

Protokoll
zum
Experimentalvortrag:

Kraftstoffe

Referentin: Asita Djafrudi

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Informationen über Erdöl.....	2
2. Raffinerieprozesse.....	2
2.1 Fraktionierte Destillation von Rohöl.....	2
2.2 Konversionsverfahren.....	4
3. Benzin.....	5
3.1 Die Klopfestigkeit von Benzin.....	6
3.2 Kraftstoffadditive.....	7
3.3 Die Verbrennung von Kraftstoffen.....	8
4. Versuche.....	9
4.1 Destillation von Rohöl.....	9
4.2 Cracken von Paraffinöl.....	10
4.3 Qualitativer Vergleich der Zündtemperaturen verschiedener Benzinsorten.....	11
4.4 Nachweis von Blei in Benzin.....	11
4.5 Explosion eines Benzin-Luft-Gemisches.....	12
4.6 Nachweis von Kohlendioxid und Wasser im Abgas.....	13
5. Literaturverzeichnis.....	14

1. Allgemeine Informationen über Erdöl

Entstehung des Erdöls

Erdöl entstand vor ca. 10-15 Millionen Jahren aus abgestorbenen Organismen im Meer, die bakteriell unter Luftabschluß zersetzt wurden.

Proteine und Eiweiße wurden hierbei zu Kohlenwasserstoffen umgesetzt.

Eigenschaften des Erdöls

Erdöl ist eine dunkle, viskose Flüssigkeit mit einer Dichte von 0,78 - 1,0 g/ml (bei 15°).

Es setzt sich aus einem Gemisch aus Kohlenwasserstoffen zusammen, wobei die Anzahl der C-Atome in den einzelnen Molekülen zwischen 1 und 78 variiert.

Desweiteren enthält Erdöl diverse Schwefelverbindungen, die 0,1 - 7 Gew. % des Erdöls ausmachen, Stickstoffverbindungen mit 0,01 - 0,9 Gew. % und Sauerstoffverbindungen mit 0,06 - 0,4 Gew. %.

2. Raffinerieprozesse

Aus der Erde oder dem Meer gefördertes Erdöl wird weitgehend von den gasförmigen Bestandteilen befreit. Nur Propan und Butan sind oft noch enthalten.

Dieses Öl wird dann zur Raffinerie transportiert.

Erdöl, das so in den Raffinerien ankommt, bezeichnet man als Rohöl.

In Laboratorien wird es auf seine Bestandteile getestet, um über die weitere Verarbeitung entscheiden zu können.

Besonders die Dichte gibt hier wichtige Hinweise.

Die Dichte von Rohölen kann zwischen 0,801 - 1,0 g/ml betragen.

Je geringer die Dichte bzw. die Viskosität des Rohöls ist, desto mehr leichtsiedende Bestandteile besitzt es und desto höher ist die Ausbeute an Benzinfraktionen, die in der Industrie besonders gefragt sind.

Als ersten Verarbeitungsschritt wird Rohöl immer einer fraktionierten Destillation unterworfen.

2.1 Fraktionierte Destillation von Rohöl

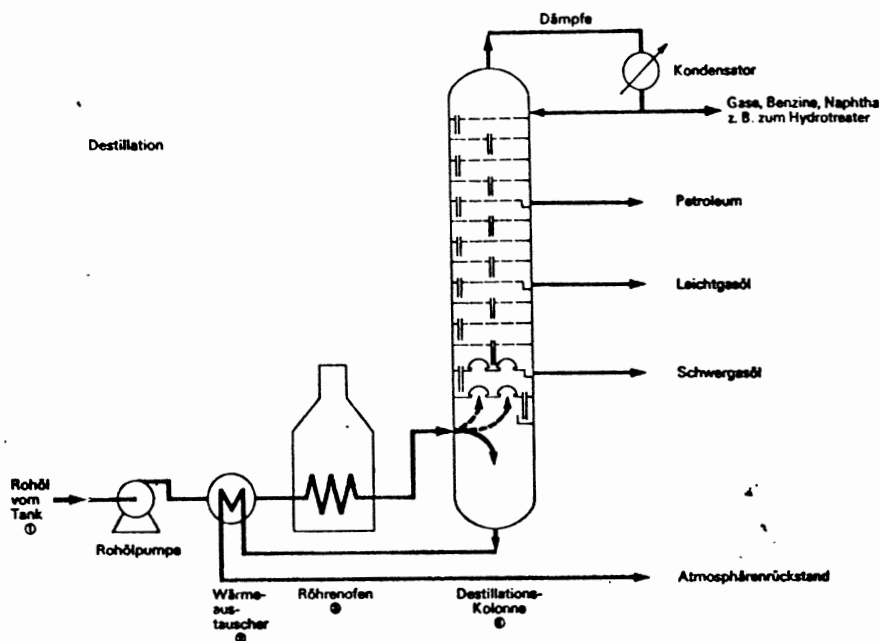
Durch die Destillation wird Rohöl in die folgenden Bestandteile fraktioniert::

Flüssiggas	(Propan, iso- und n-Butan)
Leichtbenzin	(30-100°)
Schwerbenzin	(100-180°)

Naphtha	(150-180°)
	(Nicht immer als gesonderte Fraktion, gehört sonst zu Schwerbenzin)
Petroleum	(180-250°)
Leichtgasöl	(250-350°)
Schwergasöl	(350-400°)
Rückstand	(> 400°)

Die Klammerwerte geben die Destillationstemperatur der einzelnen Fraktionen an.

Skizze einer Destillationsanlage:



Der Rückstand wird in einer Vakuumdestillation nochmal destilliert.

Man muß diese Destillation im Vakuum durchführen, da sonst ein Zersetzungsprozeß des Rückstands, der bei Temperaturen von über 400°C beginnt, einsetzt und der die Kohlenwasserstoffe bis zu Koks und Gas zersetzt.

Die Vakuumdestillation wird bei 40-70 mbar durchgeführt.

Man erhält folgende Fraktionen:

- Als Kopfprodukte: Schwergasöl
- Als Seitenströme: Leichtes Spindelöl
Schweres Spindelöl
Leichtes Maschinenöl
Schweres Maschinenöl
- Als Bodenprodukt: Bitumen oder schweres Heizöl

In der Industrie herrscht ein Überschuß an schwerem Heizöl und Nachfrage nach leichter siedenden Bestandteilen. Deshalb wurden Konversionsverfahren entwickelt, die die höher siedende Produkte in niedrig siedende Produkte umwandeln.

2.2 Konversionsverfahren

Man verwendet unterschiedliche Konversionsverfahren, die im folgenden näher vorgestellt werden sollen.

1. Thermisches Cracken

Hierzu werden meist Paraffine verwendet.

Durch Erhitzen der Paraffine auf Temperaturen von 400-450°C zerfallen diese in niedrig siedendere Bestandteile.

Ausgangsmaterial ist der Rückstand der atmosphärischen Destillation oder der Vakuumdestillation.

Als Produkte erhält man Benzine und Gasöle, die noch hydriert werden müssen, da bei der Spaltung auch Olefine entstehen.

Die Cracking erfolgt radikalisch und die gewonnene Benzine zeichnen sich durch eine relativ hohe Klopfestigkeit aus.

2. Katalytisches Cracken

Dieser Crackprozeß findet in der Gasphase bei ca. 500°C und niedrigem Druck statt.

Als Katalysatoren verwendet man Aluminiumoxid, Siliciumoxid und Zeolithe.

Das Ausgangsmaterial sind die Fraktionen mit Siedetemperaturen von 350-550°C.

Als Produkte entstehen auch hier Benzine und Gasöle, als Nebenprodukt auch Olefine, die zur Weiterverarbeitung ebenfalls hydriert werden müssen.

Die Oktanzahl der so gewonnenen Benzine liegt bei über 90.

3. Hydro-Cracken

Die Hydro-Cracking verläuft nach demselben Prinzip wie das katalytische Cracken, nur das hier in Gegenwart von Wasserstoff gearbeitet wird.

Die Cracking verläuft bei einem Druck von 150-170 bar und einer Temperatur von ca. 430°C.

Es werden bifunktionale Katalysatoren verwendet.

Auf die Katalysatoren der kat. Cracking, welche als Trägermaterial fungieren, werden Metalle wie Kobalt, Molybdän oder Wolfram aufgetragen.

Als Ausgangsmaterial wird Wachsdestillat verwendet.

Als Produkte erhält man Benzine und Gasöle oder nur Benzine.

Der verwendete Wasserstoff bewirkt ein Abfangen von Radikalen, so daß sich kürzerkettige Produkte bilden, außerdem werden die entstandenen Alkene zu Alkanen hydriert, N- und S - haltige Substanzen werden in Ammoniak und Schwefelwasserstoff überführt, die so leicht abtrennbar sind.

Das Hydro-Cracken ergibt ca. 50% Benzin als Ausbeute.

4. Katalytisches Reformieren

Dies ist das wichtigste Verfahren zur Herstellung von Ottokraftstoffen.

Es werden Kontaktkatalysatoren (Platin auf hochreiner Tonerde) verwendet und die Reaktion verläuft bei einer Temperatur von 490-540°C und einem Druck von 10-15 bar.

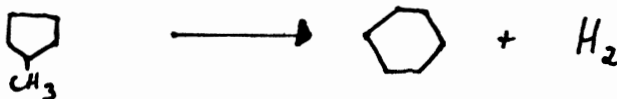
Das Ausgangsmaterial sind die Schwerbenzine.

Die Hauptreaktionen sind:

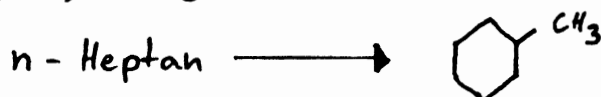
Dehydrieren von Naphthenen zu Aromaten



Isomerisierung von Paraffinen und Naphthenen

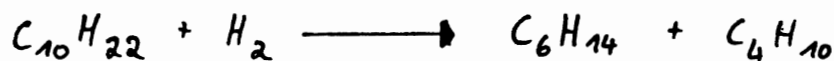


Dehydrocyclisierung



Hydrocracking

Alkane werden in Aromaten überführt (entspricht höherer OZ bis über 100)



Weitere verwendete Verfahren sind die Isomerisierung und die katalytische Polymerisierung und Alkylierung, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll.

3. Benzin

Benzin ist ein Mischprodukt.

Es enthält Alkane, Benzole, Toluol, Benzolderivate.

Die ungefähre Zusammensetzung von Normalbenzin besteht aus:

- 36 % Benzolderivate
- 12 % Toluol
- 2 % Benzol
- 50% Paraffine

3.1 Die Klopfestigkeit von Benzin

Benzin muß, um als Kraftstoff verwertbar zu sein, eine gewisse Klopfestigkeit aufweisen. Das heißt, daß es nicht zu unkontrollierten Entzündungen im Motor kommen darf.

Normalerweise verläuft eine kontrollierte Entzündung im Motor in vier Takten ab, die aus ansaugen, komprimieren, zünden und ausstoßen bestehen.

Beim sogenannten Klopfen des Motors finden im Komprimierungstakt chemische Reaktionen zwischen dem Kraftstoff und der Luft statt, die durch hohe Temperaturen begünstigt werden. Die Kohlenwasserstoffe werden aufgespalten.

Es bilden sich durch Oxidation Aldehyde und Peroxide, die viel niedrigere Entzündungstemperaturen haben und sich daher selbstverständlich auch viel eher entzünden.

Die dadurch entstehende unkontrollierte Verbrennung erzeugt ein klopfendes Geräusch, der durch die Kolben erzeugt wird.

Die Folgen sind Motorschäden durch thermische und mechanische Belastung der Kolben.

Die Klopfestigkeit ist wie folgt definiert:

Das zu untersuchendes Gemisch wird mit einer Mischung aus n-Heptan und iso-Octan verglichen.

Iso-Octan hat nach Vereinbarung die Oktanzahl (OZ) 100, n-Heptan hat OZ 0.

Hat ein Gemisch die OZ 93, dann verhält es sich also wie ein Gemisch aus 93 % iso-Octan und 7 % n-Heptan.

Die Klopfestigkeit wird in genormten Einzylindermotoren festgestellt.

Bei der Bestimmung der Klopfestigkeit wird zwischen der ROZ (Research-Octan-Zahl) und der MOZ (Motor-Octan-Zahl) unterschieden.

Die ROZ wird bei einem nicht vorgewärmten Gemisch und bei einer Drehzahl von 600 U/min bestimmt, die MOZ bei einer Gemischtemperatur von 150 °C und einer Drehzahl von 900 U/min.

Das bedeutet, daß die MOZ fast immer niedrigere Werte aufweist als die ROZ.

Die Differenz zwischen MOZ und ROZ bezeichnet man als Sensitivity, sie gibt die Temperaturempfindlichkeit der Klopfestigkeit an.

Schon 1918 wurden durch bestimmte Zusatzstoffe höhere Klopfestigkeiten erreicht.

Durch den Zusatz von Anilin stieg das Verdichtungsverhältnis von 4:1 auf 7:1 an, der Kraftstoffverbrauch sank um 40 %.

Doch schon bald wurde aus Kostengründen statt Anilin Tetraethylblei (manchmal auch Tetramethylblei) als Antiklopfmittel verwendet.

Der Einsatz dieses Stoffes ermöglichte eine Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses auf 10:1.

Der Nachteil dieses neuen Antiklopfmittels lag in seiner Toxizität.

Mitte der sechziger Jahre waren noch Bleigehalte von 0,55 g/l Kraftstoff erlaubt, welcher dadurch Oktanzahlen von ROZ = 99,5 (Super) und ROZ = 93 (Normal) erreichte.

Vor der Verbleiung lagen die OZ bei ROZ = 93,6 (Super), ROZ = 83,3 (Normal).

1972 wurde per Gesetz eine Reduzierung des Bleigehaltes auf max. 0,4 g/l erwirkt. Aufgrund dieses Gesetzes gab es einen Abfall der OZ um 1-1,5 Einheiten (Super auf 98, Normal auf 91,5).

1976 gab es eine weitere Verminderung des Bleigehaltes auf 0,15 g/l.

Erste Versuche, die Bleireduzierung auszugleichen, erfolgten durch eine verstärkte Produktion von höheren Kohlenwasserstoffen mit höherer OZ wie z.B. Isopentan.

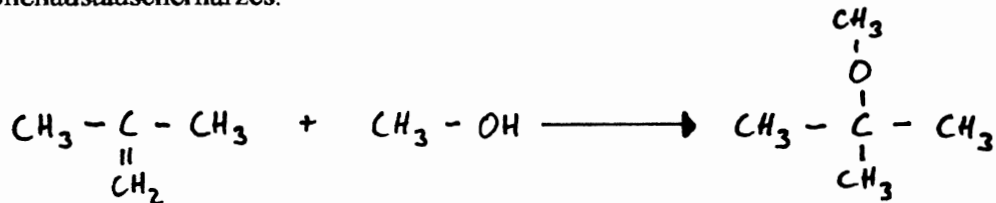
Als weitere Komponenten zur Erhöhung der OZ rücken bald aber immer mehr die sogenannten Oxigenate in den Vordergrund.

An erster Stelle MTBE (Methyl tert. butylether), daneben auch TBA (Tert.butyl-Alkohol), Methanol und Ethanol.

Durch Zusatz solcher Oxigenate konnte außerdem die Schadstoffemission verringert werden.

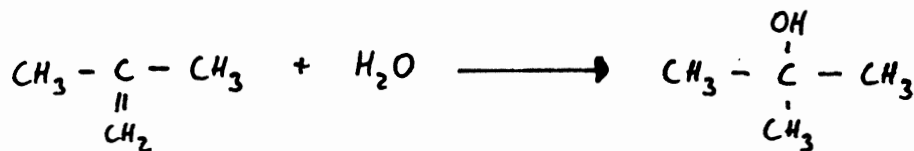
Da MTBE das wichtigste der Oxigenate ist, soll die Darstellung nun kurz beschrieben werden.

Hauptreaktion ist eine Additionsreaktion von Methanol an Isobuten in Gegenwart eines sauren Ionenaustauscherharzes.



Die Reaktion ist reversibel, exotherm und läuft in flüssiger Phase bei Temperaturen von 40-70 °C und unter Druck ab.

Als Nebenreaktion bildet sich, wenn Wasser zugegen ist, TBA.



Außer den Antiklopffmitteln werden dem Ottokraftstoff noch weitere Komponenten hinzugefügt, sogenannte Additive, die die Wirksamkeit des Kraftstoffes erhöhen.

3.2 Kraftstoffadditive

Oxidationsinhibitoren

Sie verhindern, daß die im Kraftstoff vorhandenen Olefine oxidiert werden und sich dadurch benzinschwerlösliche, klebrige Rückstände (Gum) bilden.

Die Wirksamkeit besteht darin, daß die Oxidationsinhibitoren Radikale, die die Oxidation von Olefinen begünstigen, abfangen.

Außerdem können sie im Kraftstoff vorhandene Metallspuren in Komplexen binden.

Als Substanzen verwendet man:

Aromatische Diamine und Alkylphenole.

Sie dienen zum Abfangen der Radikale.

Die Seitenketten können stabile Radikale ausbilden. Sie erfüllen also die eigentliche Funktion.

Metalldeaktivatoren wie 1,3-Bis-2-Hydroxybenzyliden.

Solche Substanzen können Chelatkomplexe bilden und so vorhandene Metallspuren binden.

Korrosionsschutzadditive

Sie dienen zur Verhinderung der Korrosion der Metallteile durch Wasser.

Die Additive belegen die Metalloberfläche mit einem monomolekularen Schutzfilm, der den Wasserangriff verhindert.

Eingesetzte Substanzen sind zum Beispiel Fettsäuren und ihre Salze.

Sie bestehen aus einem hydrophilem Ende (Carboxygruppe) und einer langen hydrophoben Kette (Alkylgruppe).

Anti-icing-Additive

Durch Benzinverdampfung wird dem Motor Wärme entzogen, was zu einer Vergaservereisung führen kann.

Zur Verhinderung werden gefrierpunktsenkende Stoffe (Alkohole wie Isopropanol, Dipropylenglykol) oder oberflächenaktive Substanzen (Fettsäuresalze) eingesetzt.

Detergentien

Sie dienen zur Reinhaltung der Vergaserrohre, sowie der Einlaßventile.

Sie entfernen Ablagerungen, die durch Zersetzungs- oder Alterungsprozesse des Kraftstoffes entstanden sind, bzw. sie verhindern diese Ablagerungen.

Eingesetzt werden hierfür Polyisobutenamine und Polyetheramine

3.3 Verbrennung von Kraftstoffen

Neben der Zusammensetzung des Kraftstoffes ist natürlich auch die Verbrennung ein wichtiges Kriterium für eine gute Motorleistung.

Eine vollständige Verbrennung mit den Produkten Kohlendioxid und Wasser würde man bei einem Verhältnis von 1 Teil Kraftstoff zu 14,5 Teilen Luft erhalten.

Allerdings werden bei der Verbrennung von Ottokraftstoffen nie vollständige Verbrennungen erreicht, so daß auch Kohlenmonoxid entsteht.

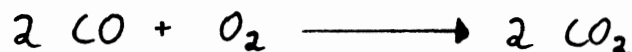
Hinzu kommen neben diesem Rückstand noch andere im Kraftstoff enthaltene Komponenten, so daß die Emissionen sich hauptsächlich aus den Schadstoffen CO, Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und andere dem Benzin zugeführten Komponenten wie Bleiverbindungen zusammensetzt.

Jährlich werden in Deutschland mehr als 8 Millionen Tonnen Schadstoffe durch Autoabgase erzeugt.

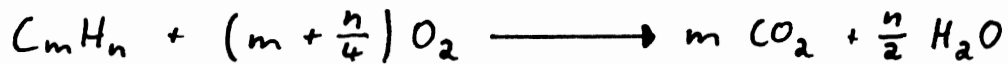
Der geregelte 3-Wege-Katalysator führt zu einer Reduktion diese Schadstoffe um bis zu 90%.

Die Hauptreaktionen am Katalysator sind:

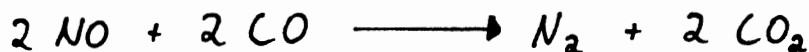
Oxidation von Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid



Verbrennung von Kohlenwasserstoffen zu Kohlendioxid und Wasser



Stickoxide werden mit Kohlenmonoxid zu Stickstoff und Kohlendioxid umgesetzt.



4. Versuche

4.1. Destillation von Rohöl

Benötigte Geräte:

250 ml Dreihalskolben
Rückflußkühler
Bunsenbrenner

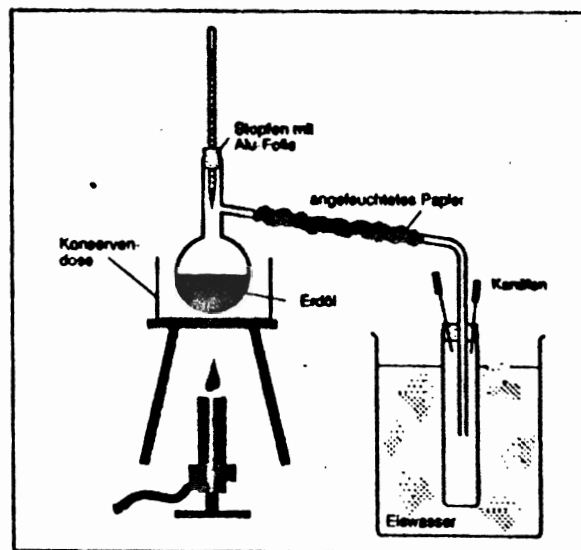
Thermometer
Ölbad
Vorlagekolben

2 Glühschuhe
Claisenbrücke
Eisbad

Benötigte Chemikalien:

Rohöl

Skizze:



Versuchsbeschreibung:

Dieser Versuch soll zeigen, daß Rohöl ein Vielstoffgemisch ist.

Er stellt mit Labormaßstäben die großindustrielle Verarbeitung von Erdöl nach. Wie in der Industrie auch soll das Rohöl in seine einzelnen Fraktionen aufgetrennt werden.

Der Dreihalskolben wird mit etwa 100 ml Erdöl gefüllt. Ziel ist es, die leichtsiedenden Fraktionen bis ca. 70 °C aufzufangen, die mittels einer Kühlfalle in den Vorlagekolben aufgefangen werden.

Als Nachweis, daß es sich bei der Fraktion wirklich um Leichtbenzin handelt, wird die Fraktion nach der Destillation in ein kleines Schälchen (Glüschuh) umgefüllt und angezündet. Während das Leichtbenzin brennbar ist, entzündet sich das Rohöl nicht.

4.2 Cracken von Paraffinölen

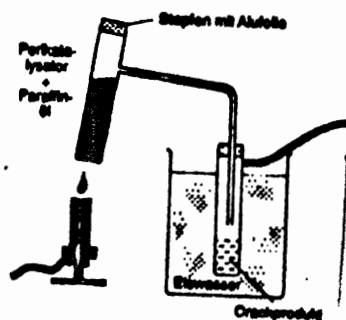
Benötigte Geräte:

2 Reagenzgläser	Standzylinder
Eisbad	Wasserbad
Blumentopf	10ml-Spritzen (zwei)

Benötigte Chemikalien:

Paraffinöl
Bromwasser

Skizze:



Versuchsbeschreibung:

Mit diesem Versuch soll gezeigt werden, daß sich höhere Kohlenwasserstoffe bei höheren Temperaturen zu niedrigeren Kohlenwasserstoffen zersetzen.

Dieses Verfahren wird in der Technik als Konversionsverfahren (thermisches Cracken) verwendet.

Die Crackung kann anhand der Brennbarkeit des Destillats nachgewiesen werden.

Ein Reagenzglas mit den Tonscherben, die als Katalysator fungieren, etwa zu $\frac{3}{4}$ füllen und 3ml Paraffinöl zugeben.

Das Reagenzglas über ein Glasrohr mit dem anderen Reagenzglas verbinden.

Die Stopfen mit Alufolie umwickeln (Sie schmelzen sonst).

Das Paraffinöl im gesamten gefüllten Bereich kräftig erhitzen und das Destillat mittels der Kühlfalle auffangen.

Der Nachweis verläuft wie in Versuch 1 durch eine Brennprobe.

4.3 Qualitativer Vergleich der Zündtemperaturen verschiedener Benzinsorten

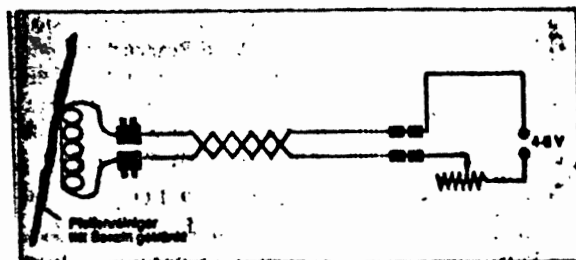
Benötigte Geräte:

Blumendraht	Gleichspannungsquelle
2 Lüsterklemmen	Pfeifenreiniger
Widerstand (100 Ohm)	Thermoelement

Benötigte Chemikalien:

Super verbleit
Normalbenzin bleifrei

Skizze:



Versuchsbeschreibung:

Die Klopfestigkeit steht in einem engen Zusammenhang mit der Entzündungstemperatur des jeweiligen Stoffes.

Sie ist ein Maß dafür, wie sehr man einen Stoff komprimieren kann, ohne daß er sich unkontrolliert entzündet. Je höher die Komprimierung, desto höher die Temperatur. Entzündet sich ein Stoff unter Normalbedingungen erst bei einer höheren Temperatur als ein anderer, wird auch seine Klopfestigkeit höher sein.

Mit diesem Versuch sollen die unterschiedlichen Oktanzahlen von Super verbleit und Benzin bleifrei qualitativ nachgewiesen werden.

Ein Blumendraht wird mit Hilfe des Widerstandes langsam (wichtig, sonst glüht er durch) zum Glühen gebracht. Das Thermoelement dient zur Kontrolle der Temperatur.

Durch Experimentieren muß die Entzündungstemperatur von den beiden Benzinsorten herausgefunden werden. Hierzu tränkt man einen Pfeifenreiniger mit der entsprechenden Benzinsorte und bringt diesen kurz an den glühenden Blumendraht.

Die Entzündungstemperatur wird festgehalten.

4. Nachweis von Blei in Benzin

Benötigte Geräte:

2 Reagenzgläser

Benötigte Chemikalien:

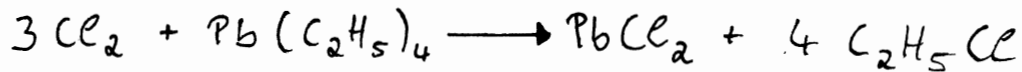
Verbleites Benzin	Konzentrierte Salzsäure
Unverbleites Benzin	Kaliumpermanganat

Versuchsbeschreibung:

In die Reagenzgläser wird je eine Spatelspitze Kaliumpermanganat, sowie 2ml verbleites, bzw. unverbleites Benzin gegeben.

Man setzt 5 Tropfen HCl hinzu (unter dem Abzug arbeiten, da Chlor entsteht).

Reaktionsgleichungen:



Das aus der Reaktion der Salzsäure mit dem Kaliumpermanganat entstehende Chlor wandelt das Tetraethylblei in Bleichlorid um, welches in Benzin unlöslich ist und so als Trübung erkennbar ist.

5. Explosion eines Benzin-Luft-Gemisches

Benötigte Materialien:

Enghals-Kunststoffflasche (500ml)

2 Lüsterklemmen

Blumendraht

Abdichtung (Zwei-Komponenten-Kleber)

Gleichspannungsquelle

2 Verbindungsdrähte

Kupferdraht mit Isolierung

Durchbohrter Stopfen (groß)

Glasrohr

Pipette

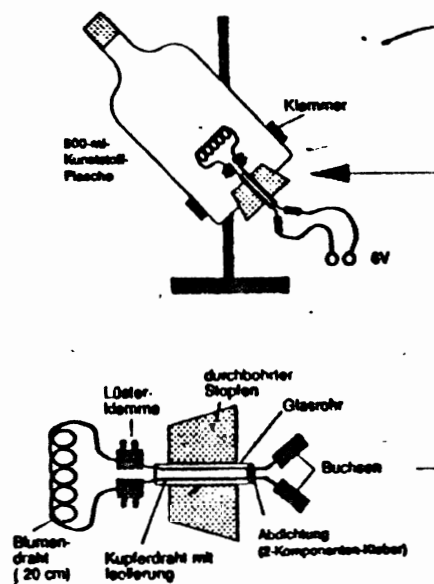
2 Krokodilklemmen

Korkstopfen

Benötigte Chemikalien:

Benzin

Skizze:



Versuchsbeschreibung:

In diesem Versuch soll demonstriert werden, wie explosiv eine Mischung aus Benzin und Luft sein kann. Diese Explosionskraft wird im Motor zur Gewinnung von Bewegungsenergie genutzt.

Mit Hilfe der allgemeinen Gasgleichung und der Verbrennungsgleichung von Benzin kann man die optimale Menge Benzin errechnen, die man für die Verbrennung in der Flasche benötigt. (Also 0,0544 ml Octan auf die 100ml Luft, die sich in der Flasche befinden.)

0,0544 ml Benzin, also etwa drei Tropfen, werden in die nach der Skizze vorbereitete Kunststoffflasche gegeben.

Man verschließt die Flasche mit dem Korkstopfen und schüttelt sie, bis das Benzin verdampft ist und sich gleichmäßig in der Flasche verteilt hat.

Die Flasche wird an einer Stativstange befestigt. Nun bringt man die Glühwendel mit Hilfe der Gleichstromquelle langsam zum Glühen. Es folgt eine kleine Explosion und der Korkstopfen wird weggeschleudert.

6. Nachweis von Kohlendioxid und Wasser im Abgas

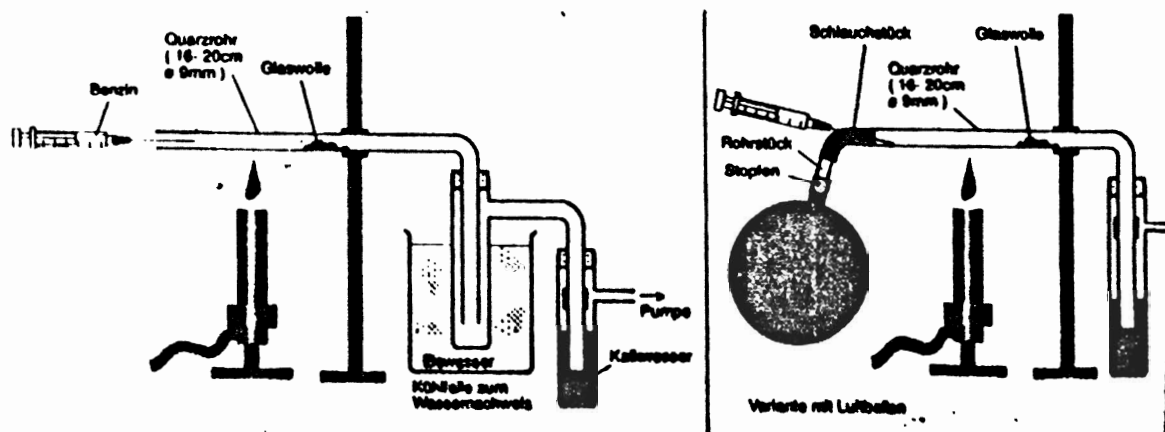
Benötigte Materialien:

Quarzrohr (16-20cm, 9mm Durchmesser)	1 ml Spritze
2 Reagenzglas mit Ansatz	Luftballon
Quetschhahn	Luftpumpe
Eisbad	

Benötigte Chemikalien:

Benzin	Wasserfreies Kupfersulfat
Kalkwasser	Glaswolle

Skizze:



Versuchsbeschreibung:

Bei diesem Versuch soll Benzin möglichst vollständig verbrannt werden und die Verbrennungsprodukte Wasser und Kohlendioxid nachgewiesen werden.

Der Versuch wird entsprechend der Skizze aufgebaut.

Der Ballon wird mit einer Luftpumpe nicht mit dem Mund, da nachher noch Kohlendioxid nachgewiesen werden soll, aufgeblasen.

Er dient zur Gewährleistung eines gleichmäßigen Luftzugs, was mit einem Quetschhahn erreicht werden kann.

Das Quarzrohr wird bis zur Rotglut erhitzt.

Mit der Spritze wird dann langsam 1 ml Benzin in das Quarzrohr gebracht, wo es vollständig verbrennen soll.

In dem Reagenzglas in der Kühlfalle kann mit Hilfe von wasserfreiem Kupfersulfat Wasser nachgewiesen werden, da das Kupfersulfat sich dunkelblau färbt.

Kohlendioxid wird durch die Trübung des Kalkwassers nachgewiesen.

5. Literaturverzeichnis

1. Beyer, Walter: Lehrbuch der Organischen Chemie, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1991
2. Hollemann, Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, de Gruyter, Berlin 1985
3. Das Blaue Buch von Aral, Teil 1, 2. Auflage, 1992
4. Vollhardt: Organische Chemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1990
5. Zeitschrift: Praxis der Naturwissenschaften Chemie, 39. Jahrgang 1990, Heft 7
40. Jahrgang 1991, Heft 3
6. Zeitschrift: Chemie in unserer Zeit, 20. Jahrgang 1986, Heft 4
7. Zeitschrift: Erdöl, Erdgas, Kohle, 102. Jahrgang 1986, Heft 5
8. Aral Aktiengesellschaft: Fachreihe Forschung und Technik
Ottokraftstoffe, 1. Auflage 1993
Neue Kraftstoff-Additive, 1. Auflage 1995