

FOLE 7: BENZIN UND DIESEL – DIE KLASSISCHEN KRAFTSTOFFE CHEMIE AM AUTO

FRAKTIONIERTER DESTILLATION VON ERDÖL

ERDÖL	Leichtbenzin (20-80 °C)
	Schwerbenzin (Otto-Kraftstoff)/ Naphtha (80-170 °C)
	Petroleum/Düsentreibstoff/ Kerosin (170-250 °C)
	Mitteldestillat: Gasöl: Heizöl EL (extra leicht) und Dieselöl (230-369 °C)
Vakuumdestillation	Rückstand: Heizöl S (schwer)/ Schmieröl/Bitumen

DRUCK 600 °C

CRACKEN

DRUCK 600 °C

REFORMIEREN

AUS DER CHEMIELEHRE VERORDNUNG

- F+ Flammpunkt < 0 °C z. B. Benzin
- F Flammpunkt 0 °C bis 21 °C z. B. Ethanol
- Flammpunkt 21 °C bis 55 °C z. B. Diesel, Biodiesel, Kerosin

© Copyright 2017 reserved by Hagemann & Partner Bildungsmedien Verlagsgesellschaft mbH, Düsseldorf

Folie 7: Benzin und Diesel – die klassischen Kraftstoffe

Die klassischen Kraftstoffe werden aus Erdöl gewonnen. Bedingt durch seine Entstehung aus organischem Material unter Luftabschluss besteht Erdöl aus Kohlenwasserstoffverbindungen. Dieses Wissen und Grundkenntnisse über Alkane, Isomerie, Mehrfachbindungen und ringförmige Strukturen werden hier vorausgesetzt.

Die **Abbildung oben** gibt einen kurzen Überblick über die einzelnen Fraktionen. Benzin und Diesel sind hervorgehoben. Da Siedebereiche angegeben sind, können die Schülerinnen und Schüler schließen, dass es sich bei den Fraktionen um Gemenge handelt. Die Siedetemperaturunterschiede zwischen Benzin und Diesel zeigen, dass Diesel aus größeren, wahrscheinlich länger-kettigen Kohlenwasserstoffen besteht.

Vergleicht man die Viskosität von Benzin und Diesel, erhärtet sich die Vermutung. Diesel hat eine zehnmal höhere Viskosität als Benzin. Das bedeutet, dass die zwischenmolekularen Anziehungskräfte zwischen den größeren Dieselmolekülen höher sind als die zwischen den kleineren Benzinmolekülen.

Verfahren der Benzinherstellung

Die **Abbildungen in der Mitte** zeigen die chemischen Umwandlungen zur Anpassung des Rohbenzins an die Erfordernisse im Motor.

Abbildung Mitte links: Cracken: Der Anteil an Benzin, der durch **Destillation** aus dem Erdöl gewonnen wird, deckt in keiner Weise den weltweiten Bedarf. Deshalb gewinnt man auf chemischem Wege, durch **Cracken**, aus den zähflüssigen, hoch siedenden Rückständen weiteres Benzin.

Thermisches Cracken: Heizöl S und Bitumen werden unter Druck auf 600 °C erhitzt. Dabei entstehen niedrig siedende Benzinfraktionen und Gase. Dieses Verfahren wird zur Benzingewinnung nicht mehr angewandt, weil die Crackprodukte zu kurz-kettig,

unverzweigt und häufig ungesättigt (Olefine) sind. Zur Herstellung von Olefinen als Ausgangsprodukte für die Kunststoffindustrie wird es jedoch weiterhin durchgeführt.

Bei den Verfahren des **katalytischen Crackens** handelt es sich v. a. um das **Fluid Catalytic Cracking (FCC)**, das überwiegend zur Gewinnung von Benzin eingesetzt wird und das Hydrocracken, bei dem hochwertiges Gasöl und Kerosin entstehen.

Fluid Catalytic Cracking (FCC): Bei Temperaturen bis 500 °C werden unter Normaldruck die hoch siedenden Rückstände am Katalysator in benzintaugliche Verbindungen zerlegt. Eine ständige Regenerierung des Katalysators ist nötig, da dieser sich mit Kohlenstoff belädt.

Die Verbrennung dieses Kohlenstoffs liefert aber wieder die Energie für die Erhitzung des Schweröls. Dieses Verfahren wird überwiegend zur Benzingewinnung angewandt (Festbett-Technologie). Bei Temperaturen bis 400 °C werden unter Hochdruck (100.000-150.000 hPa) und Wasserstoffzufuhr am Katalysator die Rückstände in Cycloalkane zerlegt.

Das **Hydrocracken** ist gut geeignet zur Gewinnung von hochwertigem Gasöl und Kerosin, nicht aber von Benzin, da die hoch klopfesten Aromaten durch Wasserstoffanlagerung in weniger klopfeste Cycloalkane umgewandelt werden.

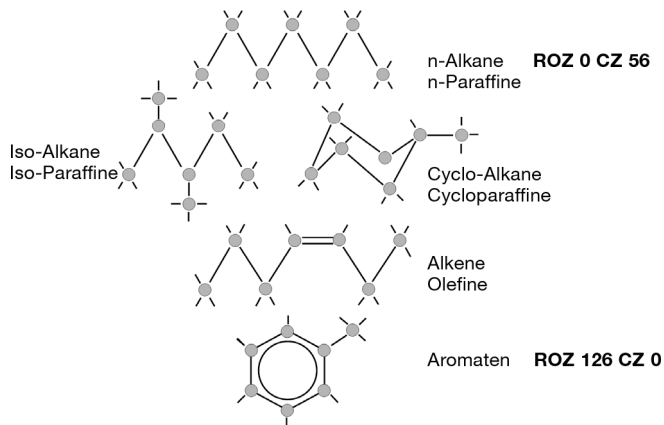
Was passiert nun eigentlich beim Cracken? Beim Cracken (**to crack**, engl. zerbrechen, aufspalten) werden langkettige Kohlenwasserstoffmoleküle in kürzere umgewandelt. Aus hoch siedenden Fraktionen entstehen niedrig siedende. Hierbei fallen größere Mengen kurz-kettige, gasige und ungesättigte Kohlenwasserstoffe an, die durch **Polymerisieren** in einem Reaktor zu überwiegend verzweigten Iso-Alkanen verbunden werden. Es entsteht sogenanntes Polymer-Benzin oder Polymerisat.

Abbildung Mitte rechts: Reformieren: Beim Reformieren entsprechen die Ausgangsverbindungen aus dem Schwerbenzin zwar im Molekulargewicht denen, die man für Otto-Kraftstoffe braucht, sie haben aber zu niedrige Oktanzahlen (oder Octanzahlen) und müssen deshalb in Kohlenwasserstoffe mit hohen Oktanzahlen, also in verzweigte und ringförmige Verbindungen, umgewandelt werden.

Dazu wird das Schwerbenzin unter erhöhtem Druck (15.000-50.000 hPa) und erhöhter Temperatur (~500 °C) in Gegenwart des Katalysators Platin zur Reaktion gebracht. Neben den klopfesteren Benzinbestandteilen fällt dabei auch Wasserstoff an.

Zusammensetzung der Kraftstoffe:

1. Otto-Kraftstoff = Benzin oder Superbenzin, Gemenge aus geraden, verzweigten und ringförmigen Kohlenwasserstoffen mit 5-9 C-Atomen.
2. Diesel-Kraftstoff = Gemenge aus geraden, verzweigten und ringförmigen Kohlenwasserstoffen mit 10- 22 C-Atomen.



Die verschiedenen Kohlenwasserstoffverbindungen in Kraftstoffen

Flammpunkt

Die **untere Abbildung** zeigt eine Einteilung brennbarer Stoffe nach der Chemikalienverordnung (EU 1272/2008 (CLP)) bezüglich ihrer Flammpunkte. So müssen Stoffe mit einem Flammpunkt unter 0 °C als hochentzündlich, Stoffe mit Flammpunkten zwischen 0 °C und 21 °C als leichtentzündlich und Stoffe mit einem Flammpunkt ab 21 °C bis 55 °C als entzündlich nach der Gefahrstoffverordnung gekennzeichnet sein und die jeweiligen R- und H-Sätze beachtet werden.

Definition: Der **Flammpunkt** eines Stoffes ist nach DIN 14011 (Juni 2010) die niedrigste Flüssigkeitstemperatur, bei der sich unter festgesetzten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdzündung entzündliches Dampf-Luft-Gemisch entsteht. Der Flammpunkt ist ausschlaggebend bei der Einstufung und Klassifizierung als Gefahrstoff. Für die Messung des Flammpunktes gibt es vier nach DIN standardisierte Methoden.

Da die Flammpunkttemperatur von Otto-Kraftstoff deutlich unter 21 °C (von -45 °C bis +10 °C) liegt, besteht an Tankstellen die Gefahr der Entzündung (höchste Gefahrklasse, Warnhinweise).

Hier kann man wieder den Zusammenhang zwischen Molekülgröße und Siedetemperatur herstellen. Benzin besteht aus kleineren Molekülen und hat eine niedrigere Siedetemperatur, wie schon aus der Erdölfraction ersichtlich. Deshalb verdunstet Benzin bei niedrigen Temperaturen, d. h. bei üblichen Außentemperaturen ist ein Luft-Benzindampf-Verhältnis erreicht, das sich leicht entzündet.

Diesel dagegen verdampft erst bei sehr viel höheren Temperaturen aufgrund seiner größeren Moleküle. Deswegen ist er erst bei höheren Temperaturen entflammbar (siehe Kopiervorlage 14: Siedetemperaturen und Flammpunkte von Kraftstoffen).

Definition: Die **Zündtemperatur** ist die Temperatur, bei der sich eine brennbare Flüssigkeit oder ein brennbares Gas nach Einbringung in ein erwärmtes

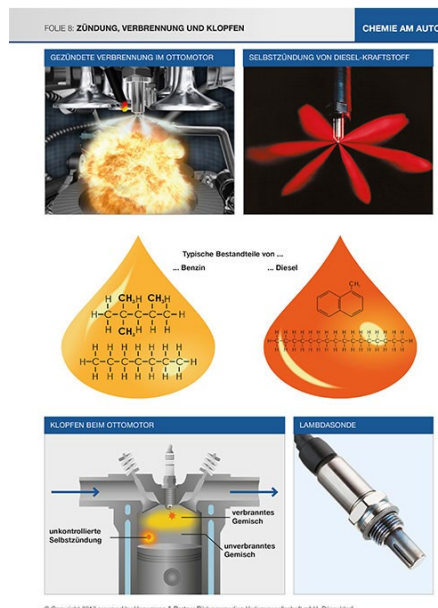
Zündgefäß entzündet. Die Zündtemperatur wird nach DIN 51794 bestimmt. Sie ist eine Kenngröße z. B. zur Festlegung der zulässigen Oberflächentemperatur von Maschinen oder elektrischen Anlagen.

Temperatur-Kenndaten in °C

Flammpunkt Otto-Kraftstoff	< - 20 °C
Flammpunkt Diesel-Kraftstoff	> 55 °C
Zündtemperatur Otto-Kraftstoff	200 °C bis 400 °C
Zündtemperatur Diesel-Kraftstoff	220 °C bis 300 °C
Verbrennungstemperatur	
Gemisch Kraftstoff/Luft	2.000 °C bis 2.500 °C

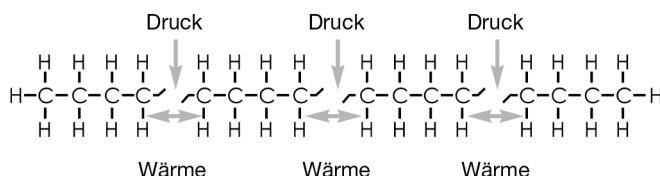
Die Zündtemperatur der Kohlenwasserstoffe sinkt im Gegensatz zum Flammpunkt mit steigender Molekülmasse, weil bei den längeren Molekülketten durch die Bewegung bei der Erwärmung die Elektronenpaarbindungen leichter aufbrechen. Hierbei entstehen Kohlenwasserstoff- und Wasserstoffradikale, die leicht mit Sauerstoff reagieren.

Die Zündtemperatur von Benzin liegt zwischen 200 und 400 °C, die von Diesel zwischen 220 und 300 °C.



Folie 8: Zündung, Verbrennung und Klopfen

Die **Abbildungen links und rechts oben** stellen die unterschiedlichen Zündvorgänge beim Ottomotor und beim Dieselmotor dar. Beim Ottomotor wird das Kraftstoff-Luftgemisch durch die Zündkerze gezündet. Beim Dieselmotor wird die Ansaugluft im Brennraum stark verdichtet. Dadurch erhitzt sie sich, sodass sich der eingespritzte Diesel-Kraftstoff darin nach möglichst kurzer Zeit (Zündverzug ~0,001 s) von selbst entzündet.



Langkettige Moleküle im Diesel zerfallen unter dem Druck und der Hitze im Brennraum in kleinere Molekülbruchstücke, die sich mit Sauerstoff verbinden.

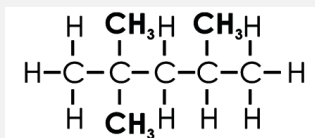
Bei ausreichender Sauerstoffzufuhr entstehen schließlich Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf (siehe auch Zündtemperatur).

Abbildungen Mitte links und rechts: Sowohl beim Otto- als auch beim Diesel-Kraftstoff spielt das Zündverhalten im Motor eine wichtige Rolle. Angegeben wird dies jeweils durch einen Kennwert. Beim Benzin ist das die ROZ (Research Oktanzahl, meist einfach Oktanzahl), beim Diesel die CZ (Cetanzahl). Die Abbildungen zeigen die Referenzverbindungen.

Klopffestigkeit von Otto-Kraftstoff
(ROZ: Research Oktanzahl)

Referenzverbindungen:

- n-Heptan: ROZ 0 → keine Klopffestigkeit
- Iso-Oktan (2,2,4 Trimethylpentan): ROZ 100 → hohe Klopffestigkeit



Ist an der Tanksäule eine Oktanzahl von 95 angegeben bedeutet das, dass sich das Gemisch wie ein Gemenge aus 95 % Iso-Oktan und 5 % Heptan verhält. Es sagt nichts über die tatsächliche Zusammensetzung des Kraftstoffes aus.

Stoffe, die die Klopffestigkeit verbessern:

- Aromaten = ringförmige, ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Beispiel Benzol) haben eine hohe Klopffestigkeit. Seit 1998 darf wegen der krebs-erzeugenden Wirkung nur noch max. 1% Benzol im Kraftstoff enthalten sein.
früher Bleialkyle: Bleitetraethyl TEL (C₂H₅)₄ Pb und Bleitetramethyl → heute verboten (unverbleites Benzin darf jedoch noch max. 0,013 g/l Blei enthalten).
- Bei zu hohem Bleigehalt im Benzin entsteht Bleistaub im Abgas, der sich an der Lambdasonde und an den aktiven Zentren des Katalysators absetzt und diese Komponenten unbrauchbar macht.
- Alkohole haben ebenfalls eine hohe Klopffestigkeit → in heutigen Otto-Kraftstoffen enthalten.
- Etha-Zusätze: MTBE (Methyl-Tertiär-Butylether)

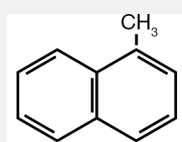
Bei Diesel-Kraftstoff ist die Zündunwilligkeit der ringförmigen Verbindungen ein Nachteil, bei Otto-Kraftstoff ein Vorteil (Klopffestigkeit). Die Qualität des Diesel-Kraftstoffes steigt also mit dem Anteil der geradkettigen Kohlenwasserstoffe, die des Otto-Kraftstoffes mit dem Anteil der verzweigten und ringförmigen Anteile.

Beim Ottomotor muss sichergestellt sein, dass der Kraftstoff ausschließlich durch die Zündkerze gezündet wird. Jede andere Zündung verschlechtert die Leistung des Motors erheblich und führt zu rascherem Verschleiß. Beim Dieselmotor soll sich der Kraftstoff selbst zünden, d. h. er muss in einem weiten Außentemperaturspektrum besonders zündwillig sein.

Zündwilligkeit von Diesel-Kraftstoff
(CZ: Cetanzahl)

Referenzverbindungen:

- Cetan = n-Hexadecan CZ 100 → hohe Zündwilligkeit
- Methylnaphthalin



- CZ 0 → niedrige Zündwilligkeit

Dieselmotor mit der Cetanzahl 51 verhält sich wie ein Gemisch aus 51 % Cetan und 49 % Methylnaphthalin. Es sagt nichts über die tatsächliche Zusammensetzung des Kraftstoffes aus.

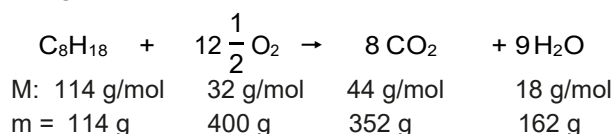
- CZ heutiger Diesel-Kraftstoffe: 51-55 (Super Diesel) („Shell V-Power“ und „Aral Ultimate“ haben fast CZ 60)
- Zündbeschleuniger erhöhen die Zündwilligkeit (0,1-1 Vol.%)

Abbildung links unten: Das Klopfen im Ottomotor entsteht (sehr vereinfacht), wenn während der gleichmäßigen Verbrennung an der Flammenfront das noch unverbrannte Gemisch unkontrolliert zu zünden beginnt. Die höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flamme, die mit diesem Vorgang einhergeht, führt zu einem schnelleren und stärkeren Druckanstieg im Zylinder und damit zu einem stärkeren Verschleiß bei verminderter Leistung. Der Begriff „Klopfen“ ist auf das im Fahrzeuginnenraum wahrnehmbare, unruhige Motorlaufgeräusch zurückzuführen, das durch die nicht vollständig kontrollierte und ungleichmäßige Verbrennung entsteht.

Kraftstoff-Luft-Gemenge

Berechnung des theoretischen Luftbedarfs am Beispiel der Verbrennung von Iso-Oktan (siehe Kopier-vorlage 15: Zündung und Verbrennung von Kraftstoffen):

Iso-Oktan + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid + Wasser



1 kg Iso-Oktan = 8,77 Mol benötigt also $(8,77 \times 400 \text{ g} =)$ **3,5 kg Sauerstoff**.

Luft enthält etwa 21 Vol.% Sauerstoff und 78 Vol.% Stickstoff. Multipliziert man diese Volumenverhältniszahlen jeweils mit der Molmasse von O_2 (32 g/mol) und N_2 (28 g/mol), so erhält man ein Gewichtsverhältnis von **Sauerstoff zu Stickstoff** in der Luft von 1 : 3,25. Die Luftmenge, die 3,5 kg Sauerstoff enthält, enthält also $(3,25 \times 3,5 =)$ 11,38 kg Stickstoff. Der theoretische **Luftbedarf für die Verbrennung von 1 kg Iso-Oktan** beträgt also $(3,5 \text{ kg} + 11,38 \text{ kg} =)$ **14,88 kg**. Bei einer Dichte der Luft von $1,2 \text{ kg/m}^3$ entspricht das $(14,88 : 1,2 =)$ **12,4 m³ Luft**.

Da man Benzin in Volumeneinheiten misst, ist es wesentlich anschaulicher den Luftbedarf von 1 Liter Iso-Oktan zu berechnen. Iso-Oktan hat die Dichte $0,69 \text{ g/cm}^3$. **1 Liter Iso-Oktan** wiegt also 0,69 kg und **benötigt** damit $(0,69 \times 12,4 \text{ m}^3 =)$ **8,6 m³ Luft**.

Bei der Verbrennung im Motor herrschen keine idealen Bedingungen, außerdem ist die Luftdichte abhängig von der Höhe und der Temperatur. Darüber hinaus haben wir hier reines Iso-Oktan als Rechenbeispiel genommen. Der tatsächliche Luftbedarf übersteigt also den hier berechneten theoretischen, sodass man gerundet sagen kann:

1 Liter Otto-Kraftstoff braucht bei der Verbrennung ungefähr den Sauerstoff von 10 m³ Luft.

Abbildung rechts unten: Der tatsächliche Luftbedarf für die Verbrennung des Kraftstoffes im Motor unter den jeweiligen Bedingungen wird durch die sogenannte **Lambdasonde** ermittelt, die den Sauerstoffgehalt der Abgase vor dem Eintritt in den Katalysator misst. Über ein Steuergerät regelt diese Messung die Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemenges, das in den Brennraum geführt wird. Der Luftbedarf im Motor errechnet sich aus dem theoretischen Luftbedarf multipliziert mit der ermittelten Luftzahl λ .

$$L_{\text{(tatsächlicher Luftbedarf)}} = \lambda \text{ (Luftzahl)} \times L_0 \text{ (theoretischer Luftbedarf)}$$

Ist der Lambdawert klein, spricht man von einem „**fetten**“ **Gemisch** (viel Kraftstoff im Verhältnis zur Luft), ist der Lambdawert groß, spricht man von einem „**mageren**“ **Gemisch** (wenig Kraftstoff im Verhältnis zur Luft). $\lambda = 1$ entspricht dem theoretischen Luftbedarf bei der Verbrennung.

Bei Verwendung magerer Kraftstoffgemische ist eine Kraftstoffeinsparung von bis zu 15 % möglich. Der λ -Wert für Ottomotoren liegt zwischen 0,85 und 1,25, der für Dieselmotoren zwischen 1,2 und 2. Welche Wirkung sich durch die Veränderung der Luftzufuhr zu einem brennbaren Stoff erzielen lässt, kann man in der Schule am leichtesten am Gasbrenner demonstrieren. Bei nicht geöffneter Luftzufuhr wird der Brennstoff unvollständig verbrannt, was man an der Entwicklung unverbrannten Kohlenstoffs leicht erkennt (Abscheidung an Magnesia-rinne), die Temperatur ist deutlich niedriger als bei geöffneter Luftzufuhr. Die nicht leuchtende Flamme ist erheblich heißer und brennt rußfrei.

Lösungen zu den Kopiervorlagen

Kopiervorlage 14: Siedetemperaturen und Flammpunkte von Kraftstoffen

- Die Anziehungskraft der Moleküle untereinander steigt, d. h. ihre Kettenlänge (Oberfläche) und ihre Molekülmasse steigen.
 - Die Fraktionen sind immer noch Gemenge von Kohlenwasserstoffen.
- Auch die Viskosität hängt mit der Molekülgröße zusammen. Wie die Siedepunkte steigt auch der Zähigkeitsgrad mit wachsender Molekülgröße wegen der steigenden zwischenmolekularen Anziehungskraft.
- Beim Cracken werden langkettige Moleküle aus dem schweren Heizöl in kürzerkettige Verbindungen gespalten, wie sie für das Benzin benötigt werden. Beim Reformieren werden geradkettige Moleküle in verzweigte oder ringförmige Moleküle umgewandelt, weil diese die Benzinqualität erhöhen. Beide Prozesse finden unter Druck bei etwa $500 \text{ }^\circ\text{C}$ an einem Katalysator statt.
- Der Flammpunkt eines Stoffes ist nach DIN 14011 (Juni 2010) die niedrigste Flüssigkeitstemperatur, bei der sich unter festgesetzten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdzündung entzündliches Dampf-Luft-Gemisch entsteht.
- Diesel bildet, aufgrund seiner höheren Siedetemperatur, erst bei höheren Temperaturen als Benzin Dampf-Luft-Gemische, die durch Funken entzündbar sind.
Die Zündtemperatur ist die Temperatur, bei der sich ein entflammbares Gemisch von selbst entzündet, ohne dass Funken von außen nötig sind.
Die Zündtemperaturen beider Kraftstoffarten liegen über $200 \text{ }^\circ\text{C}$, bei dieser Temperatur zerbrechen die langkettigen Dieselmoleküle leichter als die kürzeren Benzinmoleküle. Die entstehenden „Bruchstücke“ reagieren leichter spontan mit Sauerstoff als die Benzinbestandteile.

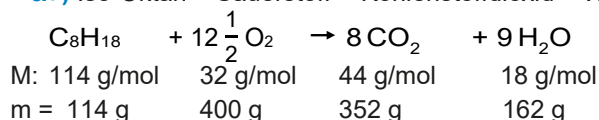
Kopiervorlage 15: Zündung und Verbrennung von Kraftstoffen

- Dieselmotoren haben keine Zündkerzen. Sie sind Selbstzünder.
- Beim Dieselmotor wird die angesaugte Luft im Brennraum stark verdichtet. Sie erhitzt sich so stark, dass die Zündtemperatur des eingespritzten Diesel-Kraftstoffs überschritten wird und er sich von selbst entzündet. Beim Ottomotor wird das Benzin-Luft-Gemisch durch den Funken der Zündkerze entflammt.
- n-Heptan und Iso-Oktan oder 2,2,4 Trimethylpentan
 - Vom Iso-Oktan leitet sich die Oktanzahl ab, die auf jeder Benzintanksäule angegeben ist (z. B. ROZ 98 für Superbenzin).
Je höher die Oktanzahl, desto größer ist die Klopf-festigkeit des Benzins.
- Unter „Klopfen“ versteht man eine Selbstzündung im Brennraum des Zylinders eines Ottomotors

neben der Zündung durch die Zündkerze. Es kommt dadurch zu einer unregelmäßigen Verbrennung unter erhöhtem Druck, die hörbare Geräusche verursacht (daher der Begriff „Klopfen“), die Motorleistung mindert und den Verschleiß erhöht.

5. Otto-Kraftstoffe enthalten viele verzweigte und ringförmige Verbindungen, da diese zündunwillig sind, also die Klopfestigkeit erhöhen. Diesel-Kraftstoffe enthalten viele länger- und geradkettige Verbindungen, die wegen ihrer Zündwilligkeit die Selbstzündung ermöglichen.

- 6.a) Iso-Oktan + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid + Wasser



- **1 kg Iso-Oktan** = 8,77 Mol **benötigen** also (8,77 x 400 g =) **3,5 kg Sauerstoff**.

- b) Die Luftmenge, die 3,5 kg Sauerstoff enthält, enthält $3,25 \times 3,5 = 11,38$ kg Stickstoff.
 $3,5 \text{ kg} + 11,38 \text{ kg} = \mathbf{14,88 \text{ kg}}$
 $14,88 \times 1,2 = 17,856 \text{ m}^3$ Luft

- c) zur Verbrennung von 1 l Iso-Oktan sind (0,69 x 12,4 m³ =) **8,6 m³** Luft nötig.

Kopiervorlage 16: Versuche zu Verbrennung und Flammpunkt

Versuch 1: Verbrennung von verschiedenen Kohlenwasserstoffen

Beobachtung: Man beobachtet eine zunehmende Rußentwicklung. Das Mengenverhältnis C : H verschiebt sich zugunsten des Kohlenstoffs:

	C	H
Pentan	1	2,4
Paraffinöl	1	2,11
Naphthalin	1	0,8

Ergebnisse: Die Kohlenwasserstoffe aus dem Erdöl unterscheiden sich stark in ihrem Kohlenstoffanteil im Verhältnis zum Wasserstoff. Je höher der Kohlenstoffanteil im Molekül, desto stärker ist die Rußentwicklung. Langkettige und besonders ringförmige Kohlenwasserstoffe haben einen hohen Kohlenstoffanteil.

Versuch 2: Flammpunkt von Benzin und Diesel (oder Heizöl)

Beobachtung: Benzin entzündet sich bei Raumtemperatur, Dieselöl muss erwärmt werden, um die Flammtemperatur zu erreichen. Bei Zimmertemperatur kann man den brennenden Holzspan sogar im Diesel löschen.

Ergebnisse: Die Flammtemperatur von Benzin ist niedriger, weil es aus Kohlenwasserstoffen mit geringerer Siedetemperatur besteht, die schneller verdampfen als die längerkettigen Moleküle des Diesels und daher bei geringerer Erwärmung zündfähige Gemische bilden.

Kopiervorlage 17: Versuche zur Zündung von Kraftstoffen

Versuch 3: Zündung durch adiabatische Kompression

Beobachtung: Das Benzin zündet mit einem heftigen Knall.

Ergebnisse: Das Gemisch entzündet sich durch den Druck ohne Funken, wie der Kraftstoff im Dieselmotor. Adiabatische Kompression = Kompression durch mechanische Arbeit, wobei die Energie im System in Wärme umgewandelt wird.

Versuch 4: Zündung eines Benzin-Luft-Gemisches

Beobachtung: Bei zu geringer Benzinmenge kommt es nicht zur Zündung. Bei einem bestimmten Mischungsverhältnis gibt es eine heftige Explosion. Bei höherer Benzindampfkonzentration beobachtet man eine langsame Verbrennung.

Ergebnisse: Die Reaktion ist am heftigsten, wenn Luft und Benzinmenge genau aufeinander abgestimmt sind (stöchiometrisches Verhältnis), wie bei Wasserstoffknallgas.

Interaktives Tafelbild: Verbrennung

Zwei Animationen zeigen die Vorgänge im Kolben eines Verbrennungsmotors bei der regulären Zündung und bei der Zündung mit Klopfen. Die Schülerinnen und Schüler entnehmen diesen Visualisierungen sowie einem einblendbaren Modaldialog zu den Oktanzahlen die wesentlichen Informationen. Sie erklären anschließend die Entstehung des Klopfens und dessen Unterschied zur regulären Zündung und gehen dabei auf die Ursachen und Auswirkungen dieses Phänomens ein.

Lösung:

Bei einer regulären Zündung wird das Benzin-Luft-Gemisch zum richtigen Zeitpunkt gezündet. Durch die exotherme Reaktion (Verbrennung) kommt es zur thermischen Ausdehnung der Verbrennungsgase und zur Vergrößerung des Volumens im Zylinder. Dadurch wirkt eine Kraft, die den Kolben nach unten drückt und die Kurbelwelle antreibt.

Das Phänomen des Klopfens entsteht, wenn das Kraftstoff-Luft-Gemisch vorzeitig durch Kompressionswärme zündet. Durch diese zusätzliche Zündung entstehen zwei Flammenfronten, die beim Aufeinandertreffen ein Klopfen verursachen. Das Abgasventil ist noch nicht geschlossen und ein Teil der Verbrennungsgase aus der vorzeitigen Zündung entweicht aus dem Zylinder. Die Kraftwirkung auf den Kolben wird dadurch verringert und der Kraftstoffverbrauch erhöht sich.