensetzung der Luft (Prüfung)

- 78 % Stickstoff
- 21 % Sauerstoff
- 0,9 % Edelgase
- 0,1 % Partikel, Feinstaub (Zell Gängigkeit, Blutkreislauf, Erbgutveränderung > Mutation)
- 0,040 %  $\text{CO}_2$

## 1.5 Verdichten

- Aufwärtsgehen des Kolbens
- Kraftstoff-Luft-Gemisch wird verdichtet

### 1.5.1 Hoch verdichtete Motoren

10 : 1

### 1.5.2 Verdichtungsverhältnis

- **Mazda Motor:** 14 : 1
- **Turbo Motor:** 7 – 8 : 1
- **Direkt:** 17 – 18 : 1
- **Indirekt** (Wirbel, Vorkammer): 21 – 36 : 1
  - Vorkammer > Kugel > Wärmeabgabe > höher Verdichten

### 1.5.3 Wärme

entsteht durch Reibung, Form von Energie, Bewegungsenergie kleiner Teilchen

### 1.5.4 Wärmeabführung

an der Oberfläche, Luft (Isolator)

### 1.5.5 Verdichten z. B. 10:1

10 l großes Volumen wird auf den zehnten Teil verkleinert, also 1 l

maximales Volumen zu minimales Volumen

Vgl. »Kapitel Rechenbeispiele / Motor - Hubraum - Verdichtung«

### 1.5.6 Verdichtungsendtemperatur

600 – 900°C (Diesel: Zündung wird eingeleitet)

### 1.5.7 Entzündungstemperatur Diesel

230 – 250°C

### 1.5.8 Zündverzug

Entflammungsphase :  $\frac{1}{1000}s$

Ziel: Vollständige Verbrennung (feine Zerstäubung und hohe Temperaturen, das muss schnell gehen)

- (1) **Benzin** Beginn Zündfunken bis zur Verbrennung
- (2) **Diesel** Beginn des Einspritzens bis zur Verbrennung

### 1.5.9 Thermodynamischer Kreisprozess (keine Prüfung)

Wärmekraftmaschine: Verhältnis von Druck, Volumen und Temperatur beim Verdichten

Verhindert man die Ausdehnung, z. B. beim Verdichten, so verdoppelt sich der Druck.

Pro Grad der Erwärmung steigt der Druck um 273sten Teil seines Volumens im geschlossenen System

Erwärmt man das Gas um 273 K, so dehnt es sich auf das doppelte Volumen aus. Die Temperatur steigt und damit der Druck.

Grundlage: **1. Satz der Thermodynamik** »Die Energie bleibt in einem geschlossenen System konstant.«

**Faktor 2**  $\Rightarrow \frac{546}{273}$

Ziel: von 20°C  $\Rightarrow$  600°C Verdichtungsendtemperatur

z. B. Verdichtung: (10 : 1) 1 bar  $\Rightarrow$  20 bar Verdichtungsenddruck (10 bar  $\cdot$  2 = 20 bar)

Vgl. »Kapitel Rechenbeispiele / Druck - Volumen - Temperatur«

**Diesel** Gleichdruckverbrennung **Benzin** Gleichraumverbrennung **Anwendung** Zylinderabschaltung, Studium

### 1.5.10 Grad Celsius

als Fixpunkte werden die Temperaturen vom Gefrier- (0°C) und Siedepunkt (100°C) des Wassers verwendet

### 1.5.11 Aggregatzustand

physikalischer Zustand eines Stoffs. Beispiel: fest, flüssig, gasförmig, plasma

### 1.5.12 Kelvin

absoluten Nullpunkt der Teilchen ( $0K = -273^{\circ}C$ )

$$0 K = -273,15^{\circ}C$$

$$273,15 K = 0^{\circ}C$$

$$373,15 K = 100^{\circ}C$$

#### Umrechnung

$$Kelvin = T_{Grad\ Celsius} + 273,15$$

$$Grad\ Celsius = T_{Kelvin} - 273,15$$

## 1.6 Arbeiten

- Verbrennung wird durch den Zündfunken eingeleitet
- Die Expansion der Gase treibt den Kolben nach UT
- Wärmeenergie wird in mechanische Energie umgewandelt

### 1.6.1 Verbrennungstemperatur

2000 – 2500°C

### 1.6.2 Kolbenmaterial

Aluminium-Silizium-Legierung

### 1.6.3 Thermische Belastung Kolben

**Problem** Kolbenbodentemperaturen

- (1) 390°C Diesel
- (2) 290°C Benzin
- (3) 421°C Stahlkolben

**Kerbe** = Sollbruchstelle

### 1.6.4 Kolbenfläche berechnen

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = [mm^2]$$

Vgl. »Kapitel Rechenbeispiele / Druckberechnung am Pleuellager«

### 1.6.5 Kolbenwärme abführen

- Kolbenboden
- 80 % über 1. Kolbenring, Kompressionsring, Minutenring, (trapezförmig)
- Zylinderwand

### 1.6.6 Kolbenkippen Ursache

- Druckverlagerung
- Desachsierung des Kolbens
- Wann liegt der Kolbendruck an?
- Wann Übergehen der Kolbengleitbahnen (deshalb die Desachsierung des Kolbens)
- Welche Kolbenbauform?
- ausreichend langes Kolbenhemd → Problem mehr Masse
- Masse einmal beschleunigt, wenn Kolben nach unten (möchte durch die Ölwanne in den Boden) oder Kolben nach oben (durch die Motorhaube in den Himmel) davon hält das Pleuel ab

## 1.7 Ausstoßen

- Abgase verlassen mit Überschallgeschwindigkeit den Zylinder

### 1.7.1 Abgastemperatur

600 – 900°C

### 1.7.2 Wirkungsgrad (Effizienz)

- 35 – 50 % Diesel
- 25 – 35 % Otto
- Rest Reibung und Wärme

### 1.7.3 Wie bewegt sich die Kurbelwelle?

#### Ungleichförmige Drehbewegung

Hubkolbenbewegung Reihenmotor (abhängig Zylinderanzahl, Zündreihenfolge)

Kompensieren: Kurbelwellenrad exzentrisch ausgeführt (unterschiedliche Hebellängen)

Beschleunigt (Zündungstakt)

- alle zwei NW Umdrehungen
- alle vier KW Umdrehungen

### 1.7.4 Hydrodynamischer Schmierkeil

- durch ungleichförmige Drehbewegung
- wird eine Volumenvergrößerung zwischen Kurbelwelle und Lagerung erreicht
- dadurch ein Einströmen des Lageröls in die Lagerstelle begünstigt
- Und wenn jetzt der Verbrennungsdruck durch die Verbrennung erzeugt auf die Kurbelwellenlagerstelle schneller erfolgt, als die Verdrängung des Öls aus der Lagerstelle heraus
- Aufschwimmen auf unserem Lager
- Wir bewegen uns auf dem hydrodynamischen Schmierkeil
- Ist in der Lage hohe Drücke auszuhalten

Wie kann es sein, dass ich mit einem Versorgungsdruck von 5 *bar* einen Öldruck in den Lagern der Kurbelwelle einen Spitzendruck bis 1000 *bar* kompensieren kann > Hydrodynamischer Schmierkeil

Vgl. »Kapitel Rechenbeispiele / Druckberechnung am Pleuellager«

## 1.8 Kurbelgehäusearten

1. Closed-Deck-Ausführung
  - Dichtfläche bis auf Kühl- oder Ölskanäle geschlossen gegenüber Zylinderkopf
  - Niederdruckguss-Verfahren (AlSi-Legierung)
2. Open-Deck-Ausführung
  - Wassermantel um die Zylinderbohrungen offen gegenüber Zylinderkopf (geringe Steifigkeit, erfordert Metall-Zylinderkopfdichtung)
  - Druckgussverfahren

## 1.9 Zylinderkopfdichtung

Gasabdichtung bei allen Betriebszuständen

1. Metall-Weichstoff-Zylinderkopfdichtung
2. Metall-Zylinderkopfdichtung



## 1.10 Lösung - Grundlagen Verbrennungsmotor

**Bemerkung**, die in Klammern stehende Kommentare gehören nicht zur Beantwortung der Frage.

**1) Ein Verbrennungsmotor benötigt zum Arbeiten ein Kraftstoff-Luft-Gemisch. Was ist Kraftstoff und was ist Luft?**

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 29)

- (1) **Kraftstoffe** sind hauptsächlich Kohlen - Wasserstoff - Verbindungen (geringer Anteil Schwefel → Schmierung). Die Anzahl der Atome und deren Verbindungen bestimmen die Art des Kraftstoffes. Zur Verbesserung der Eigenschaften werden Ihnen Additive zugefügt.

(Flammpunkt; Benzin: ringförmiger Molekülaufbau, Oktanzahl → Zündunwillig, Klopf-festigkeit; Diesel: kettenförmiger Molekülaufbau, Cetanzahl → Zündwilligkeit)

- (2) **Luft** ist ein Gasgemisch aus

- 78 % Stickstoff
- 21 % Sauerstoff
- 0,9 % sonstige Gase (Edelgase)
- 0,1 % Schwebeteilchen (Partikel, Feinstaub, Sandstrahl verschleiß → Luftmassen-messer)
- (0,040 % CO<sub>2</sub>)

**2) Unterscheiden Sie Boxer-Motor und 180 Grad V-Motor**

**Boxer-Motor** arbeiten die Kolben der gegenüberliegenden Zylinder aufeinander zu. Es befinden sich also beide zeitgleich im oberen oder unteren Totpunkt. Um dies zu ermöglichen, benötigt der Boxer-Motor einen Kurbelzapfen je Kolben.

(flache Bauweise, tiefer Schwerpunkt, Kurvenverhalten)

**180° V-Motor** arbeiten die Kolben der gegenüberliegenden Zylinder in gleicher Richtung. Wenn also der eine im oberen Totpunkt ist, ist der andere im unteren Totpunkt und umgekehrt. Beim 180° V-Motor können sich daher jeweils zwei Kolben ein Kurbelzapfen teilen.

**3) Wie unterscheidet man Hubkolbenmotoren nach dem Arbeitsverfahren?**

**Arbeitsverfahren**

- (1) Vier-Takt-Motor
- (2) Zwei-Takt-Motor

4) Was bezeichnet man als Hubraum?

Raum zwischen unteren und oberen Totpunkt eines Zylinders.

5) Erläutern Sie, welche Faktoren den Druck im Brennraum am Ende des Verdichtungstaktes beeinflussen

(1) **Druck** zu Beginn des Verdichtungstaktes

- bei Saugmotoren um den atmosphärischen Luftdruck
- bei Ladermotoren (externe Aufladung) Überdruck von bis zu 2,2 bar

(2) Als nächstes wäre die **Temperatur** der angesaugten Luft zu nennen.

(3) **Verdichtungsverhältnis**

- Verkleinerung des Raumes und damit verdichten des Gases
- Ausdehnung des Gases durch Erwärmung
  - pro Grad der Erwärmung  $\frac{1}{273}$

(4) **Verluste**

- durch Wärmeentzug an der Brennraumoberfläche (Brennraumgestaltung)
- durch Brennraumundichtigkeiten
  - Kolbenringe, Ventile, Brennraumabdichtung, ...

6) Worin besteht der Unterschied zwischen Kurz-, Lang- und Quadrathuber?

Prüfung

**Hub-Bohrung-Verhältnis**

(1) **Kurzhuber** Hub < Zylinderbohrung

- (Formel 1 → sehr hohe Drehzahlen)

(2) **Langhuber** Hub > Zylinderbohrung

- (Schiff, Traktor, Lanz Bulldog → Drehmoment, Leistung, Länge des Kurbelzapfens, Hebelarm, höhere mittlere Kolbengeschwindigkeit, Massenträgheit, Drehzahlbegrenzung)

(3) **Quadrathuber** Hub = Zylinderbohrung

7) Worin unterscheiden sich Kipp- und Schlepphebel?

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 242)

- (1) **Kipphebel** ist in der Mitte gelagert und besitzt dadurch zwei Arme. Der eine Arm wird direkt vom Nocken über einen Stößel oder von der unten liegenden Nockenwelle über Stößel und Stößelstange betätigt. Der andere Kipphebelarm betätigt das Ventil.
- (2) **Schlepphebel oder Schwinghebel** besitzt nur einen Arm. Dieser ist an einem Ende gelagert und stützt sich mit dem anderen Ende auf das Ventil. Der Nocken wirkt von oben auf diesen Arm.

**8) Was wird in einem Steuerdiagramm dargestellt?**

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 195)

In einem **Steuerdiagramm** werden die Steuerzeiten eines Verbrennungsmotors in »Grad Kurbelwinkel« dargestellt.

**9) Was wird als Ventilüberschneidung bezeichnet?**

**Ventilüberschneidung** bezeichnet man den Drehwinkel, den die Kurbelwelle zwischen »EV öffnet vor OT« und »AV schließt nach OT« durchläuft.

**10) Erläutern Sie die Begriffe Passlager, Minutenring und Trockensumpfschmierung**

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 213)

- (1) **Passlager** bezeichnet man das/die Hauptlager, das die Kurbelwelle gegen axiales verschieben z. B. beim Auskuppeln sichert.

(Gleitlager, Wälzlager, radial, axial)

- (2) **Minutenring** ist ein spezieller Kolbenring, der durch seine trapezförmige Form im Neuzustand eine sehr schmale Dichtkante zum Zylinder hat. Wodurch er sich in kürzester Zeit auf den Zylinder einschleift und Einfahrvorschriften entfallen können.

(Kompressionsring, Ölabstreifring)

- (3) **Trockensumpfschmierung** bezieht das Schmieröl nicht direkt aus der Ölwanne, sondern aus einem separaten Tank. Die Ölwanne enthält nur eine geringe Ölmenge, die durch eine Ölpumpe kontinuierlich in den Öltank abgeführt wird. Hierdurch wird ein Trockenlaufen durch große Fliehkräfte oder Schräglage entgegengewirkt.

(Zwei oder zweistufige Ölpumpen: Saugpumpe, Druckpumpe; Druckumlaufschmierung/Nasssumpf)



## 2 Motorsteuerung

### 2.1 Was ist ein Untengesteuerter Motor?

Anordnung der Ventile

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 242)

#### 2.1.1 Untengesteuerter Motor

»stehende Ventile« (Ventilteller ist oben)

- Ungünstige Brennraumform, schlechter Wirkungsgrad
- z. B. Harley-Davidson, Rasenmähermotoren
- Flatheadmotor, sv-Motor

#### 2.1.2 Obengesteuerter Motor

»hängende Ventile« (Ventilteller ist unten)

### 2.2 Anordnung der Nockenwelle (Steuerungsbauarten)

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 242)

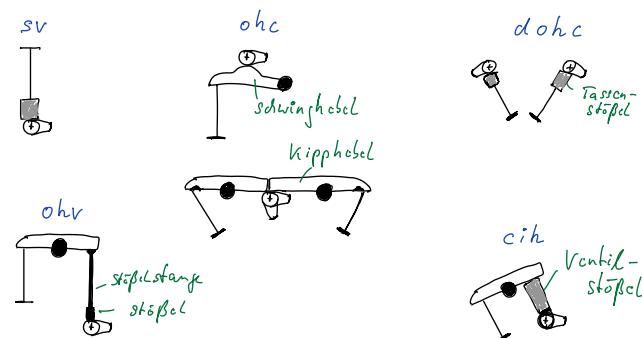


Abb. 2.1: Anordnung der Nockenwelle

### 2.2.1 sv-Motor

- »side valves« seitlich stehende Ventile
- untengesteuerter Motor
- unten liegende Nockenwelle

### 2.2.2 ohv-Motor

- »overhead valves« hängende Ventile
- obengesteuerter Motor
- unten liegende Nockenwelle

### 2.2.3 ohc-Motor

- »overhead camshaft«
- Nockenwelle über Zylinderkopf

### 2.2.4 dohc-Motor

- »double overhead camshaft«
- zwei Nockenwellen über Zylinderkopf

### 2.2.5 cih-Motor

- »camshaft in head«
- Nockenwelle im Zylinderkopf

## 2.3 Arten von Nockenwellenantriebe

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 247)

1. Steuerkette
2. Zahnriemen
3. Königswelle
4. Stirnräder
5. Schubstangenmotoren

## 2.4 Nenne Zahnriemen Merkmale (trocken laufend)

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 247)

- geringe Masse
- geräuscharmer Lauf
- begrenzte Standzeit, begrenzte Belastbarkeit
- Unterliegen einem Wartungsintervall
- braucht keine Schmierung
- kostengünstig in der Produktion
- Chemisch sensibel

## 2.5 Ölbadzahnriemen Eigenschaften (nass laufend)

- mit Öl geschmierter Lauf
- geringere Geräusentwicklung
- geringere Reibung (20 % weniger als Steuerkette)

**Ziel:**

- Kontaktflächen der beweglichen Teile reduzieren → Emissionen
- Thermomanagement: Betriebstemperatur lange halten (BMW)

## 2.6 Steuerkette Merkmale

1. Große Kräfte übertragen
2. eigentlich wartungsarm, aus praktischer Sicht leider problembehaftet
3. teuer in Konstruktion
4. Steuerkette gilt als lauter
5. größere Masse als ein Riemen

## 2.7 Stirnradantrieb

- Große Kräfte übertragen
- wartungsfrei
- schmale Bauform
- teuer in Konstruktion
- Dauerläufer (nicht problembehaftet)

## 2.8 Königswelle

- wartungsfrei
- leicht, weil hohl gebohrt, Hohlröhre
- kleine Kräfte übertragen
- teuer in Konstruktion und Herstellung

## 2.9 Unterschied - Steuern und Regeln

### 2.9.1 Steuern

Soll-Ist-Vergleich

- z. B. *Steuerriemen*: Markierung soll auf OT stehen, alles in Ordnung, wenn nicht, dann defekt.

### 2.9.2 Regeln

Soll-Ist-Vergleich mit der Option des Eingriffs

- z. B. *ABS Regelkreis*: SG erfasst Drehzahlssignal, Drehen alle Räder gleich schnell, alles okay. Dreht ein Rad schneller → aktiver Eingriff ins System.



## 2.10 Nockenwellen - Herstellungsmöglichkeiten

### 2.10.1 Gegossene Nockenwelle

- muss nachgearbeitet werden, Lagerstellen, partiell gehärtet
- biegsam, flexibles Bauteil (Gusseisen mit Lamellen- o. Kugelgrafit)
- *Vorteil* kostengünstig in der Herstellung, weniger problembehaftet

(Kaltverformen je härter ein Material, um zu spröder.)

### 2.10.2 Gebaute Nockenwelle

- zwei unterschiedliche Materialien,
- Nocken (aus Einsatz-, Vergütungs- o. Nitrierstahl) auf ein Stahlrohr geschrumpft
- *Problem* Nocken können sich verdrehen
- *Vorteil* Gewichtsreduzierung, Nocken ist belastbarer
- *Nachteil* Aufwand
- Material V4A (hohl gebohrt)

## 2.11 Nockenformen

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 246)

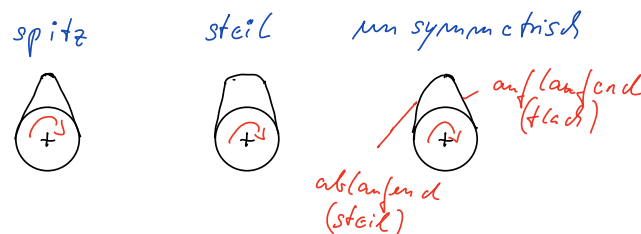


Abb. 2.2: Nockenformen

### 2.11.1 spitzer Nocken (tagenden Nocken)

- langsames Öffnen / Schließen der Ventile
- kurze Zeit voll geöffnet
- geringe Füllung
- stabiler Leerlauf
- weicher und komfortorientierte Drehzahlbereich
- nicht als hochdrehender, hochbelasteter Motor geeignet

### 2.11.2 steiler Nocken (scharfer Nocken, Kreisbogen Nocken)

- schnelles Öffnen / Schließen der Ventile
- bleibt längere Zeit voll geöffnet
- hoher Füllungsgrad, bei hohen Drehzahlen
- im Leerlauf teilweise unrunder Lauf, da »inneres AGR« entstehen kann (große Ventilüberschneidung → Abgase in Ansaugtrakt) Abhilfe: Leerlaufdrehzahl erhöhen (750 → 950 U/min.)
- Leistungsmotoren, hohe Drehzahlen

### 2.11.3 unsymmetrischer Nocken

- *flach* langsames öffnen der Ventile
- *steil* schnelles schließen der Ventile
- längeres offen halten der Ventile
- vereinigt beide Varianten

(Ziel bei hohen Drehzahlen: Ventile schnell öffnen (Nocken) / schließen (Ventilfeder) → gute Füllung, hohen Wirkungsgrad erreichen.)

## 2.12 Arten von Ventilbetätigung

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 247, 242)

### 2.13 Welche Beanspruchung ist das Ventil ausgesetzt?

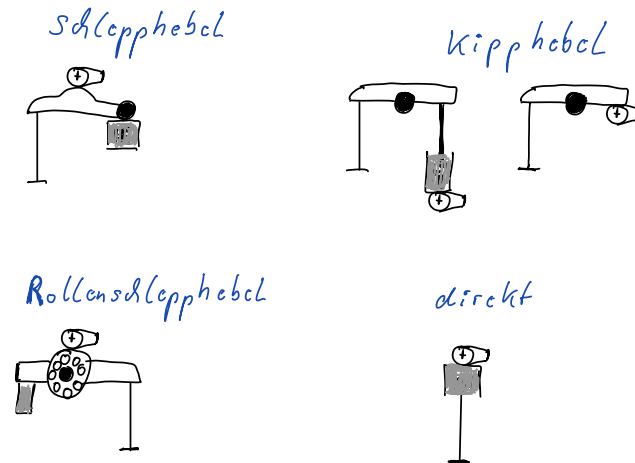


Abb. 2.3: Arten von Ventilbetätigung

#### 2.12.1 Rollenschlepphebel, Schlepphebel, Schwinghebel

- einarmige Hebel
- geringe Reibung zwischen Nocken und Schlepphebel durch Nockenrolle (nadelgelagert)

#### 2.12.2 Kipphebel

zweiarmige Hebel

#### 2.12.3 direkt

Nockenwelle - Hydrostößel - Ventil

### 2.13 Welche Beanspruchung ist das Ventil ausgesetzt?

#### 2.13.1 Mechanische Beanspruchung des Ventils

- Ziehen (Ventilfeder, schließen, Ventilsitz)
- Druck (Nocken, öffnen)
- Torsion (verdrehen)
- Biegen

### 2.13.2 Chemische Beanspruchung

Schwefel im Kraftstoff → Korrosion

### 2.13.3 Thermische Belastung

Auslassventil bis 900°C

## 2.14 Ventilspielausgleich

**Wofür?** Temperaturänderung (Motor Kaltstart, temperaturbedingte Längenänderung des Ventils ausgleichen)

**Zu kleines Ventilspiel** (Nachteile)

- Ventil öffnet früher und schließt später
- Ventil ist länger auf
- kann dadurch nicht genügend Wärme abgeben über Ventilsitz
- Ventilteller wird immer weiter einer höheren thermischen Belastung unterzogen und dadurch erhöhter Verschleiß
- Am Ende ist das Ventil einer Hochtemperaturkorrosion unterworfen (Verbranntes Ventil)

**zu großes Ventilspiel** (Nachteile)

- Ventil öffnet zu spät, geht nicht ganz auf und schließt zu früh
- Ventil ist kürzer auf
- Klappergeräusche und erhöhter Verschleiß, *Warum?* durch großes Ventilspiel, liegt nicht am Nockengrundkreis auf (Nocken schlägt auf Ventil)
- Hieraus können folgen: schlechte Zylinderfüllung und die maximale erreichbare Leistung sinkt

### 2.14.1 definiertes Ventilspiel

Wartung notwendig

### 2.14.2 Hydraulischer Ventilspielausgleich

#### ablaufender Nocken (ohne Belastung)

- Entspannung des Systems
- Spielausgleichsfeder drückt Druckbolzen nach oben bis Stößel am Nocken anliegt
- Kugelventil öffnet sich, Raumvergrößerung im Arbeitsraum (Unterdruck)
- Durch den Systemdruck strömt frisches Öl von außen ein und der Arbeitsraum wird befüllt

#### auflaufender Nocken (mit Belastung)

- Kugelventil schließt sich, es baut sich Druck im System auf
- durch die Inkompressibilität von Flüssigkeiten → starre Verbindung
- Nocken wird auf den Stößel auflaufen können, ohne Spiel zu haben und das Ventil betätigen
- Warum Ringspalt? (Wärmeausdehnung des Öls ausgleichen)
- Wärmeeintrag: je wärmer das Öl, umso dünnflüssiger
- dadurch wird »Öl« durch den kleinen Ringspalt gepresst (definierte Menge an Öl)
- erfordert die richtige Öl-Viskosität (Zähflüssigkeit, Temperaturabhängig, Fließverhalten), sind an diese Ringspalte angepasst

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 245)

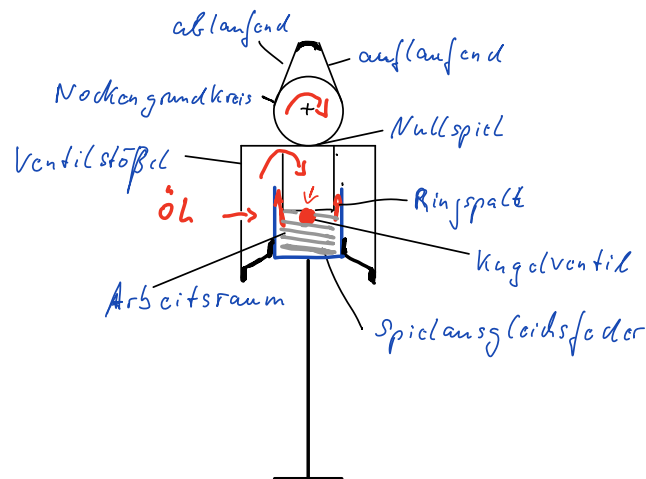


Abb. 2.4: Ventilspielausgleich

## 2.15 Drehzahlverhältnis zwischen Kurbelwelle zu Nockenwelle?

2:1

## 2.16 Was steuert die Motorsteuerung?

Den Zeitpunkt und die Dauer des Ansaugens der Frischgase und den Zeitpunkt und die Dauer des Ausstoßes der Abgase.

Öffnen und Schließen der Ventile.

### Voraussetzung

1. Einspritzung des Kraftstoffs (Energieträger)
2. Eine Zündung, die diese Energie, gebunden im Kraftstoff, in chemische Energie, in Wärmeenergie umwandelt (Wärmekraftmaschine)

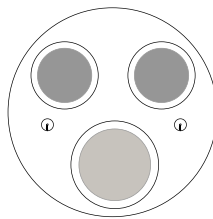
Druck wird über eine Fläche in Kraft und Drehmoment übertragen, an die Kurbelwelle übergeben, läuft durch das Getriebe - Achswellen - Reifen auf die Straße und wir haben Vortrieb.

## 2.17 Dreiventiltechnik mit zwei Zündkerzen

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 243)

Fachbuch (Respondeck [5] S. 142)

### 2.17.1 Zusammenfassung



**Abb. 2.5:** Dreiventiltechnik

Wir haben bei **drei Ventilen** einen großen Ein- und Auslassquerschnitt.

Durch die Anordnung ist eine Unterbringung von **zwei Zündkerzen** möglich, sodass zwei Zündkerzen in der Nähe der Zylinderwand entstehen in deren Umgebung zwei

Flammfronten. Somit kann bereits niedergeschlagener Kraftstoff noch verdampfen und verbrannt werden.

Durch zwei Zündkerzen findet die Verbrennung schneller statt. Dadurch wird der maximale Kolbendruck früher erreicht und ein hohes Drehmoment erreicht. Wir nähern uns einer Gleichdruckverbrennung (Isobar).

**Klopffneigung** wird durch zwei Zündkerzen verringert. Da geringerer Wärmeeintrag in die noch nicht verbrannten Gase stattfindet.

**Abgastemperatur** ist niedriger, dadurch geringerer NO<sub>x</sub>-Ausstoß trotz geringer HC und CO-Werte.

Dank nur **einem Abgasrohr** geringere Wärmeverluste. »light off point« des Katalysators wird schneller erreicht.

## 2.17.2 Warum sind das zwei Einlassventile und ein Auslassventil?

### Vorteil

- kleine Massen
- zwei kleine Ventile → große Einlassquerschnitte
- höhere Drehzahlen
- gute Füllung und Zylinderspülung

### Nachteil

- mehr Teile → größere Reibungsverluste
- Verschleiß und Ausfallwahrscheinlichkeiten

**Ein großes Ventil** hat eine Massenträgheit.

- Masse in Ruhelage (Ventil offen), Losbrechmoment → höchste Kraft, Masse in Bewegung (Federkraft: Ventil schließen)
- Ansaugventil möglichst lange offen lassen (Kolben und Ventil kommen sich sehr nahe)
- *Ziel*: bestimmte Drehzahl erreichen (Wie schnell kann dieser Wechsel vollzogen werden?)

## 2.17.3 Zylinderspülung bei Ventilüberschneidung

Mit dem Ausstoß der Abgase ziehen wir einen kleinen definierten Frischgasanteil mit, um den Zylinder zu spülen und möglichst wenig inertes Gas (AGR) zu gewährleisten.

#### 2.17.4 Nachladeeffekt beim Ansaugen

Einlassventile werden erst nach Durchschreiten des unteren Totpunktes geschlossen. Frischgase strömen trotz aufwärtsgehendem Kolben in den Zylinder nach. Die Kinetische Energie der einströmenden Frischgase ist größer, als die Druckzunahme durch aufwärts gehenden Kolben.

#### 2.17.5 Warum zwei Zündkerzen?

Zündkerze ist in der Nähe der Zylinderwand, zwei Flammenfronten entstehen.

##### 1. Vollständige Verbrennung

- niedergeschlagener Kraftstoff verdampft (an Zylinderwandung und Feuersteg) und der Verbrennung zugeführt

##### 2. schnellerer Verbrennungsablauf

- Schnelleres Erreichen des maximalen Verbrennungsdruckes. Die Temperatur kann schneller konstant gehalten bzw. in Druck umgewandelt und über die Fläche des Kolbens in Kraft und Drehmoment auf die Kurbelwelle übertragen werden.
- $\text{Drehmoment} = \text{Kraft (max. Kolbendruck)} \times \text{Hebelarm (90^\circ \text{ stehende Kurbelwellenzapfen} = \text{Hebelarm am größten})}$

#### 2.17.6 Innermotorisch entstehen geringere Schadstoffe

1. **HC** geringer Ausstoß unverbrannter Kohlenwasserstoffe, durch weniger niedergeschlagener Kraftstoff
2. **CO** geringer, durch vollständige Verbrennung
3. **NO<sub>x</sub>** ist reduziert, durch schnelleren Verbrennungsablauf → zwei Zündkerzen, Abgastemperatur ist niedriger

#### 2.17.7 Wann entsteht NO<sub>x</sub>?

Durch hoher Druck und hohe Temperatur.



### 2.17.8 Zusammenhang zwischen HC und CO vs. NOx

Es gibt zwei Zündgrenzen »fett« und »mager«.

1. **HC und CO** entsteht durch unvollständige fette Verbrennung
  - Senken: durch Abmagern
  - Verbrennungsspitzentemperatur: geringer
2. **NOx** entsteht durch magere Verbrennung
  - Senken: durch anfetten
  - Verbrennungsspitzentemperatur: ansteigen

### 2.17.9 Schadstoffe

1. **HC** unverbrannte Kohlenwasserstoffe
  - Verdampft am Ende der Verbrennung und wird dem Abgas zugeführt
2. **CO** Kohlenmonoxid
  - schwerer als Luft (Grube), bindet Hämoglobin im Blut
  - keine vollständige Verbrennung
3. **NOx** Stickoxide

### 2.17.10 Was ist AGR?

Platzhalter Gas (inertes Gas) nimmt nicht an der Verbrennung teil, soll den Umgebungs-sauerstoff fernhalten

AGR-Rate ist am größten in Teillast (80 Km/h auf der Landstraße)

Ziel: Aus großen Motor → kleinen Motor machen, viel Abgas und geringe Menge Kraftstoff einspritzen

*Problem* »Luftmenge ist da und kein Kraftstoff Einspritzen« → magere Verbrennung → thermische Belastung und Anstieg NOx

*Luftmassenmesser* misst angesaugte Luftmasse und Sauerstoffgehalt → AGR-Rate → Kraftstoffmenge berechnen

Ziel: homogen - Magerbetrieb (über den kompletten Zylinder)

### 2.17.11 Wie entsteht Ruß?

Kraftstoff wird an heißen Luft eingespritzt, zündfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch bildet sich

*einzelne Kraftstofftröpfchen*

- fangen von außen an zu verdunsten, entzünden, Verbrennung ist zu kurz (nicht vollständig)
- innen: Verbrennung von Kohlenwasserstoff ohne Sauerstoff

### 2.17.12 Was fördert die Klopfneigung?

Unkontrollierte, unerwünschte Verbrennung (Glühzündung, klingende, klopfende Verbrennung)

entzündet sich selbst an etwas glühenden, z. B. Ölkohle, Masseelektrode (Zündkerze)

Wärme braucht Zeit zum Wirken.

1. **Wärmeeintrag gering:** geringe Klopfneigung, geringe thermische Belastung, schneller Verbrennungsablauf
2. **Wärmeeintrag hoch:** klopfende Verbrennung

### 2.17.13 Ein Auslassventil - ein Abgasrohr

Abgas verliert weniger Wärmeenergie.

1. ab ca. 450 °C »light off point« des Katalysators: min. 50 % der Abgase konvertiert in nicht Schadstoffen
2. ab ca. 650 °C altert der Katalysator exponentiell und thermische Belastung

**Thermodynamik - warme Luft strömt** schneller, weniger Rückstau.

Das unter Druck stehende Abgas verlässt den Zylinder mit Überschall (Auspuffgeräusch). **Schallgeschwindigkeit** ca. 343 m/s (z. B. Blitz → Donner, drei Sekunden zählen → ca. 1 km Entfernung)

## 2.18 Lösung - Motorsteuerung

### 1) Welche Aufgabe übernehmen die Ventile eines Verbrennungsmotors?

Ermöglicht den Gaswechsel und dichten den Verbrennungsraum gegenüber dem Saugrohr und Abgasanlage ab.

### 2) Warum haben Einlassventile meist einen größeren Ventiltellerdurchmesser als Auslassventile?

Einlassventile haben oftmals einen größeren Ventiltellerdurchmesser, da das einströmende Frischgas nur durch Unterdruck im Zylinder angesaugt wird, während das im Zylinder befindliche Altgas noch unter Restdruck aus der Verbrennung steht und den Zylinder somit auch über einen kleinen Querschnitt zuverlässig verlässt.

### 3) Wie hoch ist die thermische Belastung von Ein- und Auslassventilen?

Einlassventile bis ca. 500°C Auslassventile bis ca. 900°C (fehlende Frischgaskühlung)

### 4) Welche Aufgabe hat die Ventildrehvorrichtung?

Die Ventildrehvorrichtung hat die Aufgabe, die Ventile bei laufendem Motor kontinuierlich zu drehen.

#### Dies verhindert:

1. ungleichmäßige Erwärmung der Ventilteller
2. Undichtigkeiten durch Verzug (nicht sauberes Anliegen)
3. Störungen bei Wärmeabgabe
4. Hochtemperaturkorrosion an den heißesten Stellen (das Ventil verbrennt)
5. Abblättern der Verbrennungsrückstände (stetiges Einschleifen der Ventile)

#### Bauformen

1. Rotocap
2. Rotomat

### 5) Beschreiben Sie Aufbau und Wirkungsweise eines Hohlventils. (inkl. Temperaturangaben!)

Hohlventile sind im Schaft, teilweise auch im Teller hohl. Dieser Hohlraum ist zu ca. 60 – 70 % mit metallischem Natrium gefüllt, bei ca. 98°C schmilzt das Natrium und bewegt sich hervorgerufen durch die Ventilbewegung im Ventil auf und ab. Bei jeder Bewegung nimmt es am Ventilteller Wärme auf und gibt diese am Ventilschaft ab. Der Abkühleffekt am Ventilteller liegt bei ca. 80 – 150°C. Durch die hohlgeborte Form des Ventils verringert sich seine Masse. Kann auch als Einlassventil verwendet werden.

### 6) Warum besteht zwischen dem Sitzwinkel des Ventilsitzringes im Zylinderkopf und dem am Ventil oftmals eine Differenz von ca. 1°?

Durch die Sitzwinkeldifferenz ist die Dichtfläche schmal. Bei Inbetriebnahme des Motors arbeiten sich Ventilteller und Sitzring schnell aufeinander ein. Dadurch entfällt das Ventileinschleifen.

(Flächenpressung, Minutenring)

### 7) Welche Auswirkungen hat ein zu großes/zu kleines Ventilspiel?

#### **Zu kleines Ventilspiel** (Nachteile)

- Ventil öffnet früher und schließt später
- Ventil ist länger auf
- kann dadurch nicht genügend Wärme abgeben über Ventilsitz
- Ventilteller wird immer weiter einer höheren thermischen Belastung unterzogen und dadurch erhöhter Verschleiß
- Am Ende ist das Ventil einer Hochtemperaturkorrosion unterworfen (Verbranntes Ventil)

#### **zu großes Ventilspiel** (Nachteile)

- Ventil öffnet zu spät, geht nicht ganz auf und schließt zu früh
- Ventil ist kürzer auf
- Klappergeräusche und erhöhter Verschleiß, *Warum?* durch großes Ventilspiel, liegt nicht am Nockengrundkreis auf (Nocken schlägt auf Ventil)
- Hieraus können folgen: schlechte Zylinderfüllung und die maximale erreichbare Leistung sinkt

### 8) Wo im Ventiltrieb kann der Ventilspielausgleich eingesetzt sein?

Ventilspielausgleich kann sich zwischen Nocken und Ventil oder bei Bauformen Schlepphebel am Aufnahmepunkt des Hebels befinden.

### 9) Beschreiben Sie Aufbau und Wirkungsweise des hydraulischen Stößel.

#### **Ablaufender Nocken** (ohne Belastung)

- Entspannung des Systems
- Spielausgleichsfeder drückt Druckbolzen nach oben bis Stößel am Nocken anliegt
- Kugelventil öffnet sich, Raumvergrößerung im Arbeitsraum (Unterdruck)
- Durch den Systemdruck strömt frisches Öl von außen ein und der Arbeitsraum wird befüllt

#### **Auflaufender Nocken** (mit Belastung)

- Kugelventil schließt sich, es baut sich Druck im System auf
- durch die Inkompressibilität von Flüssigkeiten → starre Verbindung

- Nocken wird auf den Stößel auflaufen können, ohne Spiel zu haben und das Ventil betätigen
- *Warum Ringspalt?* (Wärmeausdehnung des Öls ausgleichen)
- Wärmeeintrag: je wärmer das Öl, umso dünnflüssiger
- dadurch wird »Öl« durch den kleinen Ringspalt gepresst (definierte Menge an Öl)
- erfordert die richtige Öl-Viskosität (Zähflüssigkeit, Temperaturabhängig, Fließverhalten), sind an diese Ringspalte angepasst

**10) Warum verwendet man bei herkömmlichen 4-Takt-Motoren und Pkw-Dieselmotoren nur noch oben liegende Nockenwellen?**

Durch die obenliegende Nockenwelle können die bewegten Massen des Ventiltriebs gering gehalten und somit höhere Drehzahlen erreicht werden. (z. B. Stößelstange, mehr Bewegung → erhöht Reibung und Masse)

**11) Welche Nockenausführungen findet man an den Nockenwellen von Verbrennungsmotoren?**

1. **spitzer Nocken** (tagenden Nocken)
2. **steiler Nocken** (scharfer Nocken, Kreisbogen Nocken)
3. **unsymmetrischer Nocken**

**12) Aus welchem Werkstoff können Nockenwellen bestehen? (keine Prüfung)**

1. **Gegossene Nockenwelle**
  - Gusseisen mit Lamellen- o. Kugelgraphit
2. **Gebaute Nockenwelle**
  - Einsatz-, Vergütungs- o. Nitrierstahl

(Eigenschaften: Welche Kräfte wirken? zäh fest versus beweglich)

**13) Was versteht man unter desmodromischer Ventilsteuerung?**

Bei desmodromischer Ventilsteuerung werden die Einlassventile und Auslassventile jeweils durch einen Öffnungs- und Schließkipphebel betätigt.

(Zwangssteuerung, Einsatz: hohe Drehzahlen, AV zuverlässig schließen)



## 3 Füllungsoptimierung I

### 3.1 Downsizing (Prüfung)

Verkleinerung der Motoren (Hubraum und Zylinderzahl) bei gleicher Leistung.

### 3.2 LSPI - Low Speed-Pre-Ignition

LSPI = vorzeitige Zündung, betrifft hoch aufgeladene Downsizing Motoren<sup>1</sup>

- **Turbo aufgeladene Motoren**
  - geringes Verdichtungsverhältnis (7-8:1)
  - vor verdichtete Luft wird in den Zylinder eingeblasen und verdichtet
  - Ladedruckregelung (Lastwunsch)
  - vorgewärmte Luft (Ladeluftkühlung)
- **vs. hoch verdichtete Saugmotoren**
  - hohes Verdichtungsverhältnis (10-11:1), endet bei Klopfgrenze

#### Zwei Zündquellen, Ursache für die Selbstentzündung

1. Niedergeschlagen Kraftstoff in Verbindung mit sehr niedrig Viskoses Öl
  - → ein brennbares Gemisch entsteht, mit einer nicht ganz bekannten Selbstentzündungstemperatur
2. Ölkohlerückstände (Kraftstoffreste) im Bereich der Einspritzdüsen

Durch eine überhohe Verdichtung → steigt Verdichtungsenddruck und damit Verdichtungstemperatur → dadurch hohe thermische Belastung. Die Folge ist ein kapitaler Motorschaden.

**Körnerschlag**<sup>2</sup> Kolbensschäden → es entsteht eine Druckspritze bevor der Kolben OT erreicht, eine zweite Flammenfront entsteht, wenn jetzt zwei Flammfronten aufeinandertreffen, entstehen sehr hohe Druckspitzen, auch wenn der Kolben nach UT geht.

<sup>1</sup><https://www.autobild.de/artikel/lspi-vorzeitige-zuendung-16385077.html>

<sup>2</sup>[https://cdn.germanscooterforum.de/monthly\\_05\\_2009/post-24449-1241606436.jpg](https://cdn.germanscooterforum.de/monthly_05_2009/post-24449-1241606436.jpg)

**Kavitation**<sup>3</sup> Dampfblasenbildung<sup>4</sup> z. B. Bootsschraube saugt Flüssigkeiten an, Druck fällt ab durch Unterdruck, wenn jetzt die Gasblasen implodieren, entstehen sog. Mikrojets → Druckspitzen.

### 3.3 Vorteile von Downsizing Motoren

1. Geringere Pumpverluste (2 l vs. 1,2 l bei gleicher Leistung 150 PS)
2. geringere Reibungsverluste aufgrund der geringeren Größe
3. weniger Wärmeübertrag von Gasen zur Zylinderwandung

### 3.4 Mehrventiltechnik

Fachbuch (Respondeck [5] S. 141)

Um die Zylinderfüllung zu verbessern, werden drei oder mehr Ventile pro Zylinder in Verbrennungsmotoren eingesetzt.

#### Ziele von Mehrventiltechnik

- Öffnungsquerschnitt der Ventile vergrößern, ohne die Drehzahlfestigkeit durch größere und damit trägere Ventile (mehr Masse) zu mindern.

#### Vor- und Nachteile von Mehrventiltechnik

- bessere Zylinderfüllung
- Drehzahlfest
- innere Reibung steigt
- Abgaswärmeentzug
  - Der Katalysator kommt schlechter auf Betriebstemperatur, da sich die Abgase an den Abgasrohren abkühlen können.
  - Je mehr Auslassventile vorhanden sind, desto größer ist die Oberfläche der Abgasrohre und desto mehr kühlen die Abgase aus.

Honda NR 750 - Ovale Kolben<sup>5</sup>

#### Dreiventiltechnik (Vorteile)

- Verbrennungsdruck steigt (kürzere Flammwege)

<sup>3</sup><https://prozesstechnik.industrie.de/wp-content/uploads/4/0/40278086.jpg>

<sup>4</sup><https://www.youtube.com/watch?v=SEGTFbZ5RJ8>

<sup>5</sup>[https://de.wikipedia.org/wiki/Honda\\_NR\\_750](https://de.wikipedia.org/wiki/Honda_NR_750)



- geringere Klopfneigung (weniger Zeit zur Gemischerwärmung vor Verbrennungsbeginn)
- Ausstoß unverbrannter Kohlenwasserstoffe verringert sich (Zündkerze ist in der Nähe der Zylinderwand, wo das Kondensat lagert)
- geringere NOx

Vgl. Kapitel »Motorsteuerung / Dreiventiltechnik mit zwei Zündkerzen«

### 3.5 Nockenwellenverstellung - variable Steuerzeiten

Fachbuch (Brand u. a. [4] S. 249)

Verdrehen der Einlassnockenwelle bzw. der Ein- und Auslassnockenwelle, abhängig von der Motordrehzahl, Motorlast und Temperatur. Hierdurch lässt sich die *Länge der Ventilüberschneidung* anpassen.

**Warum machen wir eine Nockenwellenverstellung?** (Vorteile)

1. Optimale Zylinderfüllung in den unterschiedlichen Last- und Drehzahlbereichen zu ermöglichen
2. inneres AGR

**Ziele der Nockenwellenverstellung**

- Wann das Ventil öffnet und schließt zu beeinflussen (variabel)
- bei gleichbleibenden Nocken, Dauer und Öffnungswinkel (Hub) ändern sich nicht
- Verdrehrichtung der Nockenwelle: Früh, Spät

**Verstellung der Einlassnockenwelle in Abhängigkeit vom Betriebszustand**

**Tab. 3.1**

Betriebszustand	Leerlauf	Teillast	Volllast
Verstellrichtung NW	Spät	Früh	Spät
Ventilüberschneidung	klein	groß	klein
Abgas	CO sinkt	NOx sinkt	
EV schließt	weit nach UT	kurz nach UT	weit nach UT

Merkmale (Vgl. Tabelle Verstellung der Einlassnockenwelle in Abhängigkeit vom Betriebszustand)

- **Leerlauf** Kein Überströmen von Frischgasen und Abgasen, besserer Verbrennungsverlauf

- **Teillast** Abgase strömen in den Einlasskanal und werden mit den Frischgasen angesaugt. Temperatur sinkt, NO<sub>x</sub>-Anteil sinkt
- **Volllast Nachladeeffekt** Frischgase strömen trotz aufwärts gehenden Kolben in den Zylinder nach

**Ausgangspunkt** → 90er-Jahre, erste Form des AGR (inneres AGR), Drei-Wege-Katalysator, Ottomotor, Euro 2, Teillast (höchste AGR-Rate, 80 km/h auf der Landstraße, keine Lastabfrage, Spritspareffekt, NO<sub>x</sub>-Anteil senken)

### 3.5.1 VarioCam - Verstellbarer Kettenspanner (Audi, VW)

→ Verändern der Ventilöffnungszeit der Einlassnockenwelle

**Wie?** Vgl. Tabelle Verstellung der Einlassnockenwelle in Abhängigkeit vom Betriebszustand

- KW treibt Auslass-NW an und diese über einer Kette die Einlass-NW
- **Kettenspanner** spannt **Kette nach oben** (federbelastet)
- NW dreht sich **gegen UZS** (Uhrzeigersinn) in **Verstellposition** »spät« (Ausgangslage, Ventilüberschneidung klein)
- SG bestromt Magnetventil, Motoröl fließt in Kettenspanner.
- **Kettenspanner** spannt **Kette nach unten** (Hydraulikzylinder)
- NW dreht sich **im UZS** in **Verstellposition** »früh«, (Ventilüberschneidung groß)

### 3.5.2 Vanos - Variable Nockenwellensteuerung (BMW)

**Wie?**

- **Nockenwellenrad und Nockenwelle** sind über ein **steiles Gewinde** miteinander verbunden.
- *Grundposition* NW steht in **Verstellposition** »spät«
- SG bestromt ein Magnetventil (4/2-Wegeventil) → gibt den **Ölzufluss** zum Frühkanal frei
- NW verdreht sich gegen Uhrzeigersinn in **Verstellposition** »früh«
- Durch wechselseitigen Druckaufbau lässt sich die Position der Verstelleinheit halten.

### 3.5.3 Flügelzellenversteller (Mercedes)

→ Verändern der Steuerzeiten

Wie?

- **Innenrotor** (fest mit NW) und **Außenrotor** (fest mit Kettenrad)
- SG bestromt **Magnetventil** → die **Ölräume** zwischen den Rotorblättern können wechselseitig mit Öl befüllt werden
- Die Kraftübertragung vom Nockenwellenrad auf die NW erfolgt immer über das Öl.
- wird Ölraum rechts vom Innenrotorblatt mit Öl befüllt, kommt es zu einer **Verdrehung der NW gegen UZS** (Uhrzeigersinn) in Richtung »spät«
- wird Ölraum links vom Innenrotorblatt mit Öl befüllt, kommt es zu einer **Verdrehung der NW im UZS** in Richtung »früh«
- Durch wechselseitigen Druckaufbau lässt sich die Position der Verstelleinheit halten.

## 3.6 Variabler Ventiltrieb

### 3.6.1 Stufenweise variabler Ventiltrieb

Vorteile

Bessere Zylinderfüllung durch zwei unterschiedliche Nockenprofile

- *obere Drehzahlbereich* → steiler Nocken
  - schnelles Öffnen, lange Öffnungsdauer, schnelles Schließen
- *untere Drehzahlbereich* → spitzer Nocken
  - Verhinderung von ungewollter Abgasrückführung durch zu lange Ventilüberschneidung

### 3.6.1.1 VTEC - Variable Valve Timing and Lift Electronic Control (Honda)

→ Verändern von Ventilhub und Ventilöffnungszeit

Wie?

- Verstelleinheit liegt in den Schlepphebeln
- **Umschaltung** zwischen dem Nockenprofilen erfolgt durch **Verblocken der Schlepphebel**
- **Schlepphebel entriegelt**
  - Die beiden äußeren Nocken öffnen mithilfe der äußeren Schlepphebel die Ventile.
  - **Spitzer Nocken**
    - \* kleiner Ventilhub
    - \* kurze Ventilöffnungszeit
    - \* *niedrige Drehzahlen*
- SG bestromt Elektromagnet, **Öldruck** verschiebt die **Sperrschieber** und verblockt die Schlepphebel untereinander.
- **Schlepphebel verriegelt**
  - wenn der steile Nocken auf den mittleren Schlepphebel aufläuft, nimmt dieser die beiden äußeren Schlepphebel mit und diese öffnen die Ventile.
  - **Steiler Nocken**
    - \* großer Ventilhub
    - \* lange Ventilöffnungszeit
    - \* *hohe Drehzahlen*

### 3.6.1.2 VarioCam Plus (Porsche)

→ Verändern von Ventilhub und Ventilöffnungswinkel

Wie?

- Verstelleinheit liegt im Tassenstößel
- SG bestromt **Elektromagnet**, damit wird der **Tassenstößel mit Öldruck** gesteuert
- Diese bestehen aus **zwei Stößeln**, die mithilfe eines **Bolzens** gegeneinander verriegelt werden können.
- innere Stößel → kleinen Nocken

- äußere Stößel → großen Nocken
- **Stößel verriegelt** → große Ventilhub
  - Innere und äußere Stößel wird durch einen Bolzen verriegelt
- **Stößel entriegelt** → kleiner Ventilhub
  - sinkt der Öldruck, wird durch die Federkraft der Bolzen zurückgeschoben

### 3.6.1.3 Valvelift (Audi, + Zylinderabschaltung)

Wie?

- Änderung des Nockenprofils durch Verschieben der Verstelleinheit (Nockenstück) auf der NW
- SG bestromt **Elektromagnet** → **Metallstift** fährt aus **in eine Spiralnut** und verschiebt das **Nockenstück**
- damit schalte ich zwischen **zwei Nockenprofilen** um
- Arretierung des Nockenstücks erfolgt durch eine federbelastete Kugel.
- **Zylinderabschaltung** (Teillast)
  - Nockenprofil → Nockengrundkreis
  - Die Ventile bleiben bei abgeschaltetem Zylinder geschlossen.

### 3.6.2 Stufenlos variabler Ventiltrieb

Vorteile

→ Verändern von Ventilhub in allen Drehzahlbereichen

**Ziel im unteren Drehzahlbereich:** Ein zündbares Gemisch zu realisieren.

Wie?

- Durch geringe Ventilöffnung und damit Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit der Frischgase
  - »Venturi-Prinzip« eine Verengung in einem Strömungskanal
    - \* → höhere Strömungsgeschwindigkeit
    - \* → bessere Verwirbelung
    - \* → bessere Verteilung des Kraftstoff-Luftgemisches
- Drosselklappe könnte wegfallen, wird aber weiterhin verbaut

- **Wozu ist die Drosselklappe dann noch notwendig?**
  - Schaltung des AGR (Abgasrückführung)
    - \* Aufbau eines Druckgefälles/Druckdifferenz, durch Schließen der Drosselklappe wird ein Unterdruck erzeugt, was dazu führt, dass die Abgase in den Ansaugtrakt einströmen können
- Notlauf

### 3.6.2.1 Valvetronic

→ Verändern von Ventilöffnungswinkel (Hub) und Ventilöffnungsdauer (Nockenwellenverstellung)

Wie?

- SG verdreht mithilfe eines **Stellmotors** eine **Exzenterwelle** (Halbmondförmig)
- Druck des Nockens wird zunächst auf einen **Zwischenhebel** übertragen
- Der **Leerweg**, den der Zwischenhebel von der Betätigung durch den Nocken bis zur Übertragung auf das Ventil durchläuft, ist mittels einer Exzenterwelle einstellbar.
- Je größer der Leerweg, desto kleiner der Ventilhub.
- **Ventilhub** 0,3 mm und 9,85 mm

### 3.6.2.2 Elektrohydraulischer Ventiltrieb (MultiAir)

**Vorteil** Vollvariable Steuerzeiten

→ stufenlose Veränderung von Ventilhub, Ventilöffnungsdauer und die Anzahl der Ventilhübe der EV

Wie?

- auf der **Auslassnockenwelle** gibt es einen **Extranocken**, über Schlepphebel wird ein **Pumpenelement** betätigt
  - → der erzeugt einen **Öldruck**, um die **Einlassseite** zu steuern,
- **Magnetventil geschlossen** Druck wird auf den Kolben übertragen, Ventil öffnen
- **Magnetventil offen** Ventil schließen. Der Öldruck fließt in den Druckspeicher ab.
- **Vorteil Druckspeicher:** von der Nockenwelle unabhängiger Zeitpunkt, mit Öffnung eines Magnetventils (SG) ein Öldruck aus dem Druckspeicher nutzen, der das **Ventil öffnet/schließt**
- **elektrohydraulisch-pneumatisch** (Ventile unabhängig von NW betätigen, noch nicht in der Großserie)

- chinesische Hersteller Qoros und der schwedische Luxusportwagenhersteller Königsegg

### 3.6.2.3 Elektromagnetischer Ventiltrieb (noch nicht zur Serienreife geschafft)

#### Vorteile

- Vollvariable Steuerzeiten
- Anzahl der geöffneten Ventile pro Zylinder frei wählbar
- Zylinderabschaltung (ohne Gaswechselverluste möglich)
- Wegfall von Nockenwellen (Gewichtseinsparung)

#### Wie?

- Unterstützung des Elektromagneten beim schnellen Öffnen und Schließen des Ventils.
- Abbremsen des Ventils kurz vor den Endstellungen geöffnet und geschlossen
- Ventile beim abgeschalteten oder defekten Systems in halbgeöffnete Stellung bringen, um Motorschäden durch Aufsetzen der Ventile zu verhindern.

### 3.7 Lösung - Füllungsoptimierung I

1) Warum werden die herkömmlichen Serienmotoren statt mit 2 häufig mit 3 oder 4 Ventilen ausgerüstet?

Mehrventiltechnik ermöglicht eine **bessere Zylinderfüllung** durch **Vergrößerung des Ein- und Auslassquerschnittes** und **Verbesserung der Strömungsverhältnisse** im Zylinder. Dies wäre bedingt auch durch größere Ein- und Auslassventile möglich. Würde aber aufgrund der **größeren bewegten Massen** im Ventiltrieb die **Drehzahlfestigkeit** herabsetzen.

2) Warum rüstet man einen Dreiventilmotor mit 2 Zündkerzen und Doppelzündung aus?

1. Kontrollierte schneller Druckanstieg
2. Kondensierte Kraftstoffbestandteile an der Zylinderwand können durch den Verbrennungsbeginn in Zylinderwandnähe wieder vergasen und wieder an der Verbrennung teilnehmen.
  - Geringere HC-Ausstoß
3. Geringe Aufheizung des Gemisches vor der Verbrennung
  - Geringe Klopfneigung und geringe NO<sub>x</sub>-Ausstoß

3) Was versteht man unter variabler Ventilsteuerung?

Bei der variablen Ventilsteuerung werden die **Steuerzeiten** der Einlass- und in manchen Fällen auch die der AV bedarfsgerecht **in Abhängigkeit von Drehzahl und Last** verändert. Dies geschieht **durch Verdrehen der Einlass- bzw. Auslass-NW**.

4) Beschreiben Sie Aufbau und Funktion der »Vario-Cam« - Nockenwellenverstellung.

Das Vario-Cam System besteht aus einer direkt von der KW des Motors angetriebenen Auslass-NW und einer von der Auslass-NW angetriebenen Einlass-NW.

Der **Kettenspanner** der zwischen den NW liegenden Steuerkette ist in der Lage diese sowohl nach oben als auch nach unten zu spannen.

Spannt er die **Kette nach oben**, wird die **Einlass-NW gegen den UZS** (Uhrzeigersinn) in die **Verstellposition spät** gebracht.

Spannt der Kettenspanner die **Kette nach unten**, so verdreht die **Einlass-NW im UZS** (Uhrzeigersinn) in **Verstellposition früh**.

5) Welchen Vorteil bietet das VTEC-System gegenüber einem herkömmlichen Ventiltrieb?

Beim VTEC-System kommen im unteren Drehzahlbereich **spitze** und im oberen Drehzahlbereich **steilen Nocken** zum Einsatz.



Hierdurch wird gewährleistet, dass der Gaswechsel im Zylinder im **unteren Drehzahlbereich** (viel Zeit) stattfinden kann, **ohne die Beimischung von Altgas** durch zu frühes Öffnen der Einlassventile zu riskieren.

Jedoch auch im **oberen Drehzahlbereich** (wenig Zeit) mithilfe einer geänderten Nockenprofils mit längeren Ventilöffnungszeiten ein **zuverlässiger Gaswechsel** gewährleistet werden kann.

**6) Wodurch erfolgt die Umschaltung zwischen den Nockenprofilen beim Valvelift-System?**

Beim Valvelift-System wird, sobald das SG dies veranlasst, ein **Elektromagnet bestromt**, wodurch ein **Metallstift** ausfährt, der bei ablaufenden Nocken in eine dafür vorgesehene **Verstellnut** einfährt und die gesamte Verstelleinheit auf der Nockenwelle um ca. 7 mm verschiebt bis der **zweite Nocken** gerade über den Rollenschlepphebel steht.

**7) Welche Aufgabe haben die Kompressions- und Dekompressionsfedern eines elektromagnetischen Ventiltriebs?**

- **Unterstützung** des Elektromagneten **beim schnellen Öffnen und Schließen** des Ventils.
- **Abbremsen des Ventils** kurz vor den Endstellungen geöffnet und geschlossen
- Ventile beim abgeschalteten oder defekten Systems **in halbgeöffnete Stellung** bringen, um Motorschäden durch Aufsetzen der Ventile zu verhindern.



## 4 Füllungsoptimierung II

### 4.1 Wie beschreiben Sie die Dynamische Aufladung?

**Ausgangslage** Ansaugen, Volumenvergrößerung, Druckdifferenz

Die **einströmenden Frischgase** werden am geschlossenen Ventil **reflektiert** und an der bereits im Ansaugrohr stehenden Luftmasse (Außenluft) erneut reflektiert und bewegt sich wieder auf das EV zu und wenn jetzt das Ventil öffnet können die Frischgase schneller in den Zylinder einströmen, weil die **Massenträgheit** einer ruhenden Luftmasse nicht überwunden werden muss.

Wir machen uns hier die **kinetische Energie** der sich bereits **in Bewegung gesetzten Luftmasse** zunutze, sodass der Beginn des Einströmens kein Losbrechmoment der Luftmasse darstellt, sondern eine schon in sich bewegten Luftmasse/Luftsäule zu nutzen und lässt damit das **Einströmen schneller beginnen** und dadurch wird ein besserer Füllungsgrad erreicht (Frischgasanteil steigt, mehr Kraftstoff → mehr Leistung und Drehmoment).

#### 4.1.1 Schwingsaugrohr

Variante

1. **Schaltsaugrohr** einfaches umschalten zwischen
  - **lange Saugrohrlänge** und großes Sammlervolumen, große Massen (sind träge)
    - **unteren Drehzahlbereich**
    - Klappe geschlossen
  - **kurze Saugrohrlänge**, kleine Massen (sind agiler)
    - **oberen Drehzahlbereich**
    - Klappe offen
    - Gassäule kann direkt aus dem Luftsammler in Richtung EV strömen
2. **Stufenlos regelbare Sauganlage**

#### 4.1.2 Resonanzsaugrohr

Beim Resonanzsaugrohr wird nicht der Weg (Saugrohrlänge) den die Luftsäule durchlaufen muss, sondern deren Geschwindigkeit verändert. Dies erreicht man durch Drehzahl-abhängigen zu- und wegschalten einer zusätzlichen Luftmasse im Ansaugrohr.

1. Im **oberen Drehzahlbereich** ist die Luftmasse  $M_2$  durch die **Resonanzklappe** vom Saugrohr getrennt.
  - Die **bewegte Luftmasse** entspricht einer relativ **kleinen Masse**  $M_1$ .
  - Wodurch sie sehr **agil** ist und mit einer hohen Frequenz vom EV zur stehenden Außenluft zurück **reflektiert** werden kann.
2. Im **unteren Drehzahlbereich** wird die **Resonanzklappe** geöffnet und damit die **zusätzliche Luftmasse**  $M_2$  aktiviert.
  - Dadurch wird die Gesamtmasse  $M_1 + M_2$  im Saugrohr erhöht, wodurch die **Geschwindigkeit der Luftsäule** abnimmt.
  - Sodass sie die längere Zeit zwischen zwei Ventilöffnungen bei geringerer Drehzahl zur Verfügung steht, um das EV nach ihrer **Reflexion** mit der Außenluft wieder zu erreichen.

#### 4.1.3 Resonanz- und Schwingsaugrohr (keine Prüfung)

Bei einem 6-Zylinder-Reihenmotor werden die *Zylindergruppen 1, 2, 3* und *4, 5, 6* getrennt und damit hat man immer ein Ventil, was sich öffnet und in der anderen Gruppe eins, was sich schließt.

1. Im **unteren Drehzahlbereich** ist die Umschaltklappe geschlossen:
  - Bei der Befüllung der Zylinder 1, 2 und 3 wirkt der Raum vor den Zylindern 4, 5 und 6 als Resonanzraum und umgekehrt.
  - Resonanzaufladung, hier schwingen die Luftmassen von rechts nach links.
2. Im **oberen Drehzahlbereich** ist die Umschaltklappe geöffnet:
  - Die Luft wird direkt angesaugt (kurzer Ansaugweg und hohe Frequenz der Gassäule).
  - Für jeden einzelnen Zylinder lässt man diese Reflexionsphase durchlaufen.

## 4.2 Fremdaufladung

Die Frischluft wird von einem Gebläse angesaugt und vor verdichtet und mit einem Überdruck an den Motor geliefert.

### 4.2.1 Abgasturbolader

Das **Turbinenrad** wird durch den Abgasstrom (bis zu  $320.000 \text{ min}^{-1} = 5.333 \text{ s}^{-1}$ ) beschleunigt. Dieses Turbinenrad ist über eine **Welle** mit dem **Verdichterrad** verbunden, das die Frischluft ansaugt und auf bis zu  $2,2 \text{ bar}$  verdichtet und an den Motor liefert.

**Was versteht man unter Laufzeug?** Kombi von Turbinenrad, Welle und Verdichterrad.

#### 4.2.1.1 Turbolader mit Bypass für Ladedruckbegrenzung

**Warum Ladedruck begrenzen?**

- Klopfgrenze
- Mechanische Überbelastung von Bauteilen

Ladedruckbegrenzung → Ladedruckregelventil (**Wastegate**) oder Bypassklappe

#### 4.2.1.2 VTG-Lader (Variable Turbinengeometrie, meist bei Dieselmotoren)

Konstanten Ladedruck und eine konstante Drehmomentkurve über einen nahezu gesamten Drehzahlbereich.

Beim VTG-Lader sind vor dem Turbinenrad Leitschaufeln angeordnet, die den Einlassquerschnitt abhängig von der Drehzahl anpassen.

##### 1. Im unteren Drehzahlbereich

- d.h. bei einem kleinen Abgasstrom
- verstellen wir die **Leitschaufeln** so, dass der **Querschnitt** klein ist
- bei einer verhältnismäßig großen **Strömungsgeschwindigkeit**
- hier trifft der gesamte **Abgasstrom**
- auf das äußere Ende meines **Turbinenrades**, die wirksame Fläche wird größer
- großen **Hebelarm** und damit mehr Drehmoment

##### 2. Im oberen Drehzahlbereich

- verstellen wir die **Leitschaufeln** so, dass der **Querschnitt** groß ist
- hier trifft der gesamte **Abgasstrom**

- auf die Mitte meines **Turbinenrades**, die wirksame Fläche wird kleiner
- und damit haben wir den **gleichen Ladedruck** wie im unteren Drehzahlbereich

Damit der VTG-Lader auch in **Ottomotoren** eingebaut werden kann, muss darauf geachtet werden, dass die verbauten Materialien eine dementsprechende thermische Belastbarkeit aushalten kann, um eben einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Dieselmotoren haben eine geringere Abgastemperatur.

##### 4.2.1.3 Registeraufladung (Stufenaufladung)

- Mitte 90er-Jahre, Audi RS2 und Porsche
- kleiner und großer Turbolader sind in Reihe
- Regelklappen für Abgasstromseite und Frischluftseite
- Ladedruckbegrenzung → **Wastegate** (Bypassventil) stufenlose Ansteuerung über SG

##### 1. unteren Drehzahlbereich:

- Regelklappen geschlossen
- **kleiner Turbo**
  - bei einem kleinen Abgasstrom
  - kommt schneller auf Drehzahl, agiler
  - Warum? Durch geringere Massenträgheit
  - bestimmt Ladedruck
- **großer Turbo**
  - dreht schon mal mit und arbeitet als Vorverdichter für den kleinen Lader

##### 2. mittleren Drehzahlbereich:

- Regelklappen öffnen synchron
- verhindert Drossel Wirkung

##### 3. oberen Drehzahlbereich:

- Regelklappen voll offen
- **kleiner Turbo** läuft ohne Wirkung
- **großer Turbo** bei einem großen Abgasstrom, max. Fördern

Herstellernamen *Twin-Turbo* - Bezeichnung nicht geschützt!

#### 4.2.1.4 Doppelaufladung

- zwei gleich große/kleine Turbolader sind parallel im Verbund
  - Ladedruckbegrenzung → **Wastegate** geöffnet
1. **unteren Drehzahlbereich:** Turbo 1 aktiv
  2. **mittleren Drehzahlbereich:** Turbo 2 läuft an durch Öffnen eines Ventils, die vor verdichtete Luft wird zum Turbo 1 gefördert
  3. **oberen Drehzahlbereich:** beide Turbo's aktiv

Herstellernamen *Bi-Turbo* - Bezeichnung nicht geschützt!

#### 4.2.1.5 Twin-Scroll-Lader

Bei einem 4 Zylinder Motor werden die **Abgasströme** der *Zylinder 1 und 4* sowie der *Zylinder 2 und 3* in getrennten Kanälen zur Turbine geleitet.

Durch Strömung-Impulse (Tick, Tick, ... immer abwechselnd kleiner und großer Kanal) entsteht eine Impulsaufladung auf die Turbinenschaufeln.

Vorteil: keine gegenläufigen Strömungen

1. **kleiner Kanal** leitet den Abgasstrom auf die Innenflächen der Turbinenschaufeln.
  - schnelleres und sensibleres Ansprechverhalten des Laders
2. **großer Kanal** leitet den Abgasstrom auf den Rand der Turbinenschaufeln.
  - sorgt für höhere Drehzahl und Leistung des Turboladers

#### 4.2.2 Mechanische Lader

Der Antrieb erfolgt durch KW über Keilriemen.

##### 4.2.2.1 Schraubenkompressor (Roots-Lader, Kompressor)

Beim Schraubenkompressor verdichten zwei ineinander verdrillte Laderschaufeln/Rotoren die Luft Richtung Einlasskanal.

**Ladedruckregelung** erfolgt durch Bypassklappe oder Magnetkupplung (Kompressor kann entkoppelt werden, um unnötigen Kraftstoffverbrauch zu reduzieren)

**Lastwunsch** wird gesteuert durch den Fahrer über → Hauptdrosselklappe

1. **Saugbetrieb / Teillast**
  - Bypassklappe offen, Drossel frei

- Leer fördern lassen (→ d.h. Überschüssige Luft wird auf die Saugseite des Laders gefördert)
- hier herrscht Unterdruck

##### 2. Ladebetrieb / Volllast

- Bypassklappe geschlossen
- voller Ladedruck

##### 4.2.2.2 Comprex-Lader (keine Serienreife, keine Prüfung)

Besteht aus einem rotierenden Röhrenkörper, der von der Kurbelwelle angetrieben wird. Beim Comprex-Lader schiebt Abgas die Frischluft in den Ansaugtrakt. Das erfordert eine präzise Abstimmung auf die Motorsteuerung.

##### Hyprex-Lader

Der Hyprex-Lader ist eine Weiterentwicklung des Comprex-Laders. Der Röhrenkörper wird durch einen elektronisch geregelten Elektromotor angetrieben.

##### 4.2.2.3 Kombi von Turbolader und Kompressor (VW bei den Twincharger-TSI-Motoren)

Hauptvorteile verknüpfen

- **Kompressor** (im unteren Drehzahlbereich → direktes Ansprechverhalten)
- **Turbolader** (im oberen Drehzahlbereich → nahezu keine Leistungsentnahme vom Verbrennungsmotor)

##### 4.2.3 Elektrische Lader (eLader)

- Antrieb des Verdichterrads: 48 V Elektromotor
- unabhängig vom Abgasstrom und damit kein Turboloch
  - **unteren Drehzahlbereich** → elektrische Lader
  - **oberen Drehzahlbereich** → Abgasturbolader



#### 4.2.4 Warum muss ich die Ladeluft kühlen?

Was begrenzt den maximalen Ladedruck?

Klopfgrenze, **wodurch tritt eine klopfende Verbrennung ein?** Ungewollte Glühzündung, **wodurch entsteht eine Glühzündung?** Durch zu viel Druck und Hitze.

Wenn ich dem System Hitze entziehe, kann ich mit dem Ladedruck höher gehen. Meine angesaugte Luftmasse hat eine höhere Dichte, ich kann gleichzeitig mehr davon reinpacken. Dadurch ist meine Leistungsfähigkeit noch mal gestiegen.

### 4.3 Lösung - Füllungsoptimierung II

#### 1) Nennen Sie Möglichkeiten zur Leistungssteigerung eines Verbrennungsmotors.

In der mir verfügbaren Zeit möglichst viel Kraftstoff und Luft in den Zylinder zu bekommen. Dieses Kraftstoff-Luft-Gemisch wird zur Verbrennung gebracht und soll meinen Kolben effektiv nach unten treiben.

Mögliche Systeme

1. Einventiltechnik → Mehrventiltechnik
2. Saugmotor → Fremdaufladung
3. Steuerzeiten → variable Steuerzeiten (Nachladeeffekt nutzen)
4. Ventiltrieb → variable Ventiltrieb (unterschiedliche Nockenprofile und Ventilöffnungszeiten)
5. Dynamische Aufladung (Strömungsenergie der bereits bewegten Luftmasse nutzen innerhalb meines Ansaugsystems)
6. Motordrehzahl anheben → z. B. Honda (kleinen Hubraum und hohe Drehzahl)
7. Hubraum vergrößern
8. Zündung optimieren

#### 2) Definieren Sie Dynamische Aufladung und Fremdaufladung

##### a) Dynamische Aufladung

Die dynamische Aufladung erfolgt ausschließlich durch Nutzung der kinetischen Energie der Gassäule im Ansaugtrakt. Wird das EV geschlossen, kommt es zur Reflexion und an der bereits im Ansaugrohr stehenden Luftmasse (Außenluft) erneut reflektiert und bewegt sich wieder auf das EV zu. Im Idealfall soll die Gassäule wieder vor dem EV stehen, wenn diese gerade öffnet.

Erreichbar ist diese durch

1. dynamische Ansaugwege
  - lange Wege für niedrige Drehzahlen
  - kurze Wege für hohe Drehzahlen
2. Resonanzsaugrohr - durch Änderung der Luftgeschwindigkeit durch zuschaltbare Luftmassen
  - Resonanzklappe offen, zusätzliche Luftmasse aktiviert, das erhöht die Gesamtmasse im Saugrohr, wodurch die Geschwindigkeit der Luftsäule abnimmt (Massenträgheit) → für niedrige Drehzahlen

- Resonanzklappe geschlossen, die bewegte Luftmasse ist gering, sehr agil und mit hoher Frequenz vom EV zu stehenden Außenluft und zurück reflektiert  
→ für hohe Drehzahlen

#### b) Fremdaufladung

Die Frischluft wird von einem Gebläse angesaugt und vor verdichtet und mit einem Überdruck an den Motor geliefert. Füllungsgrad auf bis zu 160% erreicht werden können.

Systeme: Abgasturbolader, eLader, Kompressor

#### 3) Welche Möglichkeiten bieten Schaltsaugrohre?

Sie ermöglichen eine bedarfsgerechte Änderung der Ansaugwege. Diese Maßnahme bewirkt eine Erhöhung der Zylinderfüllung und somit eine Steigerung des Drehmoments bzw. Motorleistung. Die Laufdauer der Luftsäule ändert sich mit der Frequenz.

**Schaltsaugrohr** einfaches umschalten zwischen

- **lange Saugrohrlänge** und großes Sammlervolumen, große Massen (sind träge)
  - **unteren Drehzahlbereich**
  - Klappe geschlossen
- **kurze Saugrohrlänge**, kleine Massen (sind agiler)
  - **oberen Drehzahlbereich**
  - Klappe offen
  - Gassäule kann direkt aus dem Luftsammler in Richtung EV strömen

#### 4) Wie ist grundsätzlich die Wirkungsweise eines Abgas-Turboladers?

Das **Turbinenrad** wird durch den Abgasstrom beschleunigt. Dieses Turbinenrad ist über eine **Welle** mit dem **Verdichterrad** verbunden, das die Frischluft ansaugt und auf bis zu 2,2 bar verdichtet und an den Motor liefert.

#### 5) Was bedeutet das Kürzel VTG in Verbindung mit Fremdaufladung?

Variable Turbinengeometrie

**Beschreiben Sie das Verhalten dieses Laders in Abhängigkeit zur Drehzahl.**

$$\uparrow M \approx F \cdot \uparrow r$$

1. Bei **niedriger Drehzahl** mit geringer Abgasmenge wird durch die Leitschaufelstellung ein kleiner Eintrittsquerschnitt bemessen und der Abgasstrom auf den äußeren Rand des Turbinenrades geleitet. Hierdurch wird das Abgas beschleunigt und trifft zudem auf einen langen Hebelarm. Am Turbinenrad entsteht ein großes Moment, die Turbinendrehzahl und der Ladedruck steigen.

2. Bei **hohen Drehzahlen** mit entsprechend größere Abgasmenge wird durch die Leitschaufel ein großer Einlassquerschnitt eingestellt und der Abgasstrom relativ nah an das Zentrum des Turbinenrades geleitet. Die höhere Abgasgeschwindigkeit in Verbindung mit dem größeren Abgasvolumen kompensiert den kleinen Hebelarm am Turbinenrad. Wodurch der Ladedruck konstant bleibt.

**6) Warum werden VTG-Lader nur bei Dieselmotoren verwendet?**

Die Abgastemperatur bei Ottomotoren ist im Volllastbereich bis zu 1000 °C (im Vergleich Dieselmotor bis ca. 800 °C) zu hoch. Die Temperatur am Verstellmechanismus darf 850 °C nicht übersteigen, da dieser sonst ausfallen könnte.

*Ergänzung*, dies gilt nicht für moderne VTG-Lader mit Molybdän beschichteten Verstellmechanismus. Diese sind für den Einsatz im Ottomotor geeignet.

**7) Beschreiben Sie Aufbau und Wirkungsweise der Doppel- und Registeraufladung**

**a) Doppelaufladung**

- zwei gleich große/kleine Turbolader sind parallel im Verbund
  - Ladedruckbegrenzung → **Wastegate** geöffnet
1. **unteren Drehzahlbereich:** Turbo 1 aktiv
  2. **mittleren Drehzahlbereich:** Turbo 2 läuft an durch Öffnen eines Ventils, die vor verdichtete Luft wird zum Turbo 1 gefördert
  3. **oberen Drehzahlbereich:** beide Turbo's aktiv

**b) Registeraufladung**

- kleiner und großer Turbolader sind in Reihe
  - Regelklappen für Abgasstromseite und Frischluftseite
  - Ladedruckbegrenzung → **Wastegate** (Bypassventil) stufenlose Ansteuerung über SG
1. **unteren Drehzahlbereich:**
    - Regelklappen geschlossen
    - **kleiner Turbo**, geringe Massenträgheit
      - bei einem kleinen Abgasstrom
      - kommt schneller auf Drehzahl, agiler
      - Warum? Durch geringere Massenträgheit
      - bestimmt Ladedruck
    - **großer Turbo**
      - dreht schon mal mit und arbeitet als Vorverdichter für den kleinen Lader

2. **mittleren Drehzahlbereich:**

- Regelklappen öffnen synchron
- verhindert Drossel Wirkung

3. **oberen Drehzahlbereich:**

- Regelklappen voll offen
- **kleiner Turbo** läuft ohne Wirkung
- **großer Turbo** bei einem großen Abgasstrom, max. Fördern

8) **Welchen Vorteil erreicht man durch die Ladeluftkühlung?**

Eine bessere Zylinderfüllung durch höhere Luftdichte. Durch Senkung der Ladelufttemperatur z. B. 120 °C auf 70 °C (ca. 50 °C abkühlen) niedrige Verbrennungstemperatur, Selbstentzündungstemperatur wird später erreicht, geringere Klopfneigung und dadurch höhere Ladedrücke.

**Innere Kühlung**

1. durch die Temperatur der angesaugten Luftmasse wird das innere des Zylinders gekühlt
2. Kraftstoff wird flüssig in den Zylinder eingespritzt und fängt an, an der umgebenen Wärme gasförmig zu werden. Durch den Aggregatzustandswechsel von flüssig in gasförmig entsteht ein Druckverlust und dadurch entziehen wir der Umgebungsluft Wärme.

9) **Was versteht man unter »Downsizing«?**

Verkleinerung der Verbrennungsmotoren (Hubraum und Zylinderzahl) bei gleicher Leistung.

**Warum macht man das?** Durch Verringern des Hubraums oder wegfallen einzelne Zylinder verringern wir die Reibungsverluste und damit einen geringeren Verlust der erzeugten Leistung. Um Kraftstoff zu sparen.

10) **Wodurch ist die Leistungssteigerung durch Aufladung eines Otto-Motors begrenzt?**

Ladedruck kann nicht unbegrenzt erhöht werden. **Warum?** Durch die Klopfgrenze des Kraftstoff-Luft-Gemisches. Lädt man einen Ottomotor zu stark auf, kommt es zu einer ungewollten Kompressionszündung, der sogenannten klopfenden Verbrennung.

**Klopfgrenze, wodurch tritt eine klopfende Verbrennung ein?** Ungewollte Glühzündung, **wodurch entsteht eine Glühzündung?** Durch zu viel Druck und Hitze.

11) **Wassereinspritzung**

**Aufbau:** Wassertank, Einspritzdüsen

**Sinn?**

#### 4 Füllungsoptimierung II

- dem Brennraum die Temperatur entziehen
- dadurch Klopfneigung reduzieren
- Ladedruck erhöhen
- Leistung ausschöpfen

##### **Kompensieren der Außentemperatur** z. B. 40 °C

- durch mehr Wasser Einspritzen
- wird vom Motorsteuergerät überwacht
- Last/Drehzahl abhängig
- Ansaugluft 25 °C zusätzlich runterkühlen
- 8 % höhere Leistung und gleichzeitig 8 % Kraftstoffeinsparung

##### **Vorteil**

Die Temperaturen von → Kolbenboden, Ventile, Katalysator, Lader entlasten.

**Einspritzung - Zerstäubung** unter einem hohen Druck möglichst fein zerstäuben (Mehrlöchdüse) Tröpfchenbildung (Kugeloberfläche). Je feiner ich zerstäube, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ich einen vollständigen Verdunstungsprozess habe, der dazu führt, dass ich im Idealfall keinerlei Rußbildung erzeuge. Bei bestimmten Lastzuständen, hohen Einspritzdruck und kurzer Einspritzzeit habe ich das Problem, dass die Tröpfchengröße ansteigt und so zu einer Entstehung von Ruß kommt.

# 5 Betriebs- und Hilfsstoffe

## 5.1 Was sind Betriebsstoffe?

Sind Stoffe, die zum Betrieb des Kraftfahrzeuges nötig sind.

**Beispiele:** Kraftstoffe, Motoröl, Bremsflüssigkeit

## 5.2 Was sind Hilfsstoffe?

Sind alle Stoffe, die zum Warten, Reinigen und Pflegen von Fahrzeugen notwendig sind.

**Beispiele:** Politur, Bremsenreiniger, Scheibenreiniger

## 5.3 Scheibenwaschwasserzusatz

- **Sommer** mit Enzymen (Insektenreste besser entfernen)
- **Winter** mit Gefrierschutz

## 5.4 Woraus bestehen Kraftstoffe?

Aus einem Gemisch unterschiedlicher Kohlenwasserstoffverbindungen.

Bei ihrer Verbrennung werden Wasserstoff- und Kohlenstoffatome mit Sauerstoff zu  $H_2O$  und  $CO_2$  oxidiert. Nur ein Teil der frei werdenden Energie treibt den Motor an.

**Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors**

1. Dieselmotoren ca. 46 % und Ottomotoren ca. 35 % → Bewegungsenergie als Antriebsenergie für Motor
  2. Rest in Reibung und Wärme
- **Oktanzahl** Klopfestigkeit des Kraftstoffes
    - »Je klopfester der Kraftstoff ist, umso höher kann er eine thermische Belastung aushalten, ohne sich selbst zu entzünden.«

- **Cetanzahl** Zündwilligkeit von Dieselmotorkraftstoff (Wie stark ein Kraftstoff zur Selbstzündung neigt)
- **Zündverzögerung**  $\frac{1}{1000}$  s (eines intakten Motors ohne Verbrennungsstörung)

#### Aufbau der Kohlenwasserstoffmoleküle

1. **einfache Kettenform**, zündwillig und verbrennen leicht (nicht klopfest)
  2. **verzweigte Kettenform** (Isomere) zündunwillig (klopfest)
- **Paraffine** kettenförmiger Aufbau, wenig klopfest,
    - gasförmig – bei niedrigem Druck verflüssigtes Treibgas, Beispiel: Propan
    - flüssig – bestandteile des Benzins und Dieselmotorkraftstoffes, Beispiel: Oktan, Cetan
  - **Isoparaffine** kettenförmiger Aufbau, mit Seitenketten, verzweigt, sehr klopfest
    - Bestandteil des Dieselmotorkraftstoffes für Ottomotorkraftstoffe, Beispiel: Isooktan
  - **Aromaten** ringförmiger Aufbau, sehr klopfest, Beispiel: Benzol

### 5.5 Wo kommen die Kraftstoffe her?

1. **Erdöl** aus ca. 80 % Kohlenstoff und 12 % Wasserstoff, ca. 1–3 % Schwefel
2. **E-Fuels** Kraftstoffe aus dem CO<sub>2</sub> der Luft, klimaneutral<sup>6</sup>
  - Stromerzeuger: Windrad oder Solarenergie
  - Offshore-Windparks sind Windparks, die im Küstenvorfeld der Meere errichtet werden.
    - haben keine Speicher, Wechselspannung kann nicht gespeichert werden

### 5.6 Warum ist ein Dieselmotor effizienter als ein Ottomotor?

- Energiedichte höher
- Wirkungsgrad höher gegenüber Ottomotor
- Wärmeabführung geringer

---

<sup>6</sup><https://www.youtube.com/watch?v=qq0fjl0LQXo>



## 5.7 Herstellung von Kraftstoffen

1. Erdöl
2. Destillation (Erhitzen, Verdampfen und Kondensieren)
3. Vakuumdestillation
4. Reformieren
5. Raffinieren
6. Endparaffinierung
7. Cracken
8. Raffinat / Grundöl

### Trennverfahren

1. **Filtern** Verunreinigungen werden aus dem Rohöl entfernt
2. **Destillieren** Trennen
3. **Raffinieren** Nachbehandeln, Reinigen

### Destillieren von Rohöl

**Fraktionierende Destillation** Sammeln der Kraftstoffe nach ihren Siedebereichen

Aufteilen von Rohöl nach Siedebereichen. Das Rohöl wird in einem Röhrenofen auf ca. 360°C erhitzt und anschließend in einem Turm mit mehreren Ebenen geleitet. Die Kraftstoffdämpfe steigen nach oben und kondensieren dabei nach und nach (Temperaturabnahme). Zunächst wird Diesel von Petroleum, Schwer- und Leichtbenzin getrennt. Propan und Butan wird zu LPG (verflüssigtes Petroleum Gas) weiterverarbeitet.

Die Rohölbestandteile, die den Ofen flüssig verlassen, werden nach nochmaligen Erhitzen in einen weiteren Turm geleitet. Der Druckabfall senkt den Siedebereich der Flüssigkeiten und es wird nach dem gleichen Verfahren Öl gewonnen, zum Beispiel Motoröl. Der Rest ist Bitumen.

1. **Atmosphärische Destillation** Druck bei 1013 mbar
2. **Vakuum Destillation** Unterdruck – Siedepunkt herabsetzen

### Umwandlungsverfahren

1. **Cracken** Umwandeln
  - langkettige Kohlenwasserstoffmoleküle (schwer siedend) werden unter Wärme und Druck (oder mithilfe eines Katalysators) in kurzkettige Kohlenwasserstoffmoleküle (leicht siedend) zerteilt
  - Verfahren zur Erhöhung der Klopfestigkeit von Ottokraftstoffen

- Thermisches Cracken und katalytisches Cracken.
2. **Reformieren** Kettenförmige Paraffine aus der Destillation werden mit Katalysatoren (Platin) in klopfeste Isoparaffine und Aromate umgewandelt
  3. **Polymerisieren**, die beim Cracken und Reformieren entstandenen gasförmigen Kohlenwasserstoffe werden über Katalysatoren zu größeren Molekülen zusammengeballt, hauptsächlich zu Isoparaffinen

Katalysator **altern** vs. Beispiel Bremsbelag **verschleiß** (Reibung)

**Schwefel** giftig, schmierende Wirkung, Kraftstoff entschwefeln, Ersatzstoff gesucht und **Harz** Einspritzung verharzen (betrifft Oldtimer)

## 5.8 Ottokraftstoffe – leicht siedende Kraftstoffe

### Eigenschaften

- Gefahrenklasse A I, d.h. Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C
  - leicht und vollständig vergasen, leicht siedend
  - klopfest sein
  - rückstandsfrei verbrennen
  - keine Verunreinigung enthalten
  - hohen Heizwert
  - giftig und umweltgefährlich
1. **Flammpunkt** bedarf eine fremde Zündquelle
    - vs. **Selbstentzündungstemperatur** entzündet sich selbst (Dieselkraftstoff)
  2. **Siedeverlauf** beim Ottomotor muss der Kraftstoff leicht und vollständig vergasen, da nur gasförmiger Kraftstoff verbrannt werden kann.
  3. **Siedebereich** Verdampfen zwischen 25°C und 215°C
    - Siedepunkt: Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand
  4. **Kaltstartverhalten** Kraftstoff mit niedriger Siedekurve
  5. **Heisstartverhalten** Dampfblasenbildung im Kraftstoffsystem (zu viel Luft) Beispiel: K-Jetronic
  6. **Klopfestigkeit** geringe Neigung eines Kraftstoffes, sich unter hohen Temperaturen und Drücken selbst zu entzünden
    - Maß für die Klopfestigkeit (→ wie stark ein Kraftstoff zur Selbstzündung neigt)

- ROZ (Research-Oktanzahl)
- MOZ (Motor-Oktanzahl) → wird unter anderen Prüfbedingungen ermittelt
- Was gibt die Oktanzahl an?
  - wie viel Vol.-% Iso-Oktan sich in einem Bezugskraftstoff befinden
- Oktanzahl bestimmen
  - Beispiel: Super (ROZ 95 → 95 % Isooktan und Normalheptan 5 %)
  - Wird in einem Prüfmotor mit variablem Verdichtungsverhältnis ermittelt, in dem der Kraftstoff mit einem Referenzkraftstoff aus Normalheptan (ROZ = 0, klopfreudig) und Isooktan (ROZ = 100, klopfest) verglichen wird.

7. **Arten von Klopfbremsen** (Maßnahmen, um die Klopfestigkeit zu erhöhen)

- Zusatz von Klopfbremsen wie MTP
- Zusatz von metallfreien Klopfbremsen wie Benzol, begrenzt auf 1 Vol.-%
- Zusatz von organischen Sauerstoff-Verbindungen wie Alkohole

**Welcher Unterschied besteht zwischen Sommer- und Winter-Ottokraftstoff?**

1. **Sommerkraftstoff** neigt, aufgrund des Siedeverlaufs, bei höheren Temperaturen weniger zur Dampfblasenbildung und verursacht keine Warmstartprobleme.
2. **Winterkraftstoff** muss bei niedrigen Temperaturen eine größere Dampfmenge liefern, damit bei Kaltstart ein zündfähiges Kraftstoff-Luft-Gemisch zur Verfügung steht.

## 5.9 Bremsflüssigkeit

### Eigenschaften

- hygroskopisch
- hoher Siedepunkt
- Niedriger Stockpunkt
- giftig, greift Lacke an, nicht mit Mineralölen mischbar
- Schmierung der beweglichen Teile (Beispiel Bremszylinder)
- Mindestsiedepunkte: DOT<sub>3</sub> = 205 °C, DOT<sub>4</sub> = 230 °C, DOT<sub>5.1</sub> = 260 °C

**DOT-Normen** die festgelegten Siedepunkte reichen aus, um Dampfblasenbildung durch die beim Bremsen entstehenden Wärme zu verhindern.

»Je höher der Anteil an Wasser, desto niedriger wird der Siedepunkt.«

**Nass-Siedepunkt** ist der Siedepunkt bei 3,5 °C Wasseranteil. (nach ca. 2 Jahren erreicht)

**Tab. 5.1**

Wassergehalt	DOT <sub>3</sub>	DOT <sub>4</sub>	DOT <sub>5.1</sub>
0,8 %	200 °C	220 °C	245 °C
2 %	160 °C	190 °C	210 °C
3,5 %	140 °C	165 °C	180 °C

## 5.10 Kühlflüssigkeit

- Gemisch aus (Kalkarmen) Wasser und Gefrierschutzmittel
- Gefrierschutzmittel **Glykol** senkt die Gefriertemperatur
- Kühlflüssigkeit enthält ab Werk meist zwischen 40 % und 50 % Gefrierschutzmittel
- Standards: von VW **G11** (grün/blaugrün), **G12** (Pink), **G13** (rotviolet), sowie von BASF **Glysantin**
- G11 mit (G12 oder G13) **nicht mischbar** (Motor - »Aluverträglichkeit«)
- Messen: Refraktometer oder Messspindel (Aräometer)

### G13

1. dieselben Kühl- und Gefrierschutzeigenschaften wie G12++, wird aber aus **Glyzerin** statt aus *Glykol* hergestellt.
2. Glyzerin ist erheblich weniger umweltschädlich als Glykol.
3. hervorragende Kühleigenschaften und bietet Schutz vor Korrosion und Kalkablagerungen.

## 5.11 AdBlue

- ist eine Mischung aus 32,5 % (ca.  $\frac{1}{3}$ ) Harnstoff und Demineralisierten Wasser
- Harnstoff dient als Trägerflüssigkeit für den giftigen Ammoniak, der zur Reduktion von Stickoxiden durch das SCR-System benötigt wird.
- gefriert bei  $-11,5\text{ °C}$

**chemische Prozess** Dosierventil → Hydrolysestrecke Harnstoff → Ammoniak (Reduktionsmittel, Gefahrstoff, giftig) → SCR-Katalysator →  $\text{NO}_x$  + Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) → umgewandelt in Stickstoff + Wasser

1. **Oxidationskatalysator** (Sauerstoff wird frei), Arbeitsbereich 400 – 800 °C, ca. 350 °C »light-off-Point« (50 % Umwandlungsrate)
  - Benzin:  $\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ,  $\text{HC} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$
  - Diesel:  $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$ ,  $\text{HC} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
  - (Kohlenmonoxid in Kohlenstoffdioxid, unverbrannte Kohlenwasserstoffe in Kohlenstoffdioxid und Wasser, Stickoxide in Stickstoff und Sauerstoff)
2. **Dieselpartikelfilter** (DPF-Regeneration) ab ca. 600 °C
  - $\text{PM} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  (Partikel und Sauerstoff in Kohlenstoffdioxid)
  - Regeneration (angesammelten Partikel im Partikelfilter verbrennen, Staudruck, Differenzdrucksensor)
    - Nacheinspritzung in Verbrennungsraum: Dabei wird der Kraftstoff erst sehr spät in den Brennraum eingespritzt, wodurch die Flamme bis in den Ausstoßtakt brennt und die Abgastemperatur im Partikelfilter steigt.
    - Auspufföffnungs-Einspritzung über ein EPI-Ventils (Exhaust Port Injection) direkt in den Abgaskrümmern
3. **SCR-Katalysator** (selektive katalytische Reduktion) ab ca. 170 – 250 °C
  - Stickoxidreduktion:  $\text{NO}_x + \text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (Stickoxide und Ammoniak in Stickstoff und Wasser)
4. **NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator** wird von Schwefelbestandteilen zugesetzt und muss regeneriert werden.

Wenn der Schadstoffausstoß steigt, führt das zum Erlöschen der Betriebserlaubnis (Abgasemissionsklasse nicht mehr gültig, bedeutet **Steuerhinterziehung**)

## 5.12 Ölverdünnung oder Ölvermehrung

**ACHTUNG:** Ein zu hoher Ölstand kann ein Indiz für eine Ölverdünnung sein durch häufige Kaltstarts.

- schädlich für Motoröl und Katalysator
- beim Diesel: lange Stillstandszeiten (vgl. Biodiesel – Wasser anziehend)
- wenn Dieseldieselkraftstoff in das Motoröl gelangt

- Beispiel: DPF-Regeneration → Nacheinspritzung und den an den Kolbenringen abfließenden Kraftstoff kommt es zu Motorproblemen durch Ölverdünnung (zu hoher Ölstand, schlechte Ölqualität)

## 5.13 Kältemittel

### Anforderungen

1. geringes Treibhauspotenzial
2. nicht Ozon schädigend
3. gering bzw. nicht toxisch (giftig)
4. nicht brennbar
5. gute thermodynamischen Eigenschaften

**GWP** (Global Warming Potential, Treibhauspotenzial) gibt den Treibhauseffekt eines Stoffes im Vergleich zu Kohlendioxid an.

**Treibhauseffekt** bezeichnet die Erwärmung der Erde durch Reflektion von Wärmestrahlung in der Atmosphäre.

**R134a** (Tetrafluorethan) hat seinen Siedepunkt bei ca.  $-26\text{ °C}$  bei atmosphärischem Druck. Bei 15 bar Überdruck liegt der Siedepunkt von R134a bereits bei ca.  $55\text{ °C}$ .

- GWP-Faktor 1430

**R1234yf** (Tetrafluorpropen) verhält sich ähnlich (Siedetemperatur bei Atmosphärendruck  $-29\text{ °C}$ ).

- GWP-Faktor 4

**R744** ( $\text{CO}_2$ ) sind höhere Drücke in der Klimaanlage erforderlich.

- GWP-Faktor 1

**R12** enthält Fluorchlorkohlenwasserstoffe (**FCKW**), die in der Atmosphäre die Ozonschicht zerstören. Seit 1991 wurde daher R134a (ohne Chlorverbindungen) verwendet und 2017 meist durch R1234yf abgelöst.

**Funktionsweise des Kältemittels** bei der Änderung seines Aggregatzustands (fest, flüssig, gasförmig) kommt es zur Energieaufnahme bzw. -abgabe.

Beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand benötigt das Kältemittel Energie, die es der Umgebung in Form von Wärme entzieht. Umgekehrt gibt das Kältemittel beim Übergang vom gasförmigen in den flüssigen Zustand Wärme ab.

Als Kältemittel muss ein Stoff verwendet werden, der einen möglichst niedrigen Siedepunkt (flüssig → gasförmig) hat. Der Siedepunkt kann durch Einwirken von Druck

verschoben werden (vgl. **Dampfdruckkurve** - Siedverhalten von Flüssigkeiten. »Je höher der Druck, desto höher der Siedepunkt.«); gleichzeitig findet dadurch auch eine Eigenerwärmung statt.

**Diffusion** beschreibt einen physikalischen Prozess, bei dem sich zwei Stoffe nach und nach durchmischen, bzw. ein Stoff einen anderen durchdringt. (Beispiel: Bremsflüssigkeit, Kältemittel)

## 5.14 Biodiesel – Fatty Acid Methyl Esther (kurz: FAME)

entsteht, indem ölhaltige Erzeugnisse, wie Raps mithilfe von Ethanol oder Methanol nachbehandelt werden. Dieser Vorgang wird als »umestern« bezeichnet. Biodiesel kommt entweder als Reinkraftstoff oder als bis zu 7%ige Beimischung zum Dieselkraftstoff (sog. Petrodiesel) zum Einsatz.

### Eigenschaften von Biodiesel und Folgen für den Einsatz im Verbrennungsmotor:

1. **Umweltfreundlich** (hängt stark von der Umsetzung ab, Einsatz fossiler Energieträger reduziert und den Ausstoß von Treibhausgasen mindert.)
2. **Korrosiv** (kann zur Zersetzung führen, Beispiel: Dichtungen und Schläuchen)
3. **Reinigend** (kann Filtersysteme oder kraftstoffführende Bauteile verstopfen)
4. **Hygroskopisch** (zieht aufgrund seines Alkoholanteils Wasser an) **erhöhter Wasseranteil kann zu folgenden Erscheinungen führen**
  - Heraufsetzung des Kalter-Filter-Verstopfungs-Punkt (**CFPP**)
    - Die Wasserbestandteile stocken wesentlich früher aus, was bei Temperaturen unter 0 °C zum Verstopfen des Kraftstofffilters führen kann.
  - Übersäuerung des Kraftstoffs
    - pH-Wert kann sinken, dass Korrosionsschutzschichten angegriffen werden.
  - Förderung des Wachstums von Bakterien (**Dieselpest**)
    - Verstopfung von Filter durch Bakterienkulturen
    - Erosive Schädigung des Einspritzsystems: Die Mikroorganismen werden mit hoher Geschwindigkeit durch das Einspritzsystem gefördert und tragen dabei oberflächlich Material ab. Das kann zu Undichtigkeiten führen (Beispiel: Dichtsitz des Injektors).
  - Kavitation
    - Durch den Abfall des Siedepunkts (Diesel vs. Wasser) kann es zu Folgeerscheinungen (Beispiel: Druckabfall, Undichtigkeit) kommen.

5. **Hoher Flammpunkt** (Biodiesel vs. Diesel)

- Während Dieselkraftstoff bei betriebswarmen Motor zumindest teilweise verdampft und über die Kurbelgehäuseentlüftung abgeführt wird, bleibt der Biodiesel nahezu vollständig im Motoröl enthalten. Dies führt zu Ölverdünnung und Überfüllung.

6. **Geringer Energiegehalt** (Leistungsrückgang bzw. ein Mehrverbrauch)

7. **Biologisch abbaubar**

8. **Nahezu schwefelfrei**

- Vorteil, wenn Fahrzeug über NOx-Speicherkatalysator verfügt.

**Erosion** feine Partikel in der Luft oder in Flüssigkeiten tragen Material von der Oberfläche ab (durch Reibung oder Schleifen).

## 5.15 Bioethanol (Ottomotoren)

### Benzin

1. Super E5 (5 % Ethanol) Beimischung zum (95 % Benzin)
2. Super E10 (10 % Ethanol)
3. **E85** (85 % Ethanol) in Diskussion (vgl. Ethanol)

### Ethanol

- geringer Heizwert (hoher Verbrauch, geringe Reichweite)
- Ethanol wirkt als Lösungsmittel und kann Dichtungen angreifen
- Klopffest, steigert die Oktanzahl (ROZ<sub>104</sub>)
- *Eigenschaften*: ungiftig, regenerativ, korrosiv, hygroskopisch, bei Raumtemperatur flüssiger Alkohol

## 5.16 Gasförmige Kraftstoffe (Motoren mit Fremdzündung)

1. **Autogas** / Flüssiggas / **LPG** (Liquefied Petroleum Gas)

- Gemisch aus Propan und Butan
- Speicherung: *flüssig* bei niedrigem Druck ca. 2 – 10 bar
- Sommermischung 60 % Butan und 40 % Propan
- Wintermischung 40 % Butan und 60 % Propan



## 2. Erdgas

- Gasgemisch, Hauptbestandteil ist Methan
- Speicherung: **CNG** (Compressed Natural Gas, komprimiertes Gas) *gasförmig* bei Umgebungstemperatur und 200 bar
- Speicherung: **LNG** (Liquefied Natural Gas) *flüssig* bei  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  und 2 bar

## 3. Wasserstoff

- ideale Kraftstoff (unbegrenzte Verfügbarkeit, Energiegehalt, Verbindungseigenschaften)

**Wie wird Wasserstoff gewonnen?** Wasserstoff wird durch Elektrolyse gewonnen. Dabei wird mithilfe der elektrischen Energie Wasser in Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) zerlegt.

**Brennstoffzellen** (kalte Verbrennung) sind elektrochemische Zellen, mit denen die chemische Energie eines geeigneten Brennstoffs (Methanol) mit Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) aus der Luft ununterbrochen in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

# 5.17 Dieselkraftstoff – schwer siedende Kraftstoffe

## Eigenschaften

- Gefahrenklasse A III, d.h. Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt über  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$
- zündwillig
- schwer siedende Kraftstoffe
- gesundheitsschädlich und umweltschädlich

## Additivierung / Additive und Auswirkung

1. **Fließverbesserer** (kältefest, filtrierbar/filtergängig)
2. **Schmierfähigkeit** (Schwefelersatz)
3. **Biozide**
  - vermeiden von Bakterienwachstum (sonst wird Material der Hochdruckkomponenten abgetragen, ähnlich Sandstrahleneffekt (abgestorbene Bakterien werden mit hoher Geschwindigkeit durch das Einspritzsystem gefördert))
  - verhindern ein Verstopfen der Filtersysteme (durch hohe Anzahl von Bakterien)
4. **Zündbeschleuniger** (Cetanzahl erhöhen)

**Cetanzahl** (CZ 51 – 60) ist ein Maß für die Zündwilligkeit von Dieseldieselkraftstoff und gibt an, wie stark ein Kraftstoff zur Selbstzündung neigt. »Je höher die Cetanzahl, desto zündwilliger ist der Kraftstoff.«

**CFPP** (Cold Filter Plugging Point, Kalter-Filter-Verstopfungs-Punkt) Dieseldieselkraftstoff enthält Paraffin, das bei geringen Temperaturen kristallisiert. Die entstandenen Kristalle setzen sich in den Kraftstofffilter und verstopfen diesen. CFPP gibt die Temperatur an, dass den Filter für Kraftstoff nicht mehr durchfließen kann.

**Winterdiesel** ist Dieseldieselkraftstoff, der einen geringeren CFPP aufweist. Wird erreicht durch Zugabe von Kerosin oder Fließverbesserern. Im Winter (16.11. - 28.02) muss Dieseldieselkraftstoff bis mindestens  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  filtrierbar (Durchfließen eines Filters) sein.

Kraftstoffvorwärmung bei modernen Dieselmotoren.

**Schwefel** hat Schmierwirkung (Ausgleich durch Additive)

- Verbrennen: Schwefel und Wasser  $\rightarrow$  Säure / Übersäuren (vgl. Eigenschaften von Biodiesel)
- für NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysator sollte Schwefelanteil gering sein

## 5.18 Schmieröle

### Aufgaben

1. Schmierung von Bauteilen (Reibung und Verschleiß vermindern)
2. Kühlen (Wärme abführen)
3. Abdichten (zwischen Kolben und Zylinder)
4. Reinigen (Verschleißpartikel zum Filter transportieren)
5. Korrosionsschutz von Oberflächen
6. Geräusche dämpfen

### Merkmale von synthetischen im Vergleich zu mineralischen Grundölen

1. **Sehr hoher Viskositätsindex** (stabile Schmierung über einen großen Temperaturbereich)
2. **Gute Fließfähigkeit** (Kraftstoffeinsparung und schnelle Förderung des Öls an die Schmierstellen bei sehr niedrigen Temperaturen)
3. **Hohe Druckfestigkeit** (Schmierfilm wird auch bei starker Druckbelastung nicht unterbrochen)
4. **Gutes Schmutztrageverhalten** (Abrieb oder Verbrennungsrückstände werden im Öl in Schwebe gehalten)

5. **Sehr alterungsbeständig** (deshalb sind Langzeitölwechselintervalle bei Verbrennungsmotoren möglich)
6. **Geringe Verdampfungsverluste** (niedriger Ölverbrauch auch bei hohen thermischen Belastungen)

#### Anforderung an Motorenöle

1. Schmieren (Lager, Gleitstellen von Kolben und Zylinder)
2. Kühlen (ableiten der Wärme vom Kolben)
3. Abdichten (Zwischen Kolbenringen und Zylinderlaufbuchsen, Feinabdichtung an Radialwellendichtringe)
4. Reinigen (Aufnehmen von Verbrennungsrückständen, Abrieb, Wasser, Säuren)
5. Geräusche dämpfen
6. Hohe thermische Stabilität (geringe temperaturabhängige Viskositätsänderung)
7. Geeignet für Katalysatoren, Dieselpartikelfilter und Ladermotoren
8. geringe Verdampfungsverluste (geringer Ölverbrauch, Ölkohleablagerungen)

#### Einteilung der Motoröle / Klassifizierung

1. **SAE-Viskositätsklassen:** (Auswahl nach Temperaturbereich)
  - Einbereichsölen (Beispiel: SAE 50)
  - Mehrbereichsölen (Beispiel: SAE 0W-40)
2. Leistungsklassen:
  - **API** höhere Anforderungen
    - S-Klassen für Ottomotoren
    - C-Klassen für Dieselmotoren
  - **ACEA** (europäische Klasse) Mindestanforderungen an die Qualität
    - A-Klassen-Öle für Ottomotoren
    - B-Klassen-Öle für Pkw-Dieselmotoren
    - E-Klassen-Öle für Nfz-Dieselmotoren
  - **ILSAC** entspricht in etwa der API-Norm
    - International

**Freigabe-Vorschriften der Hersteller** unbedingt beachten, um Motorschäden oder Schäden an der Einspritzanlage zu vermeiden.

**Mehrbereichsöle** sind Schmieröle, die mehr als eine Viskositätsklasse abdecken. Beispiel: SAE 15W-40 verhält sich bei tiefen Temperaturen wie ein Öl der Klasse 15W und bei hohen Temperaturen wie ein Öl der Klasse 40. Kaltstarterleichterung und schnelle Durchölung bei niedrigen Außentemperaturen und Temperaturfestigkeit bei hohen Temperaturen.

Kaltstart und Wärmebelastbarkeit (geringe Reibung, gute Schmierfähigkeit)

**Pourpoint** (Grenzpunkttemperatur) ist die Temperatur, bei der das Öl gerade noch fließt. **Stockpunkt** gibt die Temperatur an, bei der das Öl »stockt«. Meist ist der Stockpunkt 5°C tiefer als der Pourpoint. (Beispiel: SAE 5W Stockpunkt –35°C) Dadurch ist gewährleistet, dass beim Motorstart genügend Öl zur Ölpumpe und in den Schmierölkreislauf fließt.

»Je höher die SAE-Kennzahl, desto zähflüssiger ist das Öl.«

**Was bedeutet bei der SAE-Klasse 10W-40 der Buchstabe W?**

Der Buchstabe W bedeutet Winter. »Je kleiner die Zahl vor dem W, desto fließfähiger ist das Öl in der Kälte.«

**Was sind Leichtlauföle?**

Als Leichtlauföle (z.B. 0W-30) bezeichnet man Mehrbereichsöle, die ein sehr gutes Niedrigtemperaturverhalten und bei hohen Temperaturen eine Viskosität wie ein Einbereichsöl SAE 30 bieten. Geringe Reibung bei Kaltstart.

**Warum sind bei Dieselmotoren mit Dieselpartikelfiltern spezielle Öle erforderlich?**

Um einen niedrigen Schwefel-, Asche- und Phosphorgehalt zu erreichen. Ascherückstände aus dem Öl lagern sich in den Dieselpartikelfiltern ab und verringern dessen Speicherkapazität. Da Ascherückstände selbst bei hohen Temperaturen nicht frei gebrannt werden können, kommt es zu Fehlfunktionen und letztlich zum vollständigen Ausfall des Filters.

**Viskosität** ist ein Maß für die Zähflüssigkeit von Flüssigkeiten. Öl hat eine *niedrige Viskosität*, wenn es *dünnflüssig* (fließfähiger) ist und eine *hohe Viskosität*, wenn es *dickflüssig* (zähflüssig, weniger fließfähig) ist. »Je nach Ölsorte ist die Viskosität verschieden groß, sie nimmt mit steigender Temperatur ab.«

**Nenne 3x Additive und Eigenschaften**

1. **Detergants** Reinigungszusätze (lösen Ablagerungen von Metalloberflächen Beispiel: Kolben und Ölleitungen, halten dadurch geschmierte Oberflächen sauber)
2. **Dispersants** Schlammtragende Zusätze (halten Stoffe, die beim Verbrennungsprozess entstehen, in der Schwebe und verhindern somit Ablagerungen)
3. **Verschleißschutzzusätze** (EP - Extreme Pressure) (die unter hohen Druck stehenden metallischen Gleitflächen einen übermäßigen Verschleiß verhindern, Beispiel: Zahnradflanken oder zwischen Nocken und Tassenstößel)

4. **Korrosionsschutzzusätze** (bauen auf nicht mehr Ölbenetzten Metalloberflächen wasserabweisende Schutzfilme auf, schützen vor aggressiven Verbrennungsrückständen und neutralisieren Säuren)
5. **Reibwertveränderer** (beeinflussen gezielt den Reibwert zwischen Materialpaarungen. Beispiel: erforderlich bei Synchrongetrieben, Nasskupplungen, Lamellenkupplung in Automatikgetrieben)
6. **Alterungsschutzadditive** (verhindern die Oxidation des Öls unter Einfluss von Wärme und Sauerstoff)
7. **Stockpunkterniedriger** (verbessert die Fließeigenschaften des Öls bei tiefen Temperaturen. Beispiel: verringert Motorverschleiß bei Kaltstart)
8. **Antischaum** verhindern die Schaumbildung im Öl.
9. **Viskositätsverbesserer** VI-Verbesserer (sind im kalten Zustand zusammengeknäuelte im Öl enthalten. Erwärmt sich das Öl entknäueln sie sich und nehmen ein größeres Volumen ein. Dadurch wirken sie der zunehmenden Dünnschichtigkeit des Öls bei Erwärmung entgegen und können einen belastungsfähigeren Schmierfilm aufbauen.)

#### Wodurch altert Öl?

1. Druck und Temperatur
2. Sauerstoff (O<sub>2</sub>)
3. Laufkilometer und Zeit

**Schlammablagerungen** wird durch Alterungsprodukte, Ruß, undverbrannte Kraftstoffreste, Stickoxide und Wasser verursacht. **Folge** sind Verstopfen von Ölleitungen und Ölfiltern, erzeugen von Fressschäden an Kolben und Zylinderlaufbahnen sowie Lagerschäden.

**Schaumbildung** dadurch wird der Ölfilm unterbrochen, Ölalterung beschleunigt und die Kompressibilität des Öls erhöht. **Folge** (1) Schmiereigenschaften verringert sich, dadurch sind Fressschäden möglich. (2) Ölwechselintervalle verkürzen sich (3) Störung bei der Kraftübertragung durch verringerten Druckaufbau in hydraulischen Schaltelementen

Neues Öl ist basisch (»Motor sauer fahren«).

#### Ölanalyse<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup><https://de.oelcheck.com/>

## 5.19 Getriebeöle

### Anforderungen

1. Verschleißschutz (an Zahnflanken und Lagerlaufflächen. Besonders bei Hypoidantrieben kann der Schmierfilm weg gequetscht werden, was zu erhöhtem Verschleiß führt.)
2. Unterschiedliches Reibverhalten (beim Synchronisieren muss der Ölfilm abgetragen werden können)
3. Alterungsschutz (über die gesamte Lebensdauer)
4. Dichtungsverträglichkeit

### Welche Viskositätsklassen gelten für Mehrbereichsgetriebeöle?

1. SAE 80W-90
2. SAE 75W-90 (Leichtlauf-Getriebeöl)

### Nennen Sie die Besonderheit der Getriebeöle für Hypoidachsen.

Getriebeöle für Hypoidachsen sind, um den Verschleiß gering zu halten, mit einem sehr hohen Anteil an EP-Zusätzen (Extrem Pressure, Lasttrageverhalten) versehen, die an den Metalloberflächen Schutzschichten bilden, damit der Schmierfilm zwischen den Zahnradflanken nicht weggedrückt wird.

### Welche Aufgaben/Anforderungen haben Automatikgetriebeöle?

1. Drehmomentübertragung von Pumpen- zum Turbinenrad
2. Schmieren von Lager, Planetenrädern und Freiläufe,
3. Betätigen von Lamellenkupplungen

## 5.20 Schmierfette

**Schmierfette** sind eingedickte Schmieröle. Sie bestehen aus einer Basisflüssigkeit (Mineralöl), die durch Gerüstbildner (Eindicker, bilden Struktur des Fettes) zu einer pastenartigen Masse stabilisieren.

**Konsistenz** (NLGI-Klassen) ist der Widerstand eines Fettes gegen Verformung.

- Klasse 000 – 1: **sehr weich** (Beispiel: Fließfette für Zentralschmieranlagen)
- Klasse 2 – 3: **weich** (Beispiel: Abschmierfette)
- Klasse 4 – 5: **fest** (Beispiel: Wasserpumpenfette)

**Tab. 5.2**

<b>Seifenbasis</b>	<b>Tropfpunkt in °C</b>	<b>wasserfest</b>	<b>Verwendung</b>
Kalziumseifenfett	bis 200	ja	Abschmierfett
Natriumseifenfett	120 – 250	nein	Wälzlagerfett
Lithiumseifenfett	100 – 200	ja	Mehrzweckfett

**Eigenschaften von Schmierfetten** (vgl. Tabelle)

**EP-Schmierfette** (Extreme-Pressure, hohen Drücken standhalten)

**Hochtemperaturfette** ( $> 130^{\circ}\text{C}$ )

**Tropfpunkt** ist die Temperatur, bei der unter Prüfbedingungen, der erste Tropfen des schmelzenden Schmierfettes abtropft.

## 5.21 Lösung - Betriebs- u. Hilfsstoffe

### 1) Was versteht man unter einer fraktionierenden Destillation und welche Produkte fallen dabei an?

Aufteilen von Rohöl nach Siedebereichen. Das Rohöl wird in einem Röhrenofen auf ca. 360°C erhitzt und anschließend in einem Turm mit mehreren Ebenen geleitet. Die Kraftstoffdämpfe steigen nach oben und kondensieren dabei nach und nach (Temperaturabnahme). Zunächst wird Diesel von Petroleum, Schwer- und Leichtbenzin getrennt. Propan und Butan wird zu LPG (verflüssigtes Petroleum Gas) weiterverarbeitet.

Die Rohölbestandteile, die den Ofen flüssig verlassen, werden nach nochmaligen Erhitzen in einen weiteren Turm geleitet. Der Druckabfall senkt den Siedebereich der Flüssigkeiten und es wird nach dem gleichen Verfahren Öl gewonnen, zum Beispiel Motoröl. Der Rest ist Bitumen.

### 2) Was versteht man unter Viskosität?

**Viskosität** ist ein Maß für die Zähflüssigkeit von Flüssigkeiten. Öl hat eine *niedrige Viskosität*, wenn es *dünnflüssig* (fließfähiger) ist und eine *hohe Viskosität*, wenn es *dickflüssig* (zähflüssig, weniger fließfähig) ist. »Je nach Ölsorte ist die Viskosität verschieden groß, sie nimmt mit steigender Temperatur ab.«.

### 3) Was versteht man unter Cracken und was wird dadurch erreicht? Welche Arten des Crackens gibt es?

1. langkettige Kohlenwasserstoffmoleküle (schwer siedend) werden unter Wärme und Druck (oder mithilfe eines Katalysators) in kurzkettige Kohlenwasserstoffmoleküle (leicht siedend) zerteilt
2. Verfahren zur Erhöhung der Klopfestigkeit von Ottokraftstoffen
3. Thermisches Cracken und katalytisches Cracken.

### 4) Was gibt die Cetanzahl an?

Ist ein Maß für die Zündwilligkeit von Dieseldieselkraftstoff (also wie stark ein Kraftstoff zur Selbstzündung neigt).

### 5) Welche Aufgabe haben Biozide als Additiv im Dieseldieselkraftstoff?

- vermeiden von Bakterienwachstum (sonst wird Material der Hochdruckkomponenten abgetragen, ähnlich Sandstrahleneffekt (abgestorbene Bakterien werden mit hoher Geschwindigkeit durch das Einspritzsystem gefördert))
- verhindern ein Verstopfen der Filtersysteme (durch hohe Anzahl von Bakterien)



**6) Warum dürfen moderne Dieselmotoren keinesfalls mit Ottokraftstoff betrieben werden?**

Wegen der geringen Schmierfähigkeit von Ottokraftstoff. Durch die reinigende Wirkung wird der Schmierfilm abgewaschen, sodass die Gefahr des trockenlaufens besteht. Beispiel ist der Kolben der Hochdruckpumpe vom Einspritzsystem.

**7) Was versteht man unter E10-Kraftstoff?**

Superbenzin E10 mit einer Beimischung von 10 % Bioethanol.

**8) Welche Anforderungen werden an Motoröl gestellt?**

1. Schmieren (Lager, Gleitstellen von Kolben und Zylinder)
2. Kühlen (ableiten der Wärme vom Kolben)
3. Abdichten (Zwischen Kolbenringen und Zylinderlaufbuchsen, Feinabdichtung an Radialwellendichtringe)
4. Reinigen (Aufnehmen von Verbrennungsrückständen, Abrieb, Wasser, Säuren)
5. Geräusche dämpfen
6. Hohe thermische Stabilität (geringe temperaturabhängige Viskositätsänderung)
7. Geeignet für Katalysatoren, Dieselpartikelfilter und Lademotoren
8. geringe Verdampfungsverluste (geringer Ölverbrauch, Ölkohleablagerungen)

**9) Welche Gruppen von Fetten unterscheidet man?**

**Man unterscheidet die Fette nach der Art des verwendeten Eindickers**

1. Lithiumseifen-Schmierfette
2. Natriumseifen-Schmierfette
3. Calciumseifen-Schmierfette

**10) Welche Eigenschaften hat Bremsflüssigkeit (DOT 4)?**

- hygroskopisch
- Mindestsiedepunkt 230 °C
- giftig
- greift Lacke an



## 6 Matheaufgaben

### 6.1 Druckberechnung am Pleuellager

Kolbenflächenberechnung:  $A = \frac{d^2}{4} \cdot \pi$

Kolbendurchmesser  $d = 80 \text{ mm} = 8 \text{ cm}$

$$A_{\text{Kolben}} = \frac{(80 \text{ mm})^2}{4} \cdot \pi = 5026,55 \text{ mm}^2 = 50,27 \text{ cm}^2$$

Kolbenkraftberechnung:  $\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$

$$p = \frac{F}{A} \quad p [\text{N/cm}^2] \quad F [\text{N}] \quad A [\text{cm}^2] \quad 10 \text{ N/cm}^2 = 1 \text{ bar}$$

**Verbrennungsdrücke:**

Benzin  $\rightarrow 65 \text{ bar} = 650 \text{ N/cm}^2$  Diesel  $\rightarrow 180 \text{ bar} = 1800 \text{ N/cm}^2$

$$F = p \cdot A$$

$$F_{\text{Kolben}_B} = 50,27 \text{ cm}^2 \cdot 650 \text{ N/cm}^2 = 32675,5 \text{ N}$$

$$F_{\text{Kolben}_D} = 50,27 \text{ cm}^2 \cdot 1800 \text{ N/cm}^2 = 90486 \text{ N}$$

Kreisbogenberechnung:  $A = \frac{d \cdot \pi}{2} \cdot b$

$$d_{\text{Kurbelwelle}} = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$$

$$d_{\text{Lager}} = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$A_{\text{Krb}} = \frac{6 \text{ cm} \cdot \pi}{2} \cdot 2,5 \text{ cm} = 23,56 \text{ cm}^2$$

**Druckberechnung Pleuelfuß:**

$$p_{\text{Pleuel}_{\text{Benzin}}} = \frac{F}{A} = \frac{32675,5 \text{ N}}{23,56 \text{ cm}^2} = 1386,91 \text{ N/cm}^2 = 138,69 \text{ bar}$$

$$p_{\text{Pleuel}_{\text{Diesel}}} = \frac{F}{A} = \frac{90486 \text{ N}}{23,56 \text{ cm}^2} = 3840,66 \text{ N/cm}^2 = 384,07 \text{ bar}$$

**Versorgungsdruck (Öldruck) max. 5 bar**

$$\rightarrow p_{\text{Pleuel}_{\text{Benzin}}} : 138,69 \text{ bar}$$

$$\rightarrow p_{\text{Pleuel}_{\text{Diesel}}} : 384,07 \text{ bar}$$

Vgl. Kapitel »Motormechanik / Hydrodynamischer Schmierkeil«

## 6.2 Motorberechnung - siehe Datenblatt Audi S6

Tabellenbuch (Bell, Elbl und Schüler [2] S. 32 - 33) FS (Bell, Elbl und Schüler [1] S. 32 - 37)

### Aufgabe 1a Zylinderhubraum

geg:  $V_H = 4172 \text{ cm}^3, z = 8$

ges:  $V_h$

Formel:  $V_H = V_h \cdot z \rightarrow V_h = \frac{V_H}{z}$

Lösung:  $V_h = 521,5 \text{ cm}^3$

### Aufgabe 1b Bohrung

geg:  $s = 9,3 \text{ cm}, V_h = 521,5 \text{ cm}^3$

ges:  $d$

Formel:  $V_h = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s \rightarrow d = \sqrt{\frac{V_h \cdot 4}{\pi \cdot s}}$

Lösung:  $d = 8,4497 \text{ cm} = 84,4969 \text{ mm}$

### Aufgabe 1c Verdichtungsraum

geg:  $\epsilon = 11 : 1, V_h = 521,5 \text{ cm}^3$

ges:  $V_c$

Formel:  $V_c = \frac{V_h}{\epsilon - 1}$

Lösung:  $V_c = 52,15 \text{ cm}^3$

### Aufgabe 1d Hubraumleistung in KW

geg:  $P_{eff} = 250 \text{ KW}, V_H = 4172 \text{ cm}^3 = 4,172 \text{ l}$

ges:  $P_H$

Formel:  $P_H = \frac{P_{eff}}{V_H}$

Lösung:  $P_H = 59,9233 \text{ KW/l}$

spezifische Leistung ( $\rightarrow$  Literleistung, bessere Vergleichbarkeit)

Umrechnungsfaktor 

$1 \text{ PS} = 0,735 \text{ KW}$	$1 \text{ KW} = 1,36 \text{ PS}$
-----------------------------------	----------------------------------

$\frac{81,4 \text{ PS/l}}{1,36} = 59,85 \text{ KW}$

### Aufgabe 1e

geg:  $M = 420 \text{ Nm}, n = 3400 \text{ U/min}$

ges:  $P_{eff}$

Formel:  $P_{eff} = \frac{M \cdot n}{9550}$

Lösung:  $P_{eff} = 149,5288 \text{ KW}$

**Aufgabe 1f Effektiven Kolbendruck bei maximaler Leistung**

geg:  $P_{eff} = 250 \text{ KW}$ ,  $V_H = 4,172 \text{ l}$ ,  $n = 7000 \text{ U/min}$

ges:  $p_{eff}$

Formel:  $p_{eff} = \frac{1200 \cdot P_{eff}}{V_H} \cdot n$

Lösung:  $p_{eff} = 10,2726 \text{ bar}$

**Aufgabe 1g mittlere Kolbengeschwindigkeit bei maximaler Leistung**

geg:  $s = 0,093 \text{ m}$ ,  $n = 7000 \text{ U/min}$

ges:  $v_m$

Formel:  $v_m = \frac{s \cdot n}{30}$

Lösung:  $v_m = 21,7 \text{ m/s}$

(Standard  $v_m$ : Otto = 9 – 16 m/s, Diesel = 8 – 14 m/s, zwei Nullpunkte: OT, UT)

**Aufgabe 2 Motortyp nach Art der Motorsteuerung**

- »double overhead camshaft« (dohc)
- zwei Nockenwellen über Zylinderkopf

**Aufgabe 3 Hub-Bohrung-Verhältnis**

Hub > Bohrung,  $s > d$ ,  $93 \text{ mm} > 84,5 \text{ mm}$  Langhuber

oder

$$\alpha = \frac{s}{d} = \frac{93}{84,5} = 1,1$$

$\alpha > 1$ Langhuber, $\alpha = 1$ Quadrathuber, $\alpha < 1$ Kurzhuber
---

**Aufgabe 4 elastischer Bereich**

Drehzahlbereich vom Maximalen Drehmoment zur Maximalen Leistung: 3400 – 7000 U/min

### **6.3 Druck - Volumen - Temperatur**

## Verhältnis von Druck, Volumen und Temperatur beim Verdichten

**Verdichtung**

**10 : 1**

Zustand		1	2	3
<b>V<sub>1</sub></b>		500 cm <sup>3</sup>	$\frac{500 \text{ cm}^3}{10} = 50 \text{ cm}^3$	$\frac{500 \text{ cm}^3}{10} = 50 \text{ cm}^3$
<b>p<sub>1</sub></b>		1 bar	$1 \text{ bar} * 10 = 10 \text{ bar}$	$10 \text{ bar} * 2 = 20 \text{ bar}$
<b>T<sub>1</sub></b>		293,2 K 20 °C	293,2 K	$293,15 \text{ K} * 2 = 586,3 \text{ K}$ 313,2 °C
Kolben in UT		Kolben in OT Verdichtungswärme unberücksichtigt		Kolben in OT Verdichtungswärme berücksichtigt

Verhindert man die Ausdehnung, z. B. beim Verdichten, so verdoppelt sich der Druck.

## **6.4 Motor - Hubraum - Verdichtung**



# Motor - Hubraum - Verdichtung

<b>pi</b>	=	3,14159		
<b>d</b>	=	8,5 cm	85 mm	<b>Bohrung</b>
<b>s</b>	=	9,71 cm	97,1 mm	<b>Hub</b>
<b>VH</b>	=	2204 cm <sup>3</sup>	2,204 l	
<b>Vh</b>	=	551 cm <sup>3</sup>	100 cm <sup>3</sup>	0,1 l
<b>z</b>	=	4	<b>Zylinderanzahl</b>	Otto 10 : 1
<b>ε</b>	=	16,7	:	1 Diesel 20 : 1

## Hubraum

$$V_h = (\pi \times d^2 / 4) \times s$$

Civic	2	3
551 cm <sup>3</sup>	500 cm <sup>3</sup>	500 cm <sup>3</sup>

## Gesamthubraum

$$VH = V_h \times z$$

2204 cm <sup>3</sup>	2000 cm <sup>3</sup>	2000 cm <sup>3</sup>
----------------------	----------------------	----------------------

## Verdichtungsraum

$$V_c = \frac{V_h}{\epsilon - 1}$$

35 cm <sup>3</sup>	100 cm <sup>3</sup>	50 cm <sup>3</sup>
--------------------	---------------------	--------------------

## Verdichtungsverhältnis

$$\epsilon = \frac{V_h}{V_c} + 1$$

16,7 : 1	6,0 : 1	11,0 : 1
----------	---------	----------

## Verbrennungsraum

$$V_c + V_h$$

586 cm <sup>3</sup>	600 cm <sup>3</sup>	550 cm <sup>3</sup>
---------------------	---------------------	---------------------

## OT, UT

Totpunkte, Umkehrpunkte, Kolben steht still

## Bogenlänge

$$l_b = \frac{\pi \times s \times \alpha}{360^\circ}$$

3,46 cm

## Hub

$$s = \frac{4 \times V_h}{\pi \times d^2}$$

8,81 cm



# Literaturverzeichnis

- [1] Marco Bell, Helmut Elbl und Wilhelm Schüler. *Formelsammlung Fahrzeugtechnik*. ger. 10., überarbeitete und erweiterte Auflage. Hamburg: Handwerk und Technik, 2020. ISBN: 9783582515902.
- [2] Marco Bell, Helmut Elbl und Wilhelm Schüler. *Tabellenbuch Fahrzeugtechnik*. ger. 29., völlig überarbeitete Auflage. Fahrzeugtechnik. Hamburg: Handwerk und Technik, 2021. ISBN: 9783582939579.
- [3] Marco Bell, Helmut Elbl, Wilhelm Schüler und Bell. *Technische Mathematik Fahrzeugtechnik*. ger. 5., überarbeitete Auflage. Fahrzeugtechnik. Stuttgart: Handwerk und Technik, 2016. ISBN: 9783778235409.
- [4] Monika Brand, Richard Fischer, Rolf Gscheidle, Tobias Gscheidle, Uwe Heider, Berthold Hohmann, Wolfgang Keil, Rainer Lohuis, Jochen Mann, David Renz, Bernd Schlögl und Alois Wimmer. *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik*. ger. 31., neubearbeitete Auflage, korrigierter Nachdruck. Europa-Fachbuchreihe für Kraftfahrzeugtechnik. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 2020. ISBN: 9783808523254.
- [5] Michael Respondeck. *Servicetechniker Band 1*. German. Vogel Business Media GmbH & Co. KG, 2019. ISBN: 9783834333759.
- [6] Volkert Schlüter und Ralf Deussen. *Prüfungsfragen und Antworten für das Kfz-Techniker-Handwerk*. German. 2021. ISBN: 9783834362742. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2021060315504020014374> (besucht am 3. Nov. 2021).
- [7] Gerald Schneehage. *Motormanagement Sensoren Aufbau, Funktion und Prüfung mit dem Oszilloskop*. German. Krafthand Medien GmbH, 2021. ISBN: 9783874411868.