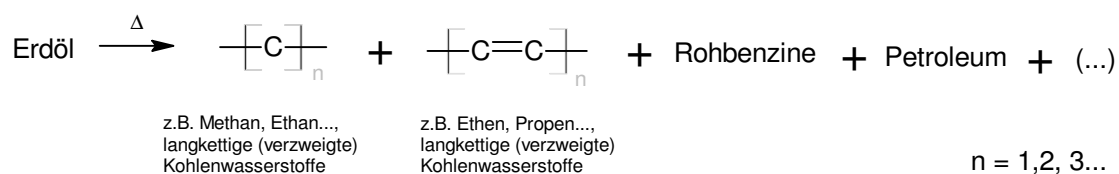


Versuchsprotokoll

Destillation von Rohöl

Gruppe 1, Typ: Pflichtversuch

1. Reaktionsgleichung



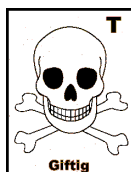
2. Zeitbedarf

	Teil 1	Teil 2
Vorbereitung	15 min	1 min
Durchführung	10 min	5 min
Nachbearbeitung	10 min	1 min

3. Chemikalien

Name	Summenformel	Gefahrensymbol	R-Sätze	S-Sätze	Einsatz in der Schule
Rohöl	?	F, T	45	53, 45	erlaubt
Glaswolle	-	-	-	-	

Gefahrensymbole



4. Materialien/Geräte

wärmeresistentes Reagenzglas mit Seitenansatz, nichtbrennbarer Stopfen mit Loch, Thermometer (bis 220 °C), 4 Reagenzgläser, 4 Stopfen, 2 x Stativ und Stativklemme, gebogenes Glasrohr, Papier zum Kühlen, Porzellanschale

5. Versuchsaufbau

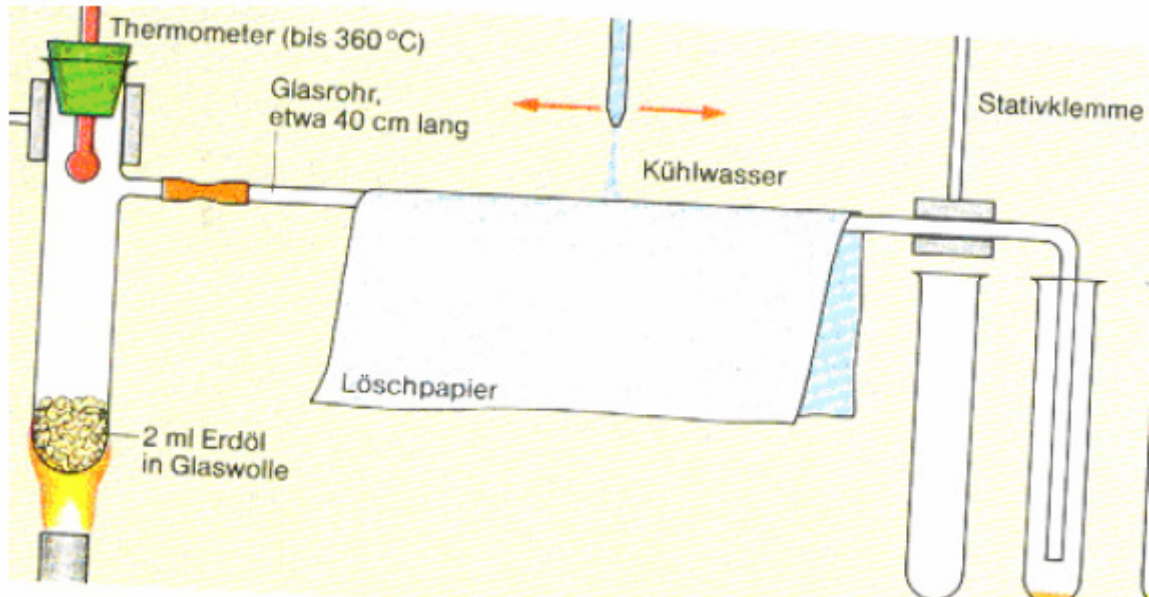


Abb. 1: schematischer Versuchsaufbau für die Destillation von Rohöl^[1]

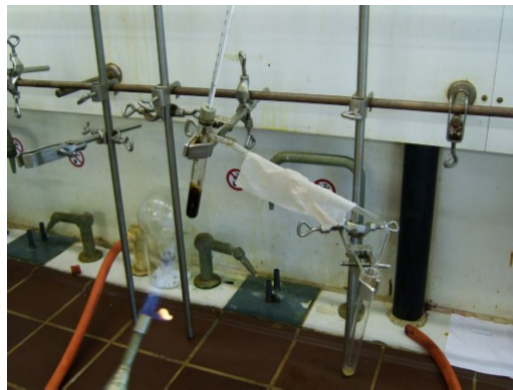


Abb. 2 Versuchsaufbau für die Destillation von Rohöl

6. Versuchsdurchführung

In das wärmeresistente Reagenzglas mit Seitenansatz wird 2 mL Rohöl und ein kleines Bäuschen Glaswolle gegeben. Anschließend wird die Mischung mit dem Bunsenbrenner bis 90 °C vorsichtig erhitzt. Das übergehende Destillat wird in einem Reagenzglas aufgefangen und mit einem Stopfen verschlossen. Nun wird das Gemisch weiter bis 140 °C und 220 °C erhitzt und das Destillat jeweils wieder in einem Reagenzglas aufgefangen und mit einem Stopfen verschlossen. Die einzelnen Fraktionen werden dann nacheinander in eine Porzellanschale gegeben und angezündet.

7. Beobachtung

Schon nach wenigen Sekunden des Erhitzens mit dem Bunsenbrenner siedet das Rohöl. Anschließend steigen weiße Nebelschwaden auf. Die Temperatur auf Höhe des Seitenansatzes steigt enorm schnell an. Bei 90 °C geht das erste Destillat über. Dieses ist orange, leicht trüb und leicht viskos. Beim weiteren Erhitzen schnellt die Temperatur hoch bis auf 140 °C. Das Destillat ist gelb, klar und viskoser als das erste. Erst beim dritten Destillationsversuch bewirkte weiteres Erhitzen des Rückstandes einen weiteren Temperaturanstieg auf 220 °C. Dieses Destillat war orange, klar und ebenfalls viskos.

Das erste Destillat verbrennt bei kleiner gelber Flamme. Beim zweiten ist die Flamme um einiges größer (Abb. 3), sie brennt länger und unter mehr Rußentwicklung. Die dritte Flamme erlischt sehr schnell, ist ebenfalls gelb, aber etwas kleiner als die Zweite (Abb. 4). Auch hier entwickelt sich Ruß.



Abb. 3: Flamme der zweiten Fraktion

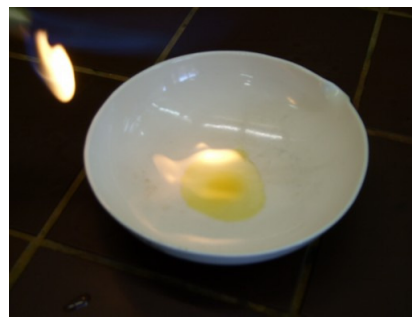


Abb. 4: Flamme der dritten Fraktion

8. Entsorgung

Der Rückstand im wärmeresistenten Reagenzglas kann am besten entfernt werden, indem mit Petrolether und Eis kräftig ausgeschüttelt wird. Die Lösung wird neutral im Behälter für organische Lösungsmittel entsorgt. Die Glaswolle wird getrocknet und im Behälter für Feststoffe entsorgt.

9. Fachliche Analyse

Das direkt aus der Erde stammende unbehandelte Erdöl wird auch als Rohöl bezeichnet. Dabei handelt es sich um einen fossilen Rohstoff, der vorwiegend durch bakterielle Zersetzung organischer Substanzen entsteht. Es befindet sich als lipophiles Stoffgemisch in der Erdkruste. Die Hauptbestandteile sind gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, sowie Aromaten Phenole, Harze, Aldehyde und organische Schwefelverbindungen. Je nach Mischung dieser Bestandteile reicht die Farbe des Erdöls von hellgelb bis schwarz. Die Tatsache, dass fast überall auf der Erde Erdöl gefördert wird macht deutlich, dass kein Öl einem anderen gleicht. Je nach der Herkunft ist die Zusammensetzung der Erdöle sehr verschieden.

Heute wird Erdöl hauptsächlich als Kraftstoffe aller Verkehrsmittel und zur Erzeugung von Elektrizität, also als Energiequelle, genutzt. Durch chemische Behandlung und Destillation von Erdöl erhält man Benzin, Kerosin, Heizöl, Dieselkraftstoff, Schmieröl, Paraffine und andere Verbindungen. Für die Autokraftstoffe ist die Octanzahl von großer Bedeutung. Sie gibt an, wie gleichmäßig die

Zündtemperatur ist, beschreibt also die Klopfestigkeit. Ist die Zündtemperatur ungleichmäßig bzw. die Klopfestigkeit nur mäßig, so stottert der Motor. Dazu wird das jeweilige Benzin mit dem sehr klopfesten 2,2,4-Trimethylpentan (Isooctan), das die Octanzahl 100, und dem wenig klopfesten Heptan, das die Octanzahl 0 erhielt verglichen. Verhält sich dieser Kraftstoffe beispielsweise wie ein Gemisch aus 90 % Isooctan und 10 % Heptan, so enthält dieser die Octanzahl 90.

In Deutschland werden 39 % des Energiebedarfs durch Erdöl gedeckt. Der Verbrauch lag 2001 bei $122 \cdot 10^6$ Tonnen, von denen $119 \cdot 10^6$ Tonnen aus anderen Ländern importiert wurden. Wissenschaftler weltweit versuchen aufgrund der Abhängigkeit von Erdöl alternative Energiequellen zu finden. Vor allem für Länder wie Deutschland, die selber keine großen Erdöl vorkommen haben, würden sie andere Energiequellen positiv auf die Ökonomie auswirken. Die bisher vorgestellten Ideen zu alternativen Energiequellen sind z.B. Kernenergie, Wasserkraft Solarenergie, Windkraft, die Energie von Meereswellen und auch die Herstellung von Brennstoff aus organischen Substanzen. Das Erdöl wird entweder in der Nähe des Herkunftsortes aufgearbeitet, oder aber durch Pipelines zu so genannten Ölraffinerien transportiert. Dort werden die Kohlenwasserstoffgemische entsprechend ihrer Siedetemperatur durch Destillation in verschiedene Fraktionen getrennt.

Die fraktionierte Destillation von Rohöl

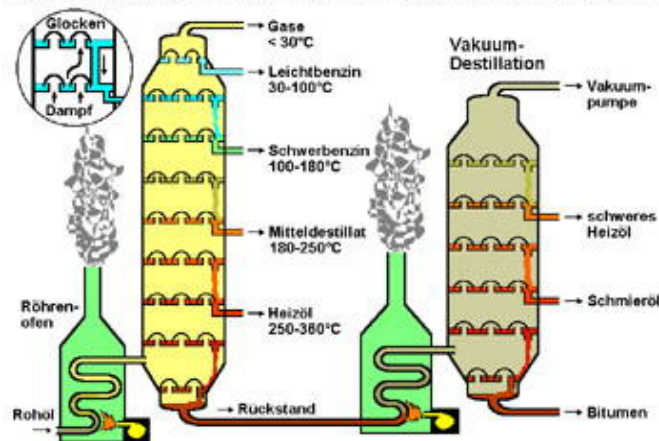


Abb. 5: Destillation von Rohöl in einer Raffinerie^[7]

Dabei wird in einem Röhrenofen das Öl auf mehr als 360 °C erhitzt. Da die Temperatur über der Siedetemperatur des Öls liegt verdampfen die Bestandteile und gelangen in den Destillationsturm, der durch zahlreiche Glockenböden unterteilt wird. Da die Temperatur darin von unten nach oben abnimmt, kondensieren die einzelnen Bestandteile auf unterschiedlichen Glockenböden. Dort werden die Fraktionen seitlich abgeleitet. Der Rückstand wird schließlich einer Vakuumdestillation zugeführt. Durch die Siedepunktniedrigung verdampfen auch diese Bestandteile bei ca. $350\text{ -- }400\text{ °C}$ und können auf Höhe der jeweiligen Glocke abgeleitet werden. Hier ist die Vakuumdestillation enorm wichtig, da die meisten Kohlenwasserstoff bei Temperaturen über 400 °C zerfallen würden, dies aber durch die Siedepunktniedrigung vermieden werden kann. Durch dieses Verfahren folgende Fraktionen enthalten:

- Gase (Methan, Ethan) und Flüssiggase(Propan, Butan): Sdp. bis 35 °C
Sie durchströmen die Kolonne und werden am Kopf dieser abgezogen. Durch Flüssiggastrennanlagen werden sie getrennt.
- Rohbenzin: Sdp. 35 – 180 °C (35 – 100 °C Leichtbenzine; 100 – 180 °C Schwerbenzine)
Sie werden im oberen Teil der Kolonne abgezogen.
- Petroleum/Kerosin: Sdp. 180 – 250 °C
- leichte Gasöle: Sdp. 250 – 350 °C
- schwere Gasöle: Sdp. 350 – 400 °C
- atmosphärischer Rückstand

In diesem Versuch wurde eine vereinfachte Destillation von Rohöl durchgeführt. Die einzelnen Fraktionen sind nicht rein, sondern enthalten mehrere Stoffe, die alle eine ähnliche Siedetemperatur haben. Wie in der Reaktionsgleichung zu sehen ist, reichen die Produkte von kurzkettigen Kohlenwasserstoffen wie Methan oder Ethan bis zu sehr langkettigen Kohlenstoffverbindungen. Die unterschiedlichen Farben der Destillate resultieren aus der Zusammensetzung der verschiedenen Kohlenwasserstoffen in einer Fraktion. Die Destillate gehen jedoch nicht wie in der Vorschrift bei 70 °C, 120 °C, 140 °C und 220 °C über, sondern erst bei 90 °C bzw. 140 °C und 220 °C. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass in diesem Versuch nicht das gleiche Erdöl wie in der Versuchsvorschrift verwendet wurde. Wie oben beschrieben gleicht kein Erdöl dem anderen. Dadurch enthält man für jedes Öl verschiedene Siedetemperaturen, die von der Zusammensetzung der Bestandteile abhängig ist. Durch die ungenaue Temperatureinstellung mit dem Bunsenbrenner ist es des Weiteren wahrscheinlich dazu gekommen, dass in einem der Destillate gleich zwei Fraktionen zusammen überdestilliert wurden.

Die Beobachtung der steigenden Viskosität und vermehrten Rußentwicklung bei der Verbrennung mit den Fraktionen mit steigender Siedetemperatur spiegelt die Gesetzmäßigkeiten der homologen Reihe wider. Mit zunehmender Kettenlänge steigen sowohl die Siedetemperatur und die Schmelztemperatur, als auch die Van-der-Waals-Kräfte aufgrund der zunehmenden Anzahl der Elektronen der Moleküle. Bei sehr langen Alkanen können die Van-der-Waals-Kräfte sogar stärker werden als eine Elektronenbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen. Bei starkem Erwärmen kommt es dann nicht zur Trennung von Molekülen, sondern zur Spaltung der Atombindung im Molekül. Dieser Vorgang ist in einer Destillation jedoch unerwünscht, deshalb wird der Rückstand in einer Ö Raffinerie wie oben beschrieben einer Vakuumdestillation zugeführt. Die Van-der-Waals-Kräfte beeinflussen jedoch nicht nur den Siedepunkt, sondern auch die Viskosität einer Flüssigkeit. Durch größer werdende Van-der-Waals-Kräfte fließen die Moleküle einer Flüssigkeit immer langsamer aneinander vorbei. Innerhalb der homologen Reihe nimmt ebenfalls die Intensität der Flamme und der Rußbildung zu. Das Leuchten der Flamme liegt am Glühen einzelner Kohlenstoffteilchen, die im Saum der Flamme mit Luftsauerstoff zu Kohlenstoffdioxid reagieren. Bei gleich bleibendem Sauerstoffangebot (Verbrennung an der Luft) verbrennen die Fraktionen immer unvollständiger, da der Anteil der Kohlenstoffatome mit jeder Fraktion zunimmt. Diese Kohlenstoffteilchen gelangen in kältere Bereiche der Flamme und werden dort als Ruß sichtbar, da sie aufgrund der fehlenden Wärme nicht mehr mit dem Sauerstoff reagieren.

Das erste Destillat enthielt also kurzkettigen Kohlenwasserstoffe, während die die Destillate der höheren Temperatur langkettigere Kohlenwasserstoffe enthalten. Das Problem, dass erst im dritten Versuch Destillat bei 220 °C übergang, könnte entweder daran gelegen haben, dass zu wenig Rückstand im Reagenzglas übrig geblieben ist, also einfach zu wenig Substanz verwendet worden ist, oder aber auch daran, dass die Temperatur des Erdöls im unteren Teil des Reagenzglases zu hoch war und es dadurch zu der oben beschriebenen Spaltung der Atombindung im Molekül gekommen ist. Diese Eigenschaft wird sich jedoch beim Crack-Verfahren zu Nutze gemacht. Bei der fraktionierten Destillation entstehen zu viele langkettige Kohlenwasserstoffe, die kaum Verwendung finden. Deshalb werden diese Moleküle unter erhöhtem Druck und starker Hitze (thermisches Cracken) in Schwingung gebracht, um sie zu spalten. Diese kurzkettigen Kohlenwasserstoffe können anschließend erneut einer fraktionierten Destillation zugeführt werden, um Benzine zu erhalten.

10. Didaktische Analyse

Dieser Versuch kann nach dem Lehrplan für G 9 gut ans Ende der 10. Klasse gesetzt werden, denn dann lautet das Thema „Brennstoffe: Erdöl und Erdgas“. Vor allem für den Einstieg ist dieses Experiment zu empfehlen, da sich die Frage aufwirft, welche Bestandteile in welchen Fraktionen wieder zu finden sind und woraus Erdöl überhaupt besteht. Daran schließt sich die fraktionierte Destillation im Industriemaßstab und das Cracken von Erdöl an. Im weiteren Verlauf kann über die Entstehung und die Vorkommen des Erdöls, die Erdölförderung und den Transport gesprochen werden. Vielleicht bietet sich hier eine Gelegenheit zusammen mit dem Fach Erdkunde fächerübergreifend zu unterrichten. Gerade heute schließt sich daran ein wichtiges weltpolitisches bzw. -wirtschaftliches Problem an: die immer kleiner werdenden Erdölreserven und alternative Energiequellen, wie z.B. Rapsöl. In diesem Zusammenhang muss die gesellschaftliche Frage, ob Energiequellen anstelle von anderen Lebensmitteln angebaut werden dürfen, diskutiert werden. Auch auf das große Thema Klimawandel kann in diesem Atemzug Bezug genommen werden. Bei den Schülerinnen und Schüler sollte das Thema auf breites Interesse stoßen, da hier der Alltagsbezug im Fach Chemie sofort gesehen wird. Es kann jedoch auch als Einleitung für die Themen Viskosität von Flüssigkeiten oder Van-der-Waals-Kräfte dienen. Ebenso könnte dieser Versuch als Einführung in die organische Chemie genutzt werden. Anschließend könnte allgemein auf organische Verbindungen und die Nomenklatur der Kohlenwasserstoffe eingegangen werden.

Die Vorbereitung dieses Versuchs nimmt nicht sehr viel Zeit in Anspruch. Es müssen lediglich die Stative aufgestellt werden, solange das gebogene Glasrohr schon vorhanden ist. Der Versuch sollte von der Lehrperson jedoch schon einmal im Vorfeld durchgeführt worden sein, um zu wissen bei welchen Temperaturen die Destillate übergehen. Wie oben beschrieben, variieren diese von Erdöl zu Erdöl. Beim Wechsel der Reagenzgläser sollte nicht viel Zeit verstreichen und der Bunsenbrenner mit etwas Abstand unter dem wärmeresistenten Reagenzglas stehen bleiben, damit die Temperatur nicht wieder absinkt. Die Destillate in der Porzellanschale werden am einfachsten mit dem Bunsenbrenner angezündet. Da die Schüler selbst mit dem Erdöl experimentieren dürfen, vielen Schulen jedoch die entsprechende Menge an Apparaturen fehlt, sollte dieser Versuch vom Lehrer durchgeführt werden. Die Zündung in der Porzellanschale kann jedoch von den Schülern übernommen werden. Auch wenn

die einzelnen Fraktionen nicht rein sind, so stellt diese Destillation von Rohöl einen sinnvollen und nicht allzu zeitintensiven Versuch dar, der für die Schule auf jeden Fall lohnenswert ist. Trotz der Verunreinigungen kann das Prinzip der Destillation verständlich vermittelt werden und die fraktionierte Destillation des Erdöls veranschaulicht werden. Bei dieser Destillation ist vor allem sehr gut beobachtbar, dass im Rückstand die spät siedenden Substanzen zurückbleiben, da dieser noch schwarz ist, die früh siedenden Substanzen jedoch als Destillat übergegangen sind. Die Unterschiede in der Zusammensetzung der Destillate sind aufgrund der Farbunterschiede ersichtlich.

11. Literatur

Versuchsquelle:

[1] CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH, *Chemie: Erdöl und Cracken*, http://www.conatex.com/mediapool/versuchsanleitungen/VAD_Chemie_Cracken.pdf (letzter Zugriff: 6.11.08, 17:48 Uhr)

Fachquellen:

[2] BGI (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz), *Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften*, <http://www.hvbg.de/d/bia/gestis/stoffdb/index.html>

[3] Elemente Chemie II, Organische Chemie, 1. Auflage, Ernst-Klett-Verlag, Stuttgart, 2005

[4] Landesinstitut für Schule Nordrhein-Westfalen, *Liste zur Einstufung von Gefahrstoffen (Soester-Liste)*, 10. Auflage, Stand: 22.06.2003, Version 2.7

[5] Fachinformationszentrum Chemie, <http://www.chemgapedia.de> (letzter Zugriff: 10.11.08, 15:09 Uhr)

[6] Hessisches Kultusministerium, *Lehrplan Chemie für die Jahrgangsstufen G7 bis G12*, 2005 http://www.kultusministerium.hessen.de/irj/HKM_Internet?uid=3b43019a-8cc6-1811-f3ef-ef91921321b2 (letzter Zugriff: 10.11.08, 16:28 Uhr)

[7] Seilnacht, T., *Erdöl und Erölverarbeitung*, <http://www.seilnacht.com/Lexikon/erdoel.html> (letzter Zugriff: 10.11.08, 22:26 Uhr)

[8] Vollhardt, K. Peter C., Schore, Neil E., *Organische Chemie*, Vierte Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2005

[9] Wikimedia Foundation Inc., <http://de.wikipedia.org> (letzter Zugriff: 18.10.08, 15:09 Uhr)