

8 Kraftstoffe

8.1 Kraftstoffarten (siehe Bildanhang)

- feste Kraftstoffe: Kohlenstaubmotor
Hauptproblem: abrasiver Verschleiß + Schmierölverdickung
⇒ kein Serieneinsatz
- flüssige Kraftstoffe:
 - Benzine / DIESELkraftstoffe: überwiegend aus Erdöl hergestellt, aber auch pflanzliche Alternativen (→ BIODIESEL aus Raps)
 - Alkohole (z.B. Methanol, Ethanol)
- gasförmige Kraftstoffe: z.B. Erdgas, Klärgas, Deponiegas, Holzgas, Pyrolysegas

8.2 Strukturen der Kohlenwasserstoffe (siehe Bildanhang)

8.3 Gewinnung der Kraftstoffe (siehe Bildanhang)

8.4 Chemisches Verhalten der Kraftstoffe

OTTOmotoren benötigen zündunwillige Kraftstoffe, während DIESELMotoren zündwillige (τ_v klein) Kraftstoffe brauchen.

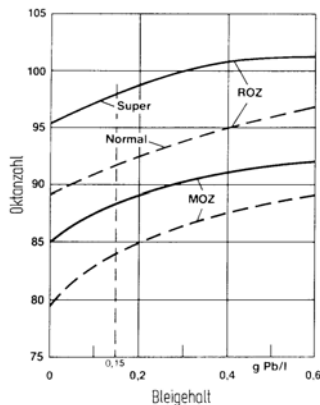
8.4.1 OTTOkraftstoffe

- Beurteilung für flüssige Kraftstoffe:
Oktanzahl (OZ) OZ hoch ⇒ kloppfest
- Referenzkraftstoffe:
n-Heptan C_7H_{16} : OZ = 0 = sehr zündwillig
i-Oktan C_8H_{18} : OZ = 100 = sehr zündunwillig
- Definition: Die Oktanzahl gibt den prozentualen Iso-Oktan-Anteil eines Iso-Oktan-n-Heptan-Gemisches an, das in einem definierten Prüfmotor unter definierten Prüfbedingungen die gleiche Klopfintensität zeigt wie der untersuchte Kraftstoff.
- Prüfmotoren: im Betrieb verstellbares ε
CFR-Motor BASF-Motor
- Prüfbedingungen des CFR-Motors (1 Zylinder, 4T, $V_H = 611 \text{ cm}^3$)

	(ROZ) Research-Methode	(MOZ) Motor-Methode
Drehzahl in min^{-1}	600 = $c_m = 2,29 \text{ m/s}$	900
ε	4 ... 10	4 ... 10
ZKP in °KW vor OT	13	26 ($\varepsilon = 5$) 14 ($\varepsilon = 10$)
Gemischvorwärmung	keine	149 °C
Luftvorwärmung	52 °C	Raumtemperatur

- Methanzahl (MZ) zur Beurteilung der Klopfestigkeit von gasförmigen Kraftstoffen (Erdgas MZ > 80, Propan MZ = 35, Deponiegas MZ > 100)

- Kraftstoffzusätze zur Erhöhung der Klopfestigkeit flüssiger OTTOkraftstoffe



Am wirksamsten sind metallorganische Verbindungen, sie zerfallen bei hohen Temperaturen und Drücken während der Verbrennung. Der Metallanteil wirkt dabei als reaktionshemmender Katalysator.

Beispiel: Bleitetraethyl $Pb(C_2H_5)_4$.

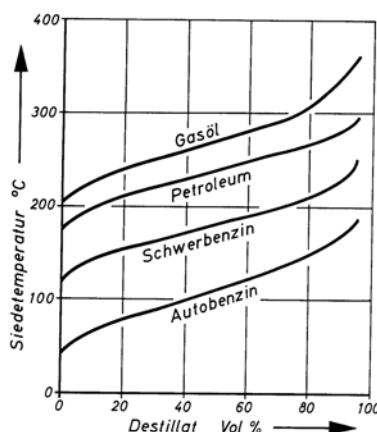
Bleifreier Kraftstoff: Bestimmte Kohlenwasserstoffverbindungen und Alkohole als klopfmindernde Zusätze

Bild 8.1: Oktanzahl-Rückgang bei vermindertem Bleigehalt

8.4.2 DIESELkraftstoffe

- Beurteilung nach Cetanzahl (CaZ) Maß für die Zündwilligkeit, $CaZ \uparrow \Rightarrow \tau_{ZV} \downarrow$
- Referenzkraftstoffe:
 - n-Hexadekan (=Cetan) $C_{16}H_{34}$: $CaZ = 100 =$ zündwillig
 - α -Methyl-Naphtalin $C_{11}H_{10}$: $CaZ = 0 =$ zündunwillig
- Definition: Die Cetanzahl entspricht dem Anteil von Cetan in einem Cetan- α -Methyl-Naphtalin-Gemisch, das denselben Zündverzug aufweist wie der untersuchte Kraftstoff.
- Prüfmotor: CFR-Motor im DIESELbetrieb (WK)
 - $7 < \varepsilon < 28$; $n = 900 \text{ min}^{-1}$; Einspritzbeginn: 13°KW vor OT
- Empirische Näherungsformel für den Zusammenhang zwischen OZ und CaZ:
 - $CaZ = 60 - 0,5 \text{ MOZ}$
 - $CaZ = 100 - \text{ROZ}$ (für $\text{ROZ} > 80$)
- Zündbeschleuniger:
 - Zusätze (Nitrate, Peroxide) zum DIESELkraftstoff, die die Zündwilligkeit erhöhen,
 - z.B.: Äthylnitrat $C_2H_5NO_3$
 - Amylnitrat $C_5H_{11}NO_3$

8.5 Physikalisches Verhalten der Kraftstoffe



Beurteilungskriterien: Siedeverlauf und Dampfdruck (DD)

Reine Stoffe haben eine definierte Siedetemperatur. Bei Destillatkraftstoffen besagt die Siedekurve, welcher Mengenanteil bei welcher Temperatur verdampft ist.

Bild 8.2: Siedekurven von Destillatkraftstoffen

8.5.1 OTTOkraftstoffe

Tabelle 8.1: DIN-Kennwerte von OTTOkraftstoffen und ihre Bedeutung

Kennwert	Normal DIN EN 228	Super DIN EN 228	SuperPlus DIN EN 228	Super verbl. DIN 51600	Einfluss auf Fahrzeugbetrieb
Klopffestigkeit (Octanzahlen)	min. 91,0 ROZ	min. 95,0 ROZ	min. 98,0 ROZ	min. 98,0 ROZ	Klopfen bei niedriger und mittlerer Drehzahl
	min. 82,5 MOZ	min. 85,0 MOZ	min. 88,0 MOZ	min. 88,0 MOZ	Klopfen bei hoher Drehzahl und hoher Last
Dichte bei 15 °C von bis	725 kg/m ³ 780 kg/m ³	725 kg/m ³ 780 kg/m ³	725 kg/m ³ 780 kg/m ³	730 kg/m ³ 780 kg/m ³	Kraftstoffverbrauch. Abgasemission
Bleigehalt	max. 0,013 g/l	max. 0,013 g/l	max. 0,013 g/l	max. 0,15 g/l min. 0,07 g/l	Ablagerungen, Katalysator
Dampfdruck nach Reid (=VP) Sommer Winter	35 – 70 kPa 55 – 90 kPa	35 – 70 kPa 55 – 90 kPa	35 – 70 kPa 55 – 90 kPa	45 – 70 kPa 60 – 90 kPa	Kaltstart, Heißstart, Verdampfungsemission
Siedeverlauf Übergang bis 70 °C (= E70) Sommer Winter	15 – 45 Vol.-% 15 – 47 Vol.-%	15 – 45 Vol.-% 15 – 47 Vol.-%	15 – 45 Vol.-% 15 – 47 Vol.-%	15 – 40 Vol.-% 20 – 45 Vol.-%	Kaltstart, Heißstart, Fahrverhalten bei heißem und kaltem Motor
Siedeverlauf Übergang bis 100 °C Sommer Winter	40 – 65 Vol.-% 43 – 70 Vol.-%	40 – 65 Vol.-% 43 – 70 Vol.-%	40 – 65 Vol.-% 43 – 70 Vol.-%	42 – 65 Vol.-% 45 – 70 Vol.-%	
Siedeende	max. 215°C	max. 215°C	max. 215°C	max. 215°C	Rückstandsbildung, Abgas, Verschleiß im Kaltbetrieb
Flüchtigkeitskennziffer VLI = 10 VP + 7 E70 Sommer Winter	max. 950 max. 1150	max. 950 max. 1150	max. 950 max. 1150	- -	Start und Fahrverhalten bei heißem Motor
Abdampfrückstand	max. 5 mg / 100 ml	max. 5 mg / 100 ml	max. 5 mg / 100 ml	max. 5 mg / 100 ml	Rückstandsbildung
Schwefel	max. 0,05 %	max. 0,05 %	max. 0,05 %	max. 0,10 %	Korrosion, Katalysator
Korrosionswirkung auf Kupfer	max. 1 (Kor.-Grad)	max. 1 (Kor.-Grad)	max. 1 (Kor.-Grad)	max. 1 (Kor.-Grad)	Korrosion
Benzol	max. 5 Vol.-%	max. 5 Vol.-%	max. 5 Vol.-%	max. 5 Vol.-%	Abgasemission
Gesamtsauerstoffgehalt	Max. 2,8 Gew.-%	Max. 2,8 Gew.-%	Max. 2,8 Gew.-%	Max. 2,8 Gew.-%	Fahrverhalten, Kraftstoffverbrauch, Abgasemission

8.5.2 DIESELkraftstoffe

Tabelle 8.2: DIN-Kennwerte von DIESELkraftstoffen und ihre Bedeutung

Kennwert	Einheit	Anforderungen nach DIN EN 590	Einfluss auf Fahrbetrieb
Dichte bei 15 °C	kg / m ³	820 – 860	Abgas / Verbrauch / Leistung
Zündwilligkeit Cetanzahl Cetanindex		min. 49 min. 46	Verbrennungsverhalten / Startverhalten / Abgas- und Geräuschemission
Siedeverlauf: Verdampfte Menge bis 250 °C bis 350 °C bis 370 °C	Vol.-% Vol.-% Vol.-%	max. 65 min. 85 min. 95	Abgas / Ablagerungsbildung
Viskosität (40 °C)	mm ² / s	2 – 4,5	Verdampfbarkeit / Schmierung
Flammpunkt	°C	min. 55	Sicherheit
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP) 15.04. – 30.09. 01.10. – 15.11. und 01.03. – 14.04. 16.11. – 29.02.	°C °C °C	max. 0 max. -10 max. -20	Betrieb bei niedrigen Temperaturen
Schwefelgehalt	Gew.-%	max. 0,05	Korrosion / „Partikel“-Emission
Koksrückstand	Gew.-%	max. 0,30	Rückstände im Brennraum
Asche	Gew.-%	max. 0,01	Rückstände im Brennraum
Wassergehalt (nach Karl Fischer)	mg / kg	max. 200	Korrosion

Tabelle 8.3: Additive für DIESELkraftstoffe

	Typ	Funktion
1.	Zündbeschleuniger	Erhöhung der Cetanzahl
2.	Oxidationsinhibitor	Vermeidung der GUM-Bildung / Verbesserung der Lagerstabilität
3.	Anti-Schaum	Verhinderung störender Schaumbildung beim Tanken
4.	Anti-Smoke	Durch katalytische Wirkung vollständigere Verbrennung von Kohlenstoffpartikeln
5.	Korrosionsschutz	Schützt gegen Korrosion im Kraftstoffsystem
6.	Detergent / Dispersant	Verminderung von Ablagerungen im Einspritzsystem
7.	Leitfähigkeitsverbesserer	Verhinderung von elektrostatischen Aufladungen
8.	Metalldeaktivatoren	Deaktivierung von Cu-Ionen, die als Oxydationskatalysatoren wirken
9.	Fließverbesserer / Anti-Settling	Verbesserung der Kältefestigkeit (Filtrierbarkeit, Wachsabsetzverhalten)
10.	Aromastoffe	Sollen spezifischen Diesel-Geruch neutralisieren / überdecken
11.	Abbreunhilfen	Reduzieren die Ruß-Abbrenntemperatur in Partikelfiltern
12.	Biozide	Vermeidung von Bakterien-Wachstum
13.	Verschleißschutz	Schmierung der Kraftstoffpumpen