



Erdöl

Ein Leitprogramm für die Chemie

Autoren: Dr. Johannes Bösch
Dr. Georg Graf

Leitprogramm

Erdöl

Adressaten	Gymnasium
Bearbeitungsdauer	Fundamentum 6 Lektionen Additum 2 Lektionen
Fachliche Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in organischer Chemie. Insbesondere werden die Klasse der Kohlenwasserstoffe samt Nomenklatur und das Prinzip der Konstitutionsisomerie als bekannt vorausgesetzt.
Version	2. Fassung, März 2003
Anmerkung	Die Informationstexte und Abbildungen in diesem Leitprogramm basieren auf dem Ordner "Erdöl", Orell Füssli Verlag, Zürich. Das Copyright liegt bei der Erdöl-Vereinigung Zürich. Wir danken für die entsprechende Genehmigung. Zur Veranschaulichung und Ergänzung des Leitprogramms wird die Anschaffung dieses Ordners sehr empfohlen.
Lektorat	Wir danken Herrn Prof. Dr. Antonio Togni, ETH Zürich für die kritische Durchsicht.

Inhaltsverzeichnis

Einführung

Warum gerade Erdöl?	2
Wie arbeitet man mit diesem Leitprogramm?	3

Fundamentum

1 Erdöl gewinnen	6
2 Erdöl trennen.....	16
3 Treibstoffe und Heizöle	25

Additum

4 Erdöl und die Schweiz.....	34
------------------------------	----

Anhang für die Lehrkraft

A Lösungen der Kontrollaufgaben	39
B Kapiteltests mit Lösungen	42
C Medien für die Schüler	50
D Material für die Experimente	52
E Literatur	53
F Kopiervorlagen	54

Einführung

Warum gerade Erdöl?

Wir duschen mit warmen Wasser, lassen uns mit dem Bus zur Schule fahren, sitzen im geheizten Schulzimmer. Kurzum: wir verbrauchen Energie, ohne uns darüber gross Gedanken zu machen. Dabei werden 60 % des schweizerischen Energieverbrauchs durch Erdölprodukte abgedeckt. Flüssige Brenn- und Treibstoffe stehen mengenmässig sogar an der Spitze des Energieverbrauchs.

Die Bedeutung des Erdöls und seiner Anwendungen im täglichen Leben ist also offenkundig. Unsere Bedürfnisse nach Mobilität, Kraft und Wärme wären ohne das "Schwarze Gold" wohl kaum zu befriedigen. Trotz dieses Bewusstseins sind die Fakten über diesen Energieträger bei uns weniger bekannt. Dies ist sicher unter anderem darauf zurückzuführen, dass in der Schweiz kein Erdöl gefördert wird und wir daher unseren gesamten Bedarf importieren müssen.

In den nächsten Jahren wird das Thema "Erdöl" wieder an Bedeutung zunehmen. Probleme wie Erdölverknappung mit all den politischen Nebengeräuschen, Umweltverschmutzung, Klimaänderung durch den Treibhauseffekt verlangen umfassende Kenntnisse, um die Zusammenhänge zu verstehen.

Warum gerade ein Leitprogramm?

Es ist wenig sinnvoll, das Thema "Erdöl" nur von der chemischen Seite aus zu bearbeiten. Es ist viel interessanter die geografischen, biologischen und wirtschaftlichen Aspekte mit einzubeziehen. Ein Leitprogramm kann das gewünschte vernetzte Denken am besten fördern. Beim selbständigen Lernen mit gut ausgearbeiteten Unterlagen lässt sich das Lerntempo selber bestimmen. Übungsaufgaben mit Lösungen geben Sicherheit, dass man den Stoff verstanden hat. Das Lernen ist abwechslungsreich, müssen doch Experimente durchgeführt, Videos angeschaut und im Internet Antworten gesucht werden. Ihr werdet sehen: Das Leitprogramm ist eine interessante Sache!

Welche Themen sind zu bearbeiten?

1	Erdöl gewinnen	ca. 2 Stunden	Fundamentum
2	Erdöl trennen	ca. 2 Stunden	Fundamentum
3	Treibstoffe und Heizöle	ca. 2 Stunden	Fundamentum
4	Erdöl und die Schweiz	ca. 2 Stunden	Additum

Wie arbeitet man mit diesem Leitprogramm?

Vermutlich sind Sie sich bislang vor allem den sogenannten Frontalunterricht gewohnt: Ihr Lehrer führt etwas Theorie ein, schreibt einiges an die Wandtafel und fragt Sie ab und zu etwas. Und Sie lösen vielleicht zwischendurch mal eine Aufgabe. Die ganze Verantwortung über den Stundenverlauf liegt also beim Lehrer.

Das wird jetzt völlig anders - zumindest für ein paar Lektionen! Mit diesen Unterlagen arbeiten Sie ganz allein, und zwar in dem Tempo, das Sie selber festlegen.

Praktisch die ganze Theorie wird hier Schritt für Schritt aufgerollt. Obligatorisch ist für Sie nur das sogenannte Fundamentum, d.h. die ersten drei Kapitel. Das letzte Kapitel ist für jene gedacht, die besonders schnell vorwärts kommen, oder die speziell an der Sache interessiert sind. Es soll immer wieder Personen geben, die neben der Schulzeit noch freiwillig weiterarbeiten wollen. Sie sicher nicht? Warten wir es ab...

Im Einzelnen sieht der Ablauf der nächsten Lektionen wie folgt aus:

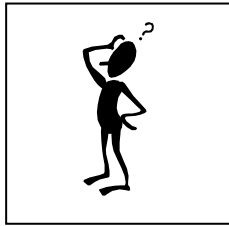
- 1** Sie machen sich hier erst einmal damit vertraut, wie der Unterricht die nächsten paar Lektionen lang läuft. Das ist sehr wichtig, sonst profitieren Sie nicht das Maximum! Mehr als zehn Minuten sollten Sie dafür allerdings nicht brauchen, sonst fehlt Ihnen die Zeit dann nachher.
- 2** Sie beginnen mit der ersten Lektion und studieren den Text bis zur ersten Kontrollaufgabe. Studieren heißt in der Regel, den Text zweimal zu lesen. Zuerst verschaffen Sie sich einen groben Überblick, worum es eigentlich geht. Beim zweiten Durchgang legen Sie dann jedes Wort und jede Formulierung auf die Goldwaage. Nur nicht vorschnell aufgeben! Manchmal muß man sich etwas durchbeißen, bis man es ganz „gecheckt“ hat. Dafür kann man nachher auch richtig stolz auf seine Leistung sein!
- 3** Irgendwann kommt dann eine Kontrollaufgabe. Hier ist ein Halt geboten. Bearbeiten Sie nötigenfalls den vorangehenden Text noch einmal, bis Sie glauben, alles bisher Behandelte wirklich gut verstanden zu haben. Ist das der Fall, so lösen Sie die Kontrollaufgabe. Aber nicht nur im Kopf, sondern schriftlich! Das ist sehr wichtig, weil Sie sonst der Gefahr der Selbsttäuschung unterliegen.
- 4** Sie müssen Ihre Lösungsvorschläge niemandem zeigen. Sie korrigieren sich nämlich selbst: Im Schulzimmer liegt ein Ordner mit den Lösungen aller Kontrollaufgaben auf. Da schauen Sie nach, ob Sie richtig liegen. Wenn ja: Bravo! Sie können den Text weiter studieren, bis zur nächsten Kontrollaufgabe. Wenn nein: Halb so schlimm. Aber: Sie müssen den vorangegangenen Text nochmals durcharbeiten. Nur so können Sie die vorhandenen Lücken stopfen!

- 5 Verstehen Sie dann immer noch nichts, so können Sie einen Kollegen oder eine Kollegin fragen. Aber tun Sie das bitte nur im Notfall. Geben Sie nicht vorschnell auf! Wenn auch Ihr Kollege nicht weiterhelfen kann, können Sie die Lehrperson konsultieren. Das sollte aber im Verlauf ihrer Arbeit nur selten vorkommen.
- 6 Ab und zu ist mehr als nur Lesen angesagt: Vielleicht müssen Sie zwischendurch ein Experiment durchführen, eine Grafik aus einem Buch interpretieren, ein Internetrecherche durchführen oder eine Filmsequenz anschauen. Entsprechende Symbole und Anleitungen im Text machen Sie darauf aufmerksam. Fahren Sie anschließend mit der Lektüre dort weiter, wo Sie unterbrochen haben.
- 7 Wenn Sie ein Kapitel vollständig abgeschlossen, seinen Inhalt ganz verstanden und alle Kontrollaufgaben richtig gelöst haben, sind Sie reif für den Kapiteltest. Diesen absolvieren Sie bei der Lehrperson oder einer von ihr bezeichneten Hilfsperson. Sie müssen sich dabei kurz über die von Ihnen erworbenen Kenntnisse ausweisen. Falls Sie den Kapiteltest bestehen, können Sie mit dem nächsten Kapitel weiterfahren. Falls nicht, werden Sie zu einer Wiederholung Ihres Studiums verknurrt, und können frühestens zehn Minuten später noch einmal zu einem anderen Test über dasselbe Kapitel antreten. Es lohnt sich also nicht, zu einem Kapiteltest zu erscheinen, bevor Sie die Materie wirklich sehr gut beherrschen.
- 8 So geht das weiter, bis die ersten drei Kapitel des Fundamentums abgearbeitet sind. Wenn Sie die ersten drei Kapitel abgeschlossen haben, ist Ihr Soll erfüllt. Sie sind zu einem echten Erdöl-Guru geworden. Trotzdem muss die Mensa noch etwas warten. Guten Leuten muß man doch mehr bieten! Also beginnen Sie jetzt mit der Bearbeitung des vierten Kapitels, des sogenannten Additums. Das Vorgehen ist dabei haargenau gleich: Selbststudium, Kontrollfragen, Kapiteltest.
- 9 Nach dem Durcharbeiten aller vier Kapitel haben Sie den totalen Durchblick in Sachen Erdöl. Aber auch mit nur drei verarbeiteten Kapiteln können Sie mit sich zufrieden sein. Der Stoff des Fundamentums wird später der Prüfungsstoff sein.
- 10 Falls Ihnen die vorgesehenen Lektionen für die vollständige Bearbeitung des Fundamentums nicht ausreichen, so müssen Sie das Reststudium zu Hause erledigen und sich den noch fehlenden Kapiteltests in der unterrichtsfreien Zeit unterziehen. Das sollte aber eigentlich nicht vorkommen, wenn Sie während der Lektionen voll bei der Sache sind.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß. Und vergessen Sie nicht: Chemistry is fun!

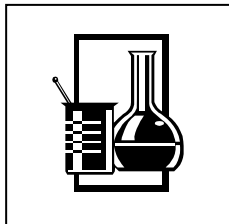
Johannes Bösch, Georg Graf

Zum Schluß eine Zusammenstellung der im Text benutzten Piktogramme:



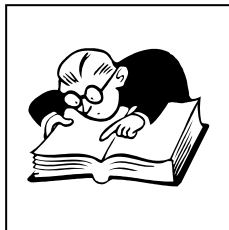
Kontrollaufgabe

Hier müssen Sie eine Aufgabe lösen, welche sicherstellt, daß Sie den unmittelbar vorangehenden Text auch wirklich verstanden haben. Lösen Sie solche Aufgaben auf jeden Fall *schriftlich*, und kontrollieren Sie Ihre Lösung anschließend im Lösungsordner.



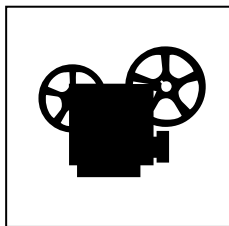
Experiment

Im Schulzimmer oder im Labor ist ein Versuch vorbereitet. Führen Sie ihn nach Anleitung durch. Lesen Sie die zugehörige Vorschrift genau durch und beachten Sie die einschlägigen Sicherheitsvorkehrungen.



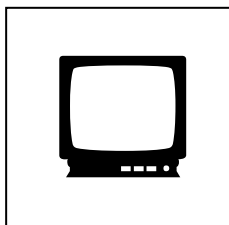
Bücher, Zeitschriften, Bilder

Im Schulzimmer oder in der Bibliothek liegt ein Buch, eine Zeitschrift oder ein Bild bereit. Lösen Sie mit deren Hilfe die gestellte Aufgabe! Machen Sie sich stichwortartige Notizen!



Film

Im Schulzimmer oder in einem Nebenraum steht ein Fernsehgerät bereit. Schauen Sie sich die beschriebene Filmsequenz an und machen Sie sich Notizen dazu. Sie brauchen die Informationen für die Weiterarbeit in diesen Unterlagen.



Internet

Im Schulzimmer oder in einem Nebenraum steht ein Computer bereit. Suchen Sie mit seiner Hilfe im Internet nach einer Antwort auf die Fragestellung.

Fundamentum

1 Erdöl gewinnen

Was erfahren Sie in diesem Kapitel?

Fast täglich treffen wir in den Medien auf den Begriff „Erdöl“: Erdöltanker in Seenot, Erdölvorräte, Erdölpreis, etc. Doch was ist Erdöl? Wie ist es entstanden? Wann ist es entstanden? Wie lange reichen die Erdölvorräte? Auf diese und andere Fragen erhalten Sie in diesem Kapitel eine Antwort. Sie werden erfahren, dass die förderwürdigen Erdölvorkommen in den letzten Jahren zugenommen haben dank neuartiger Förder-techniken.

Wie gehen Sie vor, um dieses Kapitel zu bearbeiten?

Anhand von Texten, Videos und Experimenten suchen Sie Antworten zu den oben genannten Fragen. Nach jedem Abschnitt sind Kontrollfragen eingestreut. Versuchen Sie die Aufgaben selbständig zu lösen. Zur Bestätigung können Sie die Antworten im Lösungsordner nachschauen. Wenn Sie die Kontrollaufgaben gut gelöst haben, gehen Sie zur Lehrperson. Sie wird Ihnen eine Testfrage zu diesem Kapitel geben.

Um den Kapiteltest erfolgreich bestehen zu können, müssen Sie folgende **Lernziele** erreicht haben:

- Sie können darlegen, wie Erdöl entstanden und wie es zusammengesetzt ist.
- Sie können auf einer Weltkarte angeben, wo die wichtigsten Erdöllagerstätten liegen und erklären, warum sie gerade dort entstanden sind.
- Sie können beschreiben, mit welchen technischen Vorrichtungen auf dem Land und im Meer nach Erdöl bohrt und es zutage fördert.

Was versteht man unter Erdöl?

Erdöl ist im Wesentlichen ein kompliziert zusammengesetztes Gemisch aus sogenannten Kohlenwasserstoffen. Es kann an gewissen Stellen der Erdoberfläche in Tiefen bis zu 5000 m gefunden werden.

Unter Kohlenwasserstoffen versteht man chemische Verbindungen, deren Moleküle ausschliesslich aus Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen aufgebaut sind.

Wie ist das Erdöl entstanden?

Erdöl kann sich unter günstigen Bedingungen aus Plankton bilden. Unter Plankton versteht man einzellige pflanzliche und tierische Organismen, die im Meereswasser leben. Lebendes Plankton kommt nur in den obersten Wasserschichten vor, denn es benötigt zum guten Gedeihen das Licht der Sonne.

Vorgänge dieser Art sind besonders begünstigt in schwach bewegten und wenig durchlüfteten Meeresbecken. Solche Verhältnisse müssen beispielsweise im Persischen Golf geherrscht haben, denn er gehört heute zu den wichtigsten Fundstätten von Erdöl.

In den Millionen Jahren der bisherigen Erdgeschichte sind riesige Mengen an Plankton auf den Meeresgrund gesunken. Der grösste Teil davon ist im Laufe der Zeit wieder verweset. Ein kleiner Rest aber blieb ohne Verwesung als Tiefseeschlamm liegen und konnte die in ihm gespeicherte Sonnenenergie beibehalten.

In den unteren Schichten schwach durchmischter Meere herrschen dank des Mangels an Sauerstoff ideale Bedingungen für die Bildung von Erdöl. Der Tiefseeschlamm durchläuft hier einen langsamen chemischen Abbau. Unter Mitwirkung von anaeroben Bakterien und Katalysatoren bilden sich dabei Kohlenwasserstoffe und andere Abbauprodukte. Anaerobe Bakterien sind Einzeller, die ohne Zufuhr von Sauerstoff gedeihen können.

Begünstigt wird die Bildung von Erdöl durch hohen Druck und relativ hohe Temperaturen (400 °C - 500 °C). Solche Bedingungen herrschen, wenn Tiefseeschlamm mit Sedimenten überlagert wird.



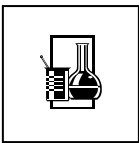
- 1.1 Was versteht man unter Erdöl?
- 1.2 Was versteht man unter Kohlenwasserstoffen?
- 1.3 Welche Voraussetzungen sind zur Bildung von Erdöl notwendig?
- 1.4 Warum findet man Erdöl meistens unterhalb von Sedimentdecken?
- 1.5 Was sind anaerobe Bakterien?
- 1.6 Inwiefern sind anaerobe Bakterien an der Erdöl-Bildung beteiligt?

Wann ist unser Erdöl entstanden?

Anhand der in erdöhlhaltigen Schichten gefundenen Fossilien lässt sich der Zeitpunkt der Entstehung der verschiedenen Vorkommen einigermaßen genau bestimmen. Die ältesten Erdölvorkommen müssen vor rund 500 Millionen Jahren entstanden sein. Die jüngsten Vorkommen dürften erst wenige Millionen Jahre alt sein.

In welcher Form kommt Erdöl vor?

Erdöl kommt in Form kleinster Tröpfchen vor, welche als solche zwischen die einzelnen Körner von porösen Gesteinsschichten eingebettet sind. Ähnlich einem Schwamm können kalkhaltige Gesteine und vor allem Sandsteine das Erdöl speichern.



- 1.1 Gegeben sind diverse Gesteinsproben, eine Flasche mit Erdöl und eine Pasteurpipette. Sie sollen untersuchen, wie gut diese Erdöl aufnehmen können.

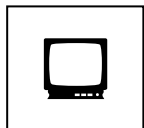
Geben Sie mit einer Pasteurpipette jeweils einen Tropfen Erdöl auf eine frische Probe von jeder Gesteinsart.

Beobachten Sie, wie gut das Öl von den einzelnen Gesteinen aufgenommen wird! Notieren Sie Ihre Beobachtungen!

Reinigen Sie den Arbeitsplatz mit den Wegwerf-Wischtüchern peinlich sauber. Niemand hat gerne Öl an den Kleidern!

Wo kommt Erdöl vor?

Auf der gesamten Erdoberfläche existieren ungefähr 600 Sedimentbecken, in denen sich Erdöl gebildet haben könnte. Viele davon sind noch nicht erforscht. Man rechnet, dass etwa 60 Prozent dieser Becken wirtschaftlich nutzbare Vorkommen enthalten. Manche davon befinden sich jedoch in schwer zugänglichen Gebieten, sodass ihre Ausbeutung vorläufig nicht in Frage kommt. Die zehn wichtigsten Förderregionen: Mittlerer Osten, Ferner Osten, Westeuropa, Nordamerika, Lateinamerika, GUS-Staaten, Afrika.



- 1.1 In welchem der oben angegebenen Fördergebiete wurde im vergangenen Jahr am meisten Erdöl gewonnen? Welche Gebiete nehmen die Plätze zwei und drei ein?

Klären Sie diese Fragen mittels einer Recherche im Internet!
Drucken Sie die eine Homepage mit der Antwort aus!
Nehmen Sie den Ausdruck zu den Kapiteltests mit!

Wie lange noch reicht das Erdöl?

In den Medien kann man immer wieder lesen, dass die Erdölreserven nur noch für vier Jahrzehnte reichen. Dies beruht darauf, dass dabei nur die sicher nachgewiesenen Reserven an konventionellem Erdöl in Betracht gezogen werden.

Erdöl wird als konventionell bezeichnet, wenn es im Boden in flüssiger Form vorkommt. Im Gegensatz dazu ist nicht konventionelles Erdöl in seinem Naturzustand zähflüssig und muss direkt in der Lagerstätte durch Wärmezufuhr dünnflüssig gemacht werden, damit es gefördert werden kann.

Es ist bemerkenswert, dass die Reichweite des konventionellen Erdöls seit 1950 deutlich gestiegen ist, obwohl der weltweite Ölverbrauch gleichzeitig um den Faktor 6 zugenommen hat. Das bedeutet, dass unterdessen wesentlich mehr Öl gefunden wurde, als verbraucht worden ist. Diese Entwicklung ist das Ergebnis einer intensiveren Ölsuche und einer ständig modernisierten Explorationstechnik.

Berücksichtigt man aber das nicht konventionelle Erdöl und die noch nicht sicher nachgewiesenen Vorkommen, so ist der Erdölnachschub noch viel länger gesichert. Es ist jedoch kaum möglich, eine präzise Vorhersage zu machen, denn einerseits wird die Erschliessung und Ausbeutung neuer Felder zunehmend kostspieliger und andererseits hängt der Verbrauch wiederum vom Preis ab. Zudem werden immer mehr alternative Energiequellen erschlossen. Beispielsweise Solarenergie oder Windenergie.

Wie lange noch reicht das Erdöl? Die Frage lässt sich offenbar nicht präzise beantworten. Sicher ist, dass die Reserven für weit mehr als nur einige Jahrzehnte reichen. So gesehen müssen wir uns keine allzu grossen Sorgen machen. Bedenkt man allerdings, dass der gefürchtete Treibhauseffekt mit seinen verheerenden Folgen zu einem grossen Teil auf der unüberlegten Verbrennung von Erdöl beruht, so gibt es nichts anderes, als möglichst schnell von dieser Energiequelle wegzukommen.



- 1.7 Nennen Sie acht aktuelle Fördergebiete für Erdöl!
- 1.8 Wie alt schätzt man die ältesten Erdölvorkommen?
- 1.9 Wie alt schätzt man die jüngsten Erdölvorkommen?

Explorationsbohrungen

Die Ausbeutung eines neu entdeckten Erdölvorkommens ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die nur mit ausgeklügelter Technologie zu meistern ist. Falls geologische Untersuchungen auf ein neues Vorkommen hinweisen, so muss diese Vermutung mittels einer Bohrung bestätigt werden. Trotz modernster Suchmethoden ist nur jede zehnte dieser sogenannten Explorationsbohrungen erfolgreich. Ist eine Lagerstätte durch eine Explorationsbohrung nachgewiesen, so werden die später hoffentlich einmal produktiven Hauptbohrungen angesetzt. Weltweit sind es über 50000 neue Bohrlöcher, welche die Erdölgesellschaften jährlich in die Erdkruste treiben.



- 1.1 Was versteht man unter einer Ölfalle?
 Was versteht man unter Magnetometrie?
 Wie funktioniert die Gravimetrie?
 Worum geht es bei der Reflektions-Seismik?

Im Schulzimmer liegt eine Kopie des Artikels "Die Suche nach Erdöl" aus der Zeitschrift "Energie und Umwelt" bereit. Suchen Sie darin nach Antworten auf die gestellten Fragen! Halten Sie das Ergebnis Ihrer Recherche stichwortartig fest!

Die Bohrtechnik

Der Bohrturm ist eine stabile Stahlkonstruktion. Auf einer Grundfläche von etwa 10 auf 10 Metern weist er eine Höhe von mindestens 40 Metern auf. An seiner Spitze hängt ein Flaschenzug.

Zusammengeschraubte Stahlrohre bilden das Bohrgestänge. Beim sogenannten Rotary-Verfahren ist das oberste Stück ein Rohr mit quadratischem Querschnitt. Es wird als Mitnehmerstange bezeichnet und führt durch eine entsprechende Aussparung im Bohrtisch. Letzterer wird von leistungsfähigen Dieselmotoren in Rotation versetzt und bewegt dadurch das gesamte Bohrgestänge. Bei einem Gestänge von 3500 m Länge verwindet sich der Bohrstrang so stark, dass sich der Bohrtisch gegen zwanzigmal drehen muss, bis sich der Bohrmeissel tief unten im Bohrloch zu bewegen beginnt!

Selbstverständlich muss das Bohrgestänge von Zeit zu Zeit verlängert werden. Dazu wird der gesamte Bohrstrang mit dem Flaschenzug so hoch angehoben, dass die Mitnehmerstange abgeschraubt und ein zusätzlicher Rohrabschnitt eingesetzt werden kann. Die starkwandigen Rohre sind je 9 m lang und stehen als Dreierpakete innerhalb des Bohrturms bereit. Je nach Bohrtiefe muss die Stahlkonstruktion des Turmes beim Herausziehen des Bohrgestänges Gewichte bis zu 1000 Tonnen aufnehmen. Die erste erfolgreiche Bohrung in der Geschichte stiess in 20 m Tiefe auf Öl. Heute sind Bohrtiefen zwischen 3000 und 5000 Metern durchaus normal. Einzelne Bohrungen erreichten sogar 10000 Meter Tiefe.



- 1.2 Im Schulzimmer liegt für Sie eine Photokopie bereit. Sie zeigt das Schema eines Bohrturms. Beschriften Sie das Schema gemäss den Informationen im oben stehenden Text. Legen Sie die beschriftete Kopie zu Ihren Unterlagen!

Die Bohrwerkzeuge

Das wichtigste Werkzeug bei einer Bohrung ist der Bohrmeißel. Man unterscheidet zwischen folgenden zwei Typen:

- Der Rollen-Meißel. Er eignet sich vornehmlich zum Durchbohren von weicheren Gesteinsarten und wird am häufigsten eingesetzt. Auf drei radial angeordneten Rollen sind Zähne aus Spezialstahl angebracht, die das Gestein zertrümmern.
- Der Diamant-Meißel. Er eignet sich für die Bohrung in hartem Fels. Der Bohrkopf ist mit künstlich hergestellten Diamanten besetzt. Wegen des geringeren Verschleißes lohnt sich die Verwendung dieses recht teuren Bohrwerkzeuges.

Für die Erneuerung eines abgestumpften Meißels muss man sogar das gesamte Bohrgestänge ausfahren, auseinander schrauben und nach dem Wechseln des Meißels wieder zusammensetzen. Ist das Bohrloch schon weit vorgetrieben, kann diese Arbeit mehrere Tage dauern.



Der Rollen-Meißel. Er eignet sich zum Bohren in eher weichen Gesteinsarten. Auf drei radial angeordneten Rollen sind Zähne aus speziell hartem Stahl angebracht, die das Gestein zertrümmern.



Der Diamant-Meißel. Er eignet sich für hartes Gestein. Der Bohrkopf ist mit künstlich hergestellten Diamanten besetzt. Er ist sehr teuer, zeigt aber einen relativ geringen Verschleiß.

Das Bohrloch

Damit das Bohrloch nicht einstürzen kann, wird es mit stabilen Stahlrohren ausgekleidet.

Während des Bohrvorganges wird vom Bohrmeissel ständig Gesteinsmaterial abgefräst. Es wird als Bohrklein bezeichnet und muss irgendwie aus dem Bohrloch entsorgt werden. Dazu pumpt man mit kräftigen Pumpen eine spezielle Spülflüssigkeit durch das Bohrgestänge nach unten. Sie tritt am Bohrmeissel aus und steigt ausserhalb des Bohrgestänges wieder hoch. Dabei reisst sie das Bohrklein mit nach oben.

Lagerstätten stehen oft unter hohem Druck. Werden sie angebohrt, so kann das Erdöl mit grosser Geschwindigkeit aus dem Bohrloch schiessen und die Weiterarbeit verunmöglichen. Dieses Missgeschick wird in der Fachsprache als blow out bezeichnet. Zur Verhinderung werden unterhalb des Drehtisches spezielle Sicherheitsventile montiert, die man als blow-out-preventer bezeichnet.

Ein fertig erschlossenes Bohrloch wird zum Schluss mit einem sogenannten Christbaum versehen. Dabei handelt es sich um eine ausgeklügelte konstruierte Kombination von Ventilen und Druckmessgeräten, mit denen später der Förderstrom genau unter Kontrolle gehalten werden kann. Auf der folgenden Seite ist ein solcher Christbaum abgebildet.



1.10 Nennen zwei verschiedene Typen von Bohrmeisseln!

1.11 Was versteht man unter einer Explorationsbohrung?

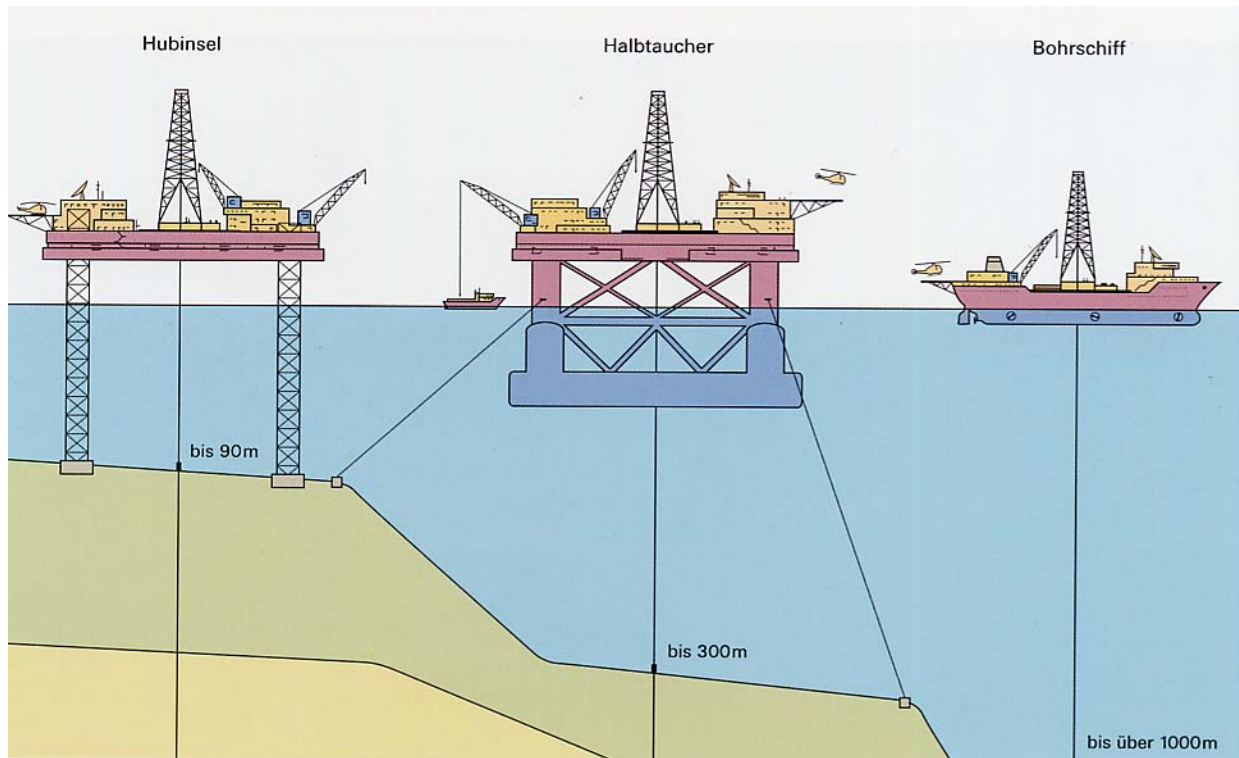
1.12 Welche Aufgabe muss die Spülflüssigkeit erfüllen?

Offshore-Bohrung

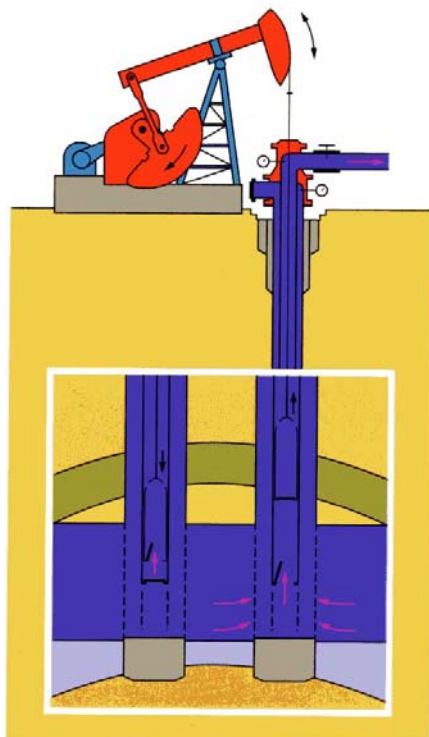
Oftmals liegen Erdölvorkommen unter Wasser. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um einen Bohrturm auf dem Wasser zu betreiben:

- Hub-Inseln. Sie setzen riesige, mechanisch bewegliche Beine auf den Meeresboden. Mit ihrer Hilfe wird die Bohrplattform über den Wasserspiegel gehoben.
- Halbtaucher-Inseln. Sie schwimmen auf luftgefüllten Tanks, die sich am unteren Ende von langen Stelzen befinden und werden mit Seilen verankert.
- Bohrschiffe. Sie können nur in ruhigen Gewässern eingesetzt werden. Ihr Vorteil ist, dass sie in Wassertiefen bis 1000 m eingesetzt werden können.

Die Offshore-Förderung ist sehr kostspielig. Die Bohranlagen und die Unterhaltskosten sind viel teurer. Zudem ist das Gefahrenpotential wesentlich höher. Eine Förderung in der Nordsee ist etwa 20 mal so teuer wie eine vergleichbare im Mittleren Osten.



Die drei Möglichkeiten zum Bohren im Wasser: Die Hub-Insel, die Halbtaucher-Insel und das Bohrschiff.



Tauchkolben-Pumpe



Christbaum

Die Förderung zu Land

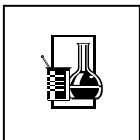
Die Förderung auf dem Festland kann nach folgenden Methoden erfolgen:

- Die Eruptiv-Förderung
- Die Pumpen-Förderung
- Die Gaslift-Förderung

Die Eruptiv-Förderung. In seinen Lagerstätten steht das Öl oft unter hohem Druck. Ist ein solches Vorkommen erst einmal angebohrt, so wird das Öl automatisch im Bohrloch hochgepresst. Das in Lagerstätten gefangene Erdöl kann grosse Mengen an gelöstem Gas enthalten. Dieses kann allmählich austreten und so den Druck aufrecht erhalten. Auf diese Weise kann immer mehr und mehr Erdöl an die Oberfläche gepresst werden. Diese Art der Förderung benötigt also keine Pumpen und wird als Eruptiv-Förderung bezeichnet. Die Vorkommen des Mittleren Ostens sind meistens antiklinale Ölfallen. Oben in der Kuppel befindet sich Gas, darunter das Öl und noch weiter unten Salzwasser. Der hier herrschende natürliche Druck reicht meistens für Jahre aus, um das Öl ohne künstliche Hilfe an die Oberfläche zu pressen.

Die Pumpen-Förderung. Wenn infolge nachlassenden Drucks die Eruptiv-Förderung zum Erliegen kommt, werden Tauchkolben-Pumpen eingesetzt. Den Antrieb an der Erdoberfläche erkennt man an den typischen wippenden "Pferdeköpfen".

Die Gaslift-Förderung. In Tiefen über 2500 m ist die Pumpen-Förderung technisch nicht mehr möglich. Hier wird die sogenannte Gaslift-Förderung eingesetzt. Man presst neben dem Steigrohr Gas ins Speichergestein. Dieses vermischt sich mit dem Öl zu einem Schaum, der dann leichter aufsteigt als das Öl allein.



1.2 Erdöl tritt im Erdinnern relativ häufig in Kombination mit Wasser auf. Deshalb ist es von Interesse, ob sich Erdöl mit Wasser vermischen kann, und wenn ja, in welchem Ausmass. Im folgenden Versuch wollen wir dies untersuchen.

- Füllen Sie in ein Reagenzglas 3 cm hoch Wasser ein!
- Überschichten Sie das Wasser mit ca. 2 cm Rohöl!
- Markieren Sie die Phasengrenzen Wasser-Öl bzw. Öl-Luft mit einem Filzstift!
- Verschiessen Sie das Reagenzglas mit einem Gummistopfen!
- Schütteln Sie das Reagenzglas *sorgfältig*!
- Stellen Sie das Reagenzglas ruhig!
- Warten Sie, bis sich das Wasser und das Öl getrennt haben!
- Stellen Sie fest, ob sich die ursprünglich vorhandenen Volumina verändert haben! Interpretieren Sie ihre Beobachtung!

Die Förderung zu Wasser

Die Förderung auf dem Meer - auch als offshore-Förderung bezeichnet - geht im Prinzip gleich vor sich. Es müssen allerdings kostspielige Produktionsplattformen errichtet werden. Nach der Entdeckung eines Erdölvorkommens können mehrere Jahre vergehen, bis die Plattform gebaut, in Position gebracht, verankert und ausgerüstet ist.

Von einer Plattform werden wenn immer möglich schräg verlaufende Erweiterungsbohrungen niedergebracht, um ein möglichst grosses Areal der Lagerstätte zu erschliessen. Beispielsweise ist in der Nordsee ist das Feld "Forties" nur durch vier Plattformen erschlossen. Diese stehen in 130 Meter tiefem Wasser. Das Öl wird zur Oberfläche gefördert, von Wasser befreit und über eine Unterwasserpipeline an Land gepumpt.

Wenn keine Pipeline vorhanden ist, dienen als Zwischenlager riesige schwimmende Tanks, welche überdimensionierten Bojen gleichen. Von dort aus gelangt das Rohöl in die Tankschiffe für den Weitertransport.



1.13 Welche Möglichkeiten gibt es, um unter Wasser zu bohren?

1.14 Wie funktioniert eine Halbtaucher-Insel?

1.15 Sind zur Förderung von Erdöl in jedem Fall Pumpen erforderlich?

2 Erdöl trennen

Was erfahren Sie in diesem Kapitel?

Das Rohöl, welches aus dem Bohrloch strömt, kann in dieser Form nicht verwendet werden. Zu verschiedenartig sind die Bestandteile. In einer Raffinerie wird das Rohöl in Fraktionen aufgetrennt. Dadurch erhält man Treibstoffe und Heizöle. Sie erfahren, warum man das Rohöl zuerst bei Normaldruck und anschliessend unter Vakuum destilliert. Sie lernen die Vorgänge in einer Crackanlage kennen.

Wie gehen Sie vor, um diese Kapitel zu bearbeiten?

Anhand von Texten, Bildern und eines Videos lernen Sie die Vorgänge in einer Raffinerie kennen. Sie lösen die Kontrollaufgaben nach jedem Abschnitt und vergleichen Ihre Antworten mit dem Text im Lösungsordner. Wenn Sie sich sicher fühlen, gehen Sie zur Lehrperson. Diese gibt Ihnen eine Testfrage zum Lösen.

Um den Kapiteltest erfolgreich bestehen zu können, müssen Sie folgende **Lernziele** erreicht haben:

- Sie wissen, wie man Rohöl von Gasen und von Wasser trennen kann.
- Sie können anhand einer Skizze erklären, wie Rohöl in einer Normaldruck-Destillationsanlage aufgetrennt werden kann.
- Sie können die wichtigsten Fraktionen benennen und eine mögliche Verwendung angeben.
- Sie sind in der Lage zu erklären, warum gewisse Anteile des Rohöls unter Vakuum destilliert werden müssen.
- Sie können an Hand einer Reaktionsgleichung erklären, was beim Cracken geschieht.

Die Trennung von Gas und Wasser

Gefördertes Rohöl enthält oft beachtliche Mengen an Gas und Wasser. Bevor es transportiert werden kann, muss es davon befreit werden. Andernfalls würden die Pipelines und die Transportschiffe durch Korrosion beschädigt.

Die Befreiung von Gas geschieht in sogenannten Gas-Separatoren. Darin wird das Rohöl einem leichten Unterdruck ausgesetzt, so dass die gelösten Gase entweichen können. Früher wurden sie als unerwünschte Nebenprodukte abgepackelt. Heutzutage werden sie gereinigt, verflüssigt und als Propan, Butan oder Pentan in Druckflaschen verkauft.

Zur Befreiung von Salzwasser setzt man sogenannte Öl-Wasser-Separatoren ein. Darin wird durch Erwärmen und mit Hilfe von speziellen Chemikalien der natürliche Trennvorgang in Öl und Wasser beschleunigt.

Techniken zur Verarbeitung von Rohöl

Das rohe Erdöl ist im Wesentlichen ein komplexes Gemisch von Kohlenwasserstoffen. Eine genauere Untersuchung zeigt, dass es sich dabei ausschliesslich um Alkane und um Aromaten handelt. Alkene und Alkine sind interessanterweise nicht vertreten.

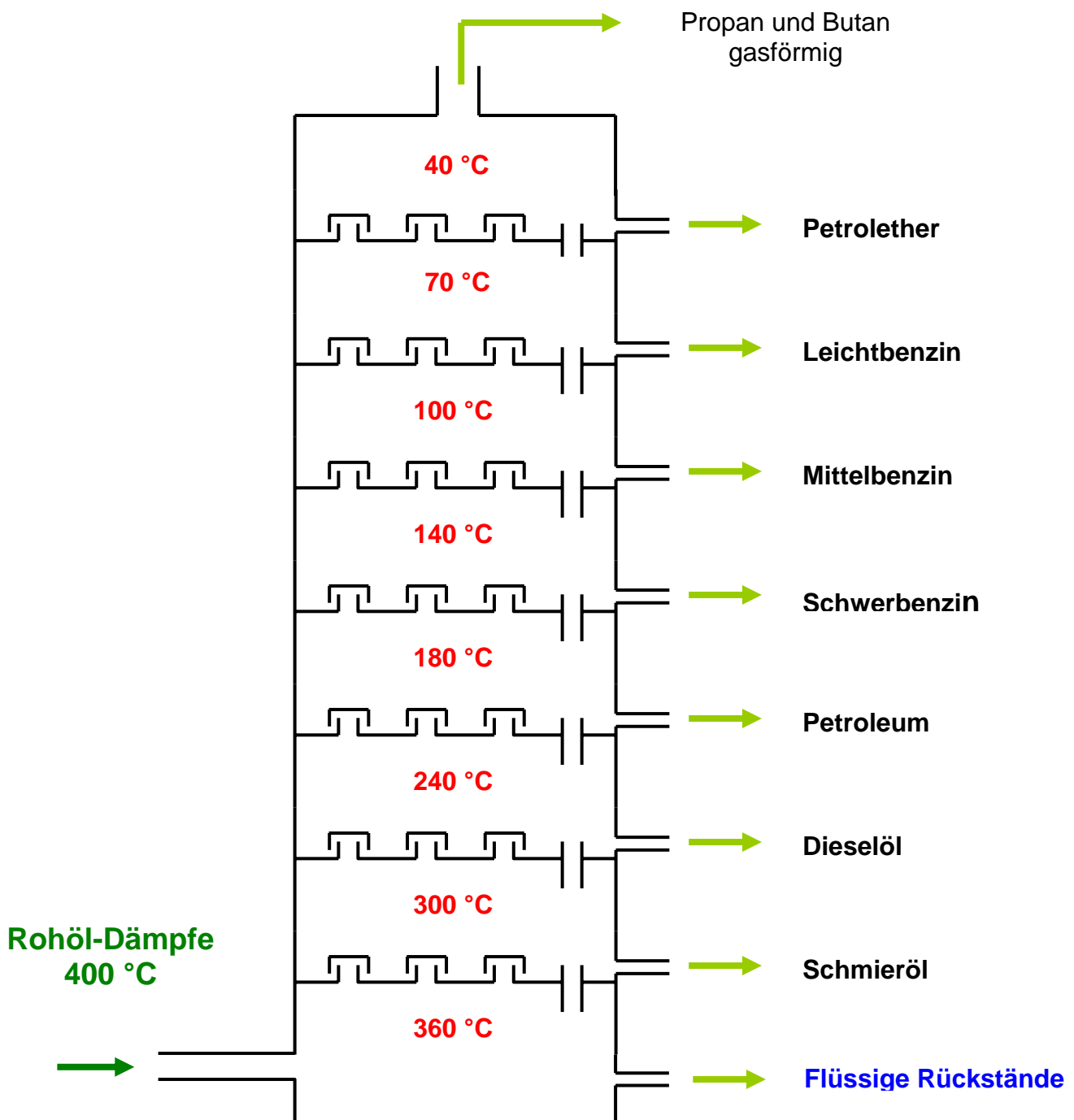
Wegen seiner komplexen Zusammensetzung, die je nach Fundstelle stark variieren kann, eignet sich das Rohöl nicht direkt zur Verwendung. Es muss zuerst in technisch sinnvolle Teilgemische zerlegt werden. Dies geschieht in riesigen Trennanlagen, die man als Raffinerien bezeichnet. In einer solchen Anlage durchläuft das Rohöl der Reihe nach drei Prozesse: Destillation unter Normaldruck, Destillation unter Vakuum und Konversion.



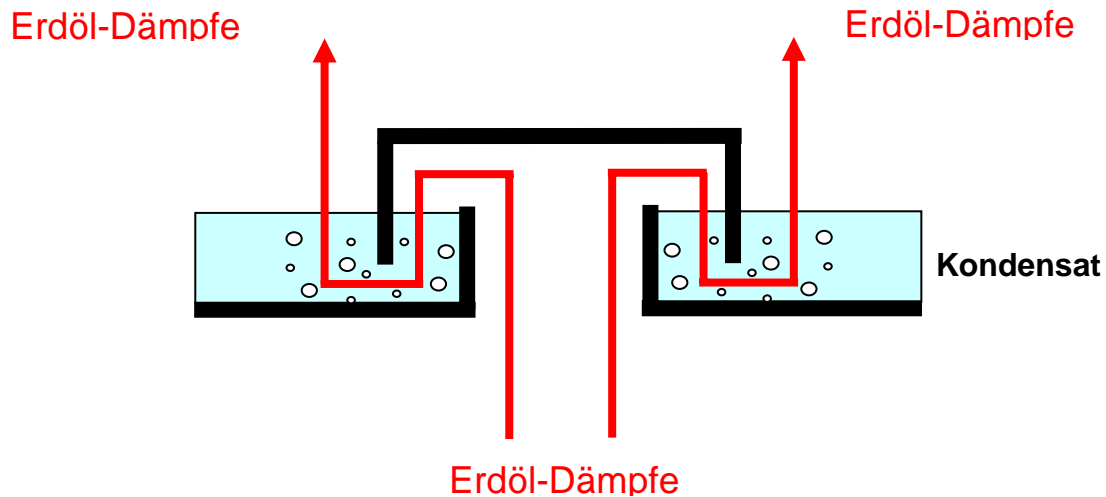
Raffinerie

Die Destillation unter Normaldruck

Das Rohöl wird in einem Röhrenofen auf 400 °C erhitzt. Dabei verdampft es vollständig. Die Dämpfe werden in einen etwa 50 m hohen Destillationsturm geleitet. Dort strömen sie über eine Vielzahl von sogenannten Glockenböden langsam nach oben. Diese Böden sind mit Löchern versehen. Jedes Loch ist mit einem Rand versehen und mit einer Glocke überdeckt. Während der Wanderung nach oben kühlen sich die Dämpfe immer stärker ab. In der Folge kondensieren die einzelnen Dampfkomponenten gemäss ihren Siedepunkten auf verschiedenen Böden. Von diesen können sie in flüssiger Form abgezogen werden.



Die folgende Abbildung erklärt die Funktionsweise einer Glocke: Sie zwingt die Erdöldämpfe, auf ihrem Weg nach oben mit bereits kondensierten Komponenten in Kontakt zu treten und dabei Wärme auszutauschen.

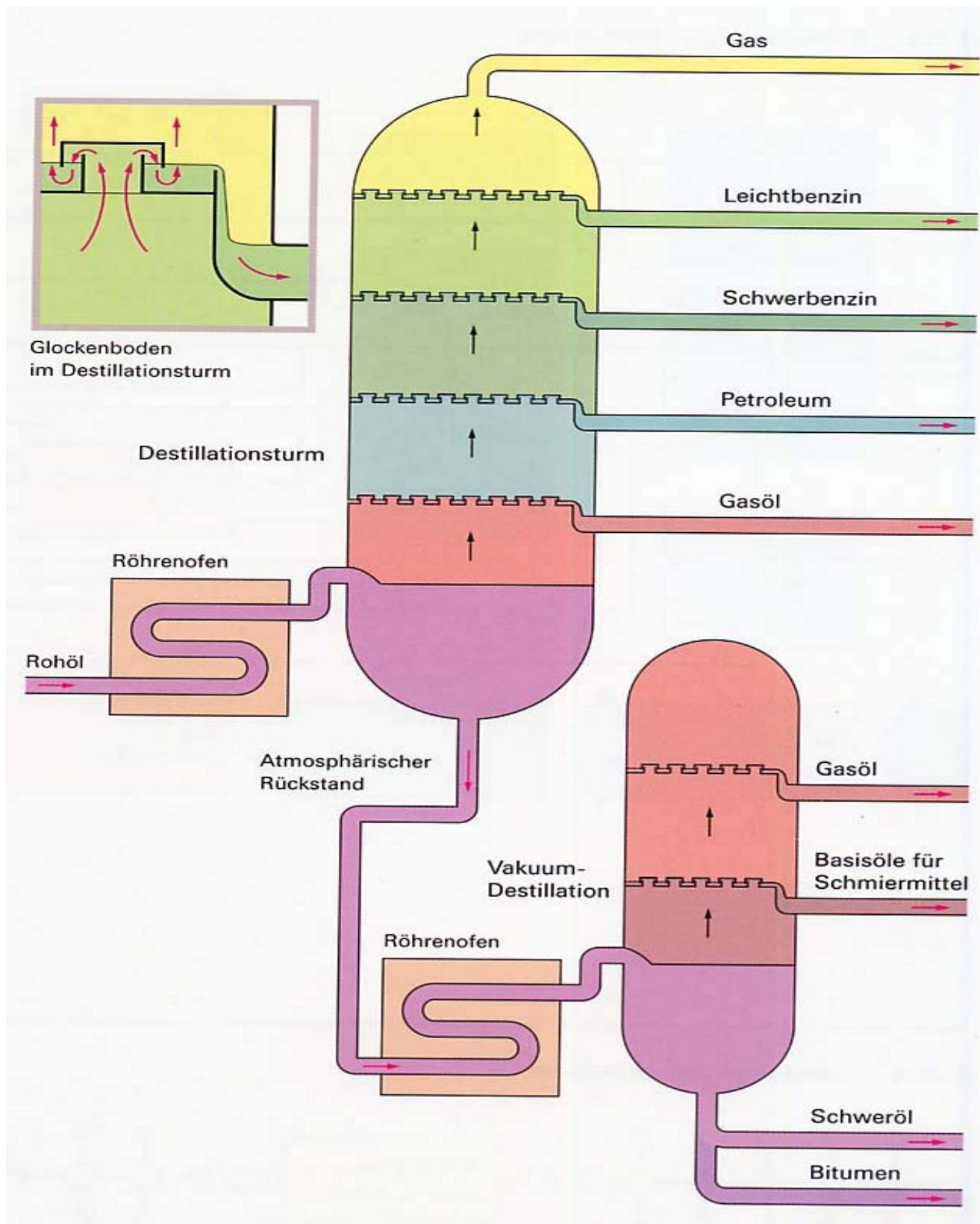


Propan, Butan und andere Erdöl-Komponenten mit sehr tiefen Siedepunkten durchströmen den Destillationsturm ohne zu kondensieren. Sie werden am oberen Ende des Turms abgefangen und mittels Kompressoren verflüssigt.

Erdöl-Komponenten mit Siedepunkten über 360 °C sammeln sich in flüssiger Form am Boden des Destillationsturms. Sie werden zur weiteren Auftrennung einer Destillation unter Vakuum zugeführt.

Die folgende Tabelle fasst noch einmal die bei der Destillation unter Normaldruck anfallenden Fraktionen zusammen und gibt einige typische Verwendungen an. Man beachte, dass es sich bei den aufgeführten Fraktionen nicht um Reinstoffe handelt.

Siedebereich	Bezeichnung	Anzahl C-Atome	Typische Verwendung
040 - 070 °C	Petrolether	5 - 6 pro Molekül	Lösemittel für Fette, Chemikalienquelle
070 - 100 °C	Leichtbenzin	6 - 8 pro Molekül	Benzinkocher, Reinigungsmittel
100 - 140 °C	Mittelbenzin	8 - 10 pro Molekül	Treibstoff für PKW
140 - 180 °C	Schwerbenzin	9 - 12 pro Molekül	Treibstoff für Düsenflugzeuge
180 - 240 °C	Petroleum	12 - 20 pro Molekül	Farbenindustrie, Pinselreiniger
240 - 300 °C	Dieselöl	12 - 20 pro Molekül	Treibstoff für LKW, Heizöl
300 - 360 °C	Schmieröl	12 - 20 pro Molekül	Motorenöl, Maschinenöl



Schema einer Anlage für die Normaldruck-Destillation von Erdöl mit anschließender Vakuumdestillation.

Die Destillation unter Vakuum

Würde man das Rohöl im Röhrenofen auf über 350 °C erhitzen, so käme es in den Molekülen zum Bruch von chemischen Bindungen. Die Kohlenwasserstoffe würden also chemisch zersetzt. Wertvolle Moleküle gingen damit verloren.

Um den Rückstand aus der Normaldruck-Destillation weiter auftrennen zu können, muss dieser unter Vakuum destilliert werden. Dank der Reduktion des Druckes sinken die Siedepunkte der Komponenten um durchschnittlich 100 °C, so dass sie ohne Probleme destilliert werden können.

Die Vakuumdestillation liefert besonders langkettige Moleküle. Sie können vielfältig verwendet werden. Beispielsweise kann die Qualität des aus der Normaldruck-Destillation stammenden Schmieröls durch den Zusatz langkettiger Moleküle merklich gesteigert werden.

Meist liefert die Vakuumdestillation viel mehr langkettige Moleküle als benötigt. Das macht aber nichts, denn diese können auf chemischem Weg in kleinere Moleküle gespalten werden. Dadurch erhöht sich die Ausbeute des gesamten Trennvorgangs.



- 2.1 Wozu dient ein Gas-Separator? Wie funktioniert er?
- 2.2 Wie kann man rohes Öl von Salzwasser befreien?
- 2.3 Die wohl wichtigsten Bauelemente eines Destillationsturms sind die sogenannten Glockenböden. Welches ist ihre Funktion? Warum braucht es die Glocken? Wozu dient das senkrechte Rohr, das auf jedem Boden angebracht ist?
- 2.4 Warum muss nach der Destillation unter Normaldruck eine Vakuumdestillation erfolgen?



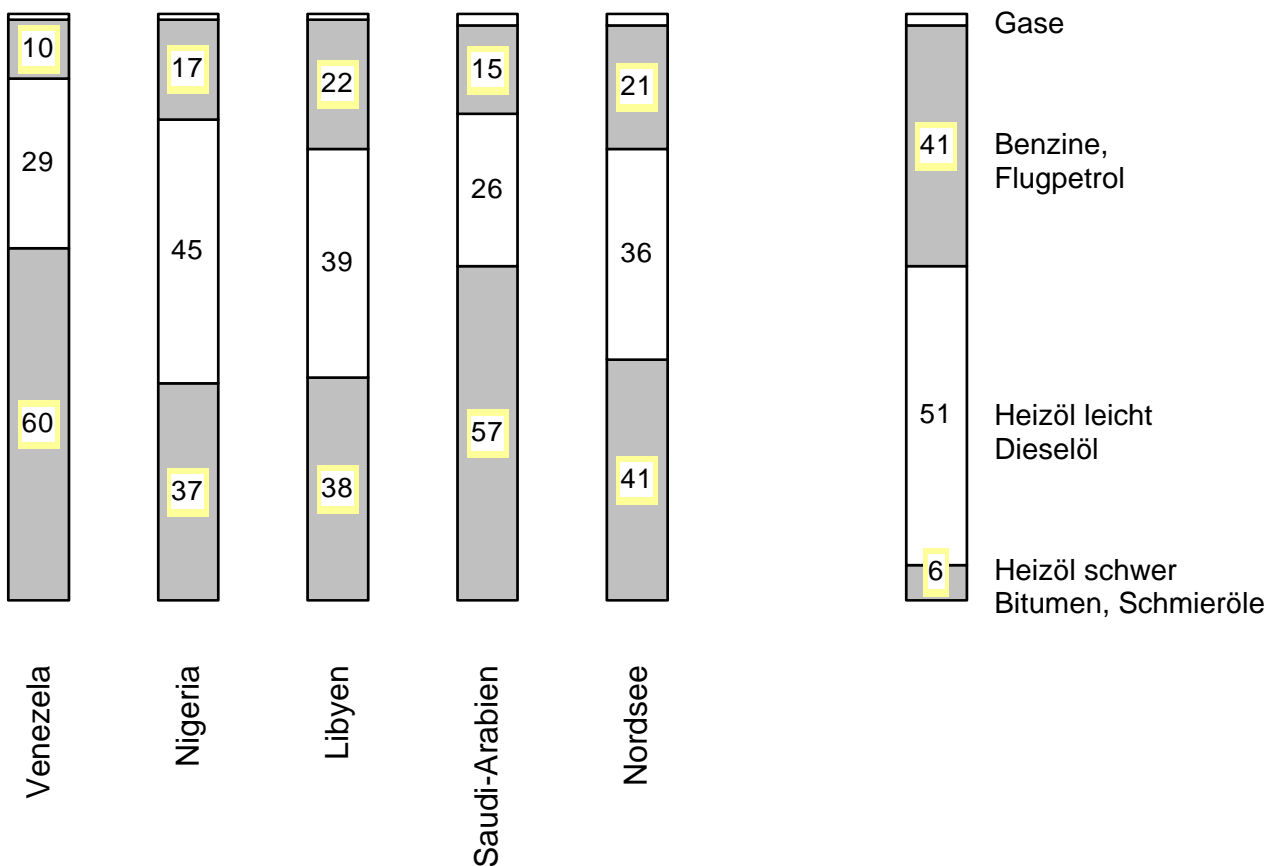
- 2.1 Im Schulzimmer liegt für Sie eine Photokopie bereit. Sie zeigt das Schema einer Erdöl-Destillationsanlage. Beschriften Sie es zur Lernkontrolle aus dem Kopf. Vergleichen Sie anschliessend mit der Vorlage aus dem Leitprogramm.

Das Cracken

Aus den meisten Rohölsorten kann man nur eine bestimmte Menge Treibstoffe gewinnen. Wie die folgende Abbildung zeigt ist die Nachfrage nach Treibstoffen aber bedeutend höher. Andererseits wird in warmen Ländern kein Gasöl gebraucht. Es liegt also nahe, länger-kettige Kohlenwasserstoffe in kurz-kettige zu spalten. Dieses Umwandlungsverfahren nennt man Cracken.

Zusammensetzung von Erdöl verschiedener Herkunft

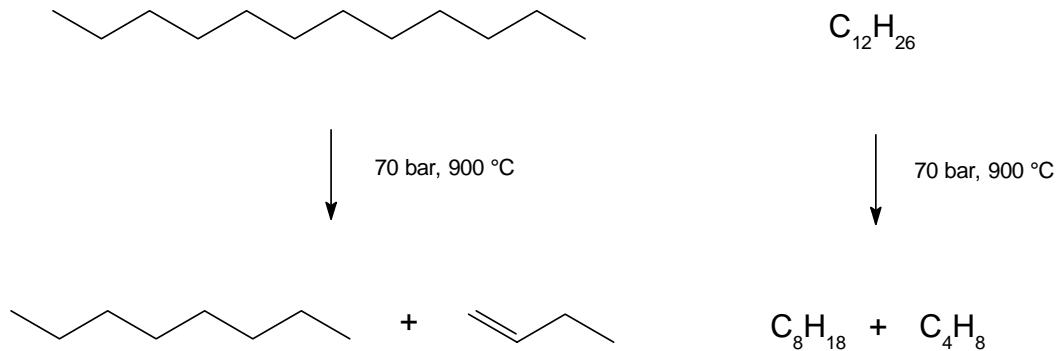
Bedarf Schweiz 2001



Beim thermischen Cracken erfolgt der Spaltprozess unter einem Druck von 70 bar und bei 900 °C. Unter diesen Bedingungen brechen in den Molekülen einzelne chemische Bindungen. Die Ausbeute an kleineren Molekülen beträgt allerdings höchstens 25 %, das heisst, die Spaltung ist bestenfalls bei einem Viertel der Moleküle erfolgreich.

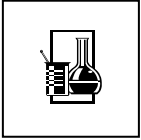
Beim katalytischen Cracken erreicht man durch spezielle Katalysatoren wesentlich höhere Ausbeuten.

Das folgende Reaktionsschema zeigt einen typischen Crackvorgang. Links ist der Vorgang an Hand von Skelettformeln, rechts an Hand von Summenformeln dargestellt:



Man beachte, dass eine Doppelbindung entstehen muss. Die dadurch frei werdenden Wasserstoff-Atome werden nämlich dazu benötigt, die neu entstehenden Molekül-Enden abzuschliessen. Der Ort der Spaltung und die Lage der resultierenden Doppelbindung unterliegen dem Zufall. Es hätten eben so gut zwei andere Fragmente gebildet werden können.

Die entstehenden Alkene sind wichtige Ausgangsmaterialien für Kunststoffe, Lösungsmittel und Chemikalien verschiedenster Art.



2.1 Das Cracken von Kohlenwasserstoffen.

Dieses Experiment ist nicht ganz ungefährlich. Es muss deshalb von der Lehrperson oder einem ausgebildeten Laboranten vorgeführt werden. Melden Sie sich bei der Lehrperson an, um das Experiment vorgeführt zu bekommen.

Gefahrenhinweise: Beim Cracken entstehen Produkte, die mit Luft explosive Gemische bilden können. Die Crackgase dürfen erst entzündet werden, nachdem sämtliche Luft aus der Apparatur verdrängt ist. Vor der Apparatur ist eine Schutzscheibe aufzustellen. Beim Nachweis der Crackprodukte kann carcinogenes 1,2-Dibrommethan gebildet werden. Arbeiten Sie in einem Abzug!

Versuchsaufbau: An einem Stativ wird ein 250 ml Rundkolben mit seitlich angebrachtem zweitem Hals befestigt. Auf den Rundkolben wird ein 100 ml Tropftrichter mit Ausgleichsrohr gesetzt. An den seitlichen Hals werden mittels PTFE-Schläuchen zwei in Serie geschaltete Gaswaschflaschen angeschlossen. Am anderen Ende der Gaswaschflaschen ist ein Gummischlauch angeschlossen, der in einer Glasdüse endet.

Durchführung: In den Tropftrichter werden etwa 20 ml Paraffinöl vorgelegt. In den Rundkolben gibt man etwas Eisenwolle und drückt sie mittels einem Reagenzglas möglichst flach auf dessen Boden. In die erste Gaswaschflasche füllt man etwas Bromwasser.

Aus dem Tropftrichter wird etwas Paraffinöl in den Rundkolben getropft. Letzterer wird nun mit dem Gasbrenner erhitzt, bis die Eisenwolle zu glühen beginnt. Nun wird langsam weiteres Paraffinöl zugetropft. Austretende Crackgase leitet man zunächst in den Abzug.

Wenn sicher alle Luft aus der Apparatur verdrängt ist, können die Crackgase nach der zweiten Waschflasche entzündet werden. Mit der Zeit beginnt sich das Bromwasser zu entfärben.

Frage an die beobachtenden Schüler und Schülerinnen: Was wird durch die Entfärbung des Bromwassers bewiesen?

Nach Dr. Walter Caprez, Kantonsschule Im Lee, Winterthur



- 2.5 Was könnte der Grund sein, dass im rohen Erdöl keine Alkene und Alkine zu finden sind? Stellen Sie eine Hypothese auf!
- 2.6 Ein Destillationsturm wird im Fachjargon auch als Fraktionierkolonne bezeichnet. Können Sie dieses Fremdwort erklären?
- 2.7 Warum ist schwefelhaltiges Heizöl schädlich für die Umwelt?
- 2.8 Beim Cracken von Decan kann Propen gebildet werden. Zeichnen Sie diesen Vorgang mit Hilfe von Skelettformeln auf. Formulieren Sie zudem die Reaktionsgleichung!
- 2.9 Beim Cracken von Decan kann auch Pent-1-en entstehen. Daraus kann durch Polymerisation ein Kunststoff hergestellt werden. Zeichnen Sie dessen Repetiereinheit auf!

3 Treibstoffe und Heizöle

Was erfahren Sie in diesem Kapitel?

Die wichtigsten Raffinerie-Produkte sind Treibstoffe für Autos und Flugzeuge und Heizöl für Wärmeanlagen. Auf dem Markt werden verschiedene Treibstoffe angeboten: Benzin, Diesel, Flugpetrol. An den Tankstellen kann man zudem unter verschiedenen Benzinsorten auswählen: Normal, Super, Bleifrei. Dies hat zu tun mit dem Bestreben, mit weniger Benzin mehr Leistung herauszuholen. Auch die Heizöle werden in zwei Qualitäten angeboten: Heizöl extraleicht und Heizöl schwer. Das Letztere findet aus Umweltschutzgründen immer weniger Absatz. Zum Schluss sollen Sie Einblick in eine moderne Heizanlage werfen können und die Funktion der einzelnen Teile verstehen.

Wie gehen Sie vor, um dieses Kapitel zu bearbeiten?

In diesem Kapitel geht es vorwiegend um folgende Fragen: Warum gibt es verschiedene Benzin- und Heizölsorten? Wie stellt man diese her? Wo werden sie vorwiegend eingesetzt? Sie versuchen aus dem Text eine Antwort zu erhalten. Nach jedem Abschnitt sind kleine Fragen eingestreut. Sie dienen zur Lernkontrolle. Am Schluss des Kapitels finden Sie die Kontrollaufgaben. Die Antworten finden Sie im Lösungsordner. Wenn Sie alles verstanden haben, gehen Sie zur Lehrperson. Diese stellt Ihnen einige kurze Testfragen zu diesem Kapitel.

Um den Kapiteltest erfolgreich bestehen zu können, müssen Sie folgende **Lernziele** erreicht haben:

- Sie können anhand eines Ottomotor-Modells erklären, warum eine Selbstzündung des Benzin-Luft-Gemisches eintreten kann und wie man sie verhindert.
- Sie können den Begriff Oktanzahl erklären. Sie können Auskunft geben, wie man die Oktanzahl im Benzin erhöht.
- Sie können darlegen, warum bei Dieseltreibstoffen die Oktanzahl keine Rolle spielt.
- Sie kennen den Unterschied zwischen Heizöl extraleicht (oeko) und Heizöl schwer.
- Sie können den Betrieb einer Ölheizung anhand einer Skizze erklären.

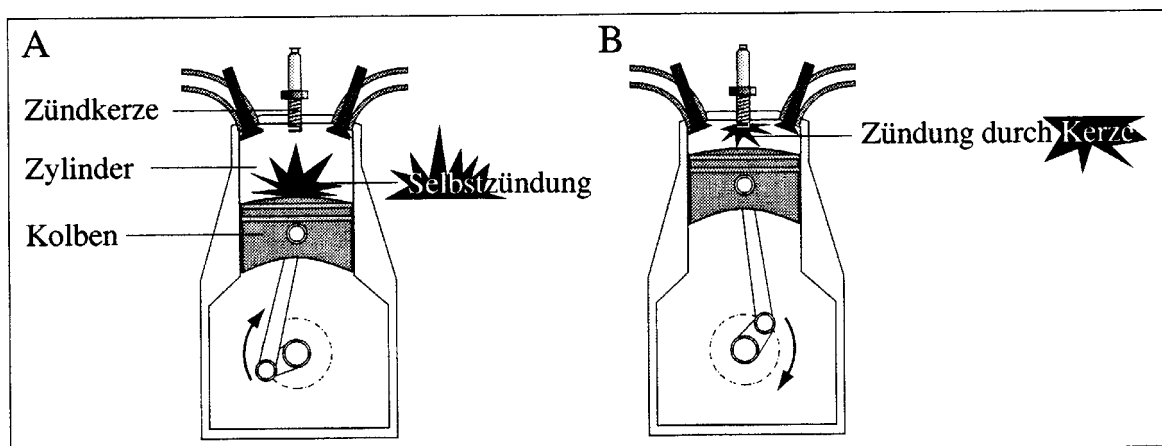
Treibstoffe für Benzinmotoren

An der Tankstelle kann man verschiedene Benzine kaufen: Super - Normal - Bleifrei. Wie unterscheiden sich diese Benzinsorten?

Benzin ist ein Treibstoff für Benzinmotoren (Ottomotoren). Es ist ein Gemisch aus über 100 verschiedenen Kohlenwasserstoffen und siedet im Bereich 30 °C bis 180 °C. Es enthält Alkane mit 5 bis 12 C-Atomen, Cycloalkane, Aromaten und Alkene.

Die an den Tankstellen angebotenen Benzine unterscheiden sich in der *Klopffestigkeit*. Um diese Eigenschaft zu verstehen, müssen wir die Funktion eines Benzinmotors genauer ansehen.

Das Benzin-Luftgemisch gelangt vom Vergaser in den Zylinder. Der Kolben verdichtet das Gemisch. Bei der maximalen Verdichtung bringt der Zündfunke der Zündkerze das Gemisch zur Explosion. In Wirklichkeit läuft das aber nicht immer so reibungslos. Beim Komprimieren erhitzt sich das Benzin-Luftgemisch. Dabei kann es vorkommen, dass eine *Selbstzündung* eintritt, bevor der Kolben die maximale Höhe erreicht hat. Diese verfrühte Selbstzündung erhöht den Druck im Zylinder stark. Sie wird als Klopfen wahrgenommen. Die Folgen sind: verminderte Leistung des Motors, erhebliche Schädigung der mechanischen Teile.

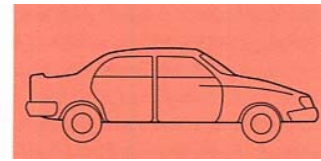
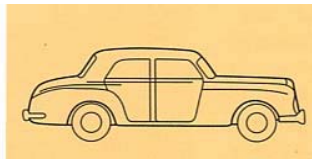
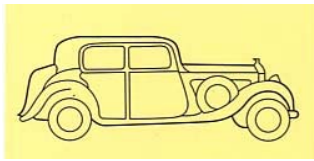


aus AKAD, Chemie II, Lektion 3, Seite 37

Warum wird eine hohe Klopffestigkeit angestrebt?

Der spezifische Treibstoffverbrauch von Benzinfahrzeugen ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gesunken. Dieser Fortschritt ist in erster Linie dank höherer Verdichtung des Benzin-Luftgemisches zustande gekommen. Dabei entsteht weniger Wärme und mehr mechanische Energie. Um eine höhere Verdichtung zu erreichen, muss die Klopffestigkeit erhöht werden.

Verbrauch, Verdichtung und Oktanzahl



	1935	1955	1995
Verbrauch l / 100 km	12	10	8.2
Verdichtungs- Verhältnis	1 : 5.5	1 : 8	1 : 10
Oktanzahl	69	85	95



3.1 Beim Erhitzen des Benzin-Luftgemisches zerbrechen die Alkanmoleküle. Dabei bilden sich reaktionsfähige Teilchen, die zur Selbstzündung führen. Geht die Spaltung der kovalenten Bindung homolytisch oder heterolytisch vor sich? Begründen Sie und benennen Sie die entstehende Teilchenart.

Erklärung: homolytisch bedeutet "mitten durch", heterolytisch bedeutet "einseitig".

Wie wird die Klopfestigkeit ausgedrückt?

Als Mass für die Klopfestigkeit dient die *Oktanzahl (OZ)*. Eine hohe Oktanzahl bedeutet eine hohe Klopfestigkeit. Die Oktanzahl des Benzins wird in einem speziellen Prüfmotor gemessen. Bei diesem Prüfmotor kann das Verdichtungs-Verhältnis variiert werden. Somit gelingt es, den Beginn der klopfenden Verbrennung zu bestimmen. Als Eckpunkte wählte man zwei Kohlenwasserstoffe aus und ordnete ihnen auf Grund des Verhaltens im Prüfmotor bestimmte Oktanzahlen zu:

- 2,2,4-Trimethylpentan : Oktanzahl 100
- Heptan : Oktanzahl 0

Verhält sich nun ein Benzin wie ein Gemisch aus 75 % 2,2,4-Trimethylpentan und 25 % Heptan, so erhält es die Oktanzahl 75. *Normalbenzine* besitzen eine Oktanzahl von mindestens 91. *Superbenzine* müssen eine Oktanzahl von mindestens 98 erreichen.

Wie kann man die Oktanzahl erhöhen?

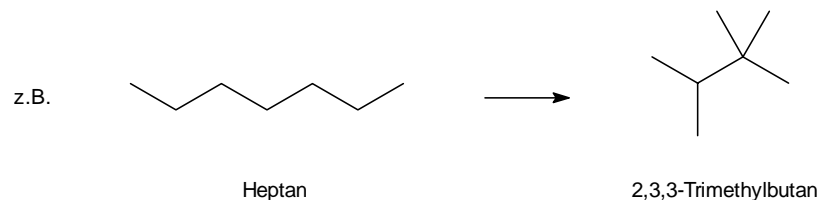
Eine erste Möglichkeit ist das sogenannte *Reformieren* des Benzins. Die aus der Normaldruck-Destillation und dem Crack-Prozess stammenden Benzine sind nur wenig klopfest und können den Anforderungen leistungsstarker Motoren nicht genügen. Deshalb muss die Qualität des Benzins verbessert werden. Dies geschieht in der Raffinerie beim *katalytischen Reformieren*. *Reformare* kommt aus dem Latein und bedeutet *umformen*.

Als Katalysator wird meist fein verteiltes Platin verwendet. Dieses Verfahren wird deshalb auch *plating* genannt, abgeleitet vom englischen Fachausdruck "platinum reforming".

Bei 500 °C und einem hohen Druck von bis zu 3 MPa laufen folgende Umwandlungen ab:

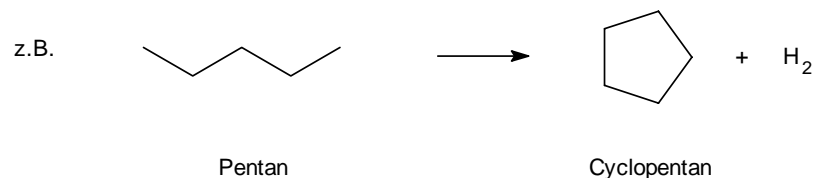
Isomerisierung

Lineare Alkane werden in verzweigte Isomere umgewandelt.



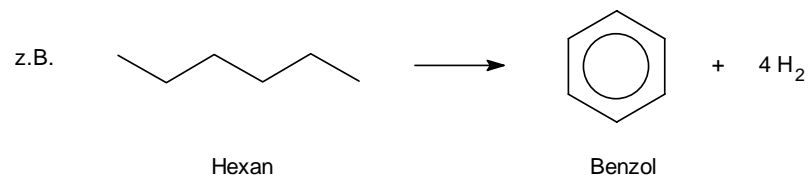
Cyclisierung

Lineare Alkane werden zu cyclischen Alkanen umgewandelt:

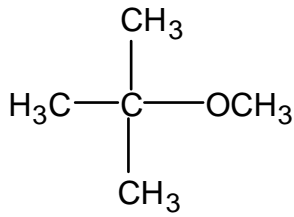


Aromatisierung

Lineare Alkane werden zu aromatischen Kohlenwasserstoffen umgewandelt:



Benzine mit verzweigten, cyclischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen sind wesentlich klopfester. Allerdings kann der hohe Gehalt an aromatischen Verbindungen beim Einatmen von Benzindämpfen zu schweren Gesundheitsschäden führen.



MTBE

Kohlenwasserstoff	Oktanzahl
Pentan	62
2-Methylbutan	90
Hexan	26
2-Methylpentan	74
Heptan	0
2-Methylhexan	46
3-Methylhexan	66
Cyclopentan	85
Cyclohexan	77
2,2,4-Trimethylpentan	100
Benzol	106
Toluol	109

Gibt es noch eine andere Möglichkeit zur Erhöhung der Oktanzahl?

Ja, eine zweite Variante ist die Zugabe von Antiklopfmitteln. In den letzten Jahrzehnten war das Bleitetraethyl $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ das am häufigsten verwendete Antiklopfmittel. Auf dem Höhepunkt des Verbrauchs um 1980 gelangten so bis zu 900 Tonnen Blei in die Böden der Schweiz. Blei und seine Verbindungen sind stark giftig. Mit der Einführung des Autokatalysators musste bleifreies Benzin verwendet werden, weil Blei den Katalysator unwirksam macht.

Zur Kompensation werden dem Benzin hochoktanige Komponenten zugesetzt. Heute ist es vor allem Methyltertiärbuthylether mit einer Oktanzahl von 117. Die Abkürzung für diese Verbindung lautet MTBE.

Pro Jahr werden fast 100'000 Tonnen MTBE verbraucht. Bleifreies Benzin enthält davon ca. 3 %, Superbenzin rund 10 %.

Aber auch beim MTBE werden Vorbehalte, vor allem aus den USA angebracht. MTBE ist gut wasserlöslich, aber schwer biologisch abbaubar. Es sammelt sich im Grundwasser an. Schon bei Konzentrationen von weniger als 100 Mikrogramm MTBE pro Liter Wasser bewirkt er einen unangenehmen Geruch und führt zu Geschmacksveränderungen. Über die Giftigkeit und über die potentiellen Umweltgefahren durch MTBE gibt es kaum Daten. Die Untersuchungen laufen.



3.2 Welche drei typischen Produkte-Klassen entstehen beim Reformieren von Benzin?

3.3 Welche Verbindung wird die höhere Oktanzahl besitzen: 2,2,4-Trimethylpentan oder 2,2,3,3-Tetramethylbutan?

Andere Treibstoffe

Dieseltreibstoff

Im Gegensatz zum Benzinmotor benötigt der Dieselmotor keine elektrische Zündung. Im Ansaugtakt wird reine Luft in den Zylinder gesogen und anschliessend stark komprimiert. Die Temperatur steigt dabei auf 700 °C bis 900 °C. Im geeigneten Zeitpunkt wird fein zerstäubtes Dieselöl in den Zylinder eingespritzt. Das Gemisch explodiert ohne Zündkerze.

Das Verdichtungsverhältnis ist mit 1:20 viel höher als bei einem Benzinmotor mit 1:10. Infolge der höheren Verdichtung ist der Wirkungsgrad des Dieselmotors wesentlich besser. Dies drückt sich aus in einem um rund 25 % tieferen Treibstoff-Verbrauch und in einem entsprechend tieferen CO₂-Ausstoss.

Dieseltreibstoff hat unter den Treibstoffen den höchsten Siedebereich: 200 °C bis 370 °C. Er entspricht jenem von Heizöl extraleicht. Diese beiden Produkte unterscheiden sich auch nicht grundsätzlich voneinander.

Dieselöl enthält Schwefel als Verunreinigung. Ist der Schwefelgehalt zu hoch, kommt es zu starken Korrosionswirkungen im Motor. Zudem entsteht bei der Verbrennung das umweltschädliche Schwefeldioxid SO₂. Der Schwefelgehalt von Dieselöl ist in der Schweiz in mehreren Schritten gesenkt worden und darf seit 1994 nur noch 0.05 % betragen.

Treibstoffe für Düsentriebwerk

In einem Düsentriebwerk wird der Treibstoff direkt in stark verdichtete Luft eingespritzt und verbrennt darin ohne Zündung.

In der Luftfahrt haben sich zwei Typen von Treibstoffen für Düsentriebwerke durchgesetzt:

- das JET A-1 mit einem Siedebereich von etwa 150 °C bis 240 °C für die Zivilluftfahrt.
- das JET B mit einem Siedebereich von etwa 60 °C bis 240 °C für die Luftwaffe.

Das oben erwähnte Flugpetrol ist wegen des hohen Siedepunktes schwer entflammbar. Es muss aber auch unter extremen Bedingungen gut zündbar sein. Das meist unter den Tragflächen gespeicherte Flugpetrol ist in grossen Höhen sehr tiefen Temperaturen ausgesetzt. Sein Gefrierpunkt muss daher bei etwa minus 50 °C liegen, damit die Zufuhr zu den Turbinen nicht unterbrochen wird.

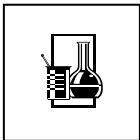
Heizöle decken den Wärmebedarf

In den letzten Jahrzehnten stieg der Verbrauch von Warmwasser stetig. Erhöhte Hygieneansprüche in Haushalten und Industrie sind dafür verantwortlich. Die früher eingesetzte Kohle wurde durch Heizöl ersetzt. Die saubere und einfache Handhabung und die rauchlose Verbrennung des Heizöls begünstigten den Ersatz der Kohle. Heizöl wurde zum mengenmässig wichtigsten Erdölprodukt.

Heizöl wird in die beiden Sorten *Heizöl EL* (extraleicht) und *Heizöl S* (schwer) unterteilt.

Heizöl EL ist bei Normalbedingungen hell und dünnflüssig. Der Siedebereich liegt zwischen 160 °C und 400 °C. Bei tiefen Temperaturen kristallisieren Paraffine aus, und das Heizöl verliert seine Fließfähigkeit. Deshalb muss das Heizöl frostsicher in einem Tank im Keller gelagert werden. Im Verlaufe der Zeit können sich auf dem Tankboden Emulsionen aus Alterungsprodukten und Wasser bilden. Dadurch könnte der Betrieb der Heizung gestört werden. Nach Gesetz müssen Heizölanlagen deshalb alle 10 Jahre revidiert werden.

Heizöl S ist eine Mischung aus den Rückständen, welche bei den verschiedenen Destillations- und Raffinationsverfahren entstehen. Es dient vor allem als Brennstoff in der Industrie.



3.1 Im Schulzimmer oder im Labor stehen Proben von verschiedenen Treibstoffen und Heizölen. Füllen Sie folgende Tabelle aus:

Flascheninhalt	Farbe	Entzündbarkeit mit Zündholz

Die Prüfung auf die Entzündbarkeit muss im laufenden Abzug erfolgen. Mit der Pipette wird der Flasche ca. 1 ml Flüssigkeit entnommen und in ein Uhrglas gegeben. Dann wird die Flasche wegen **Brandgefahr** verschlossen und weit weg gestellt. Mit einem brennenden Zündholz wird versucht, die Flüssigkeit zu entzünden.

Sicher ist Ihnen aufgefallen, dass die soeben untersuchten Treibstoffe auffällige Farben aufweisen. Dabei handelt es sich allerdings nicht um Eigenfarben, sondern um zugesetzte Farbstoffe. Diese dienen zur besseren Identifikation und Verhütung von Missbrauch, Umgehung von Steuern (siehe Kapitel 4).

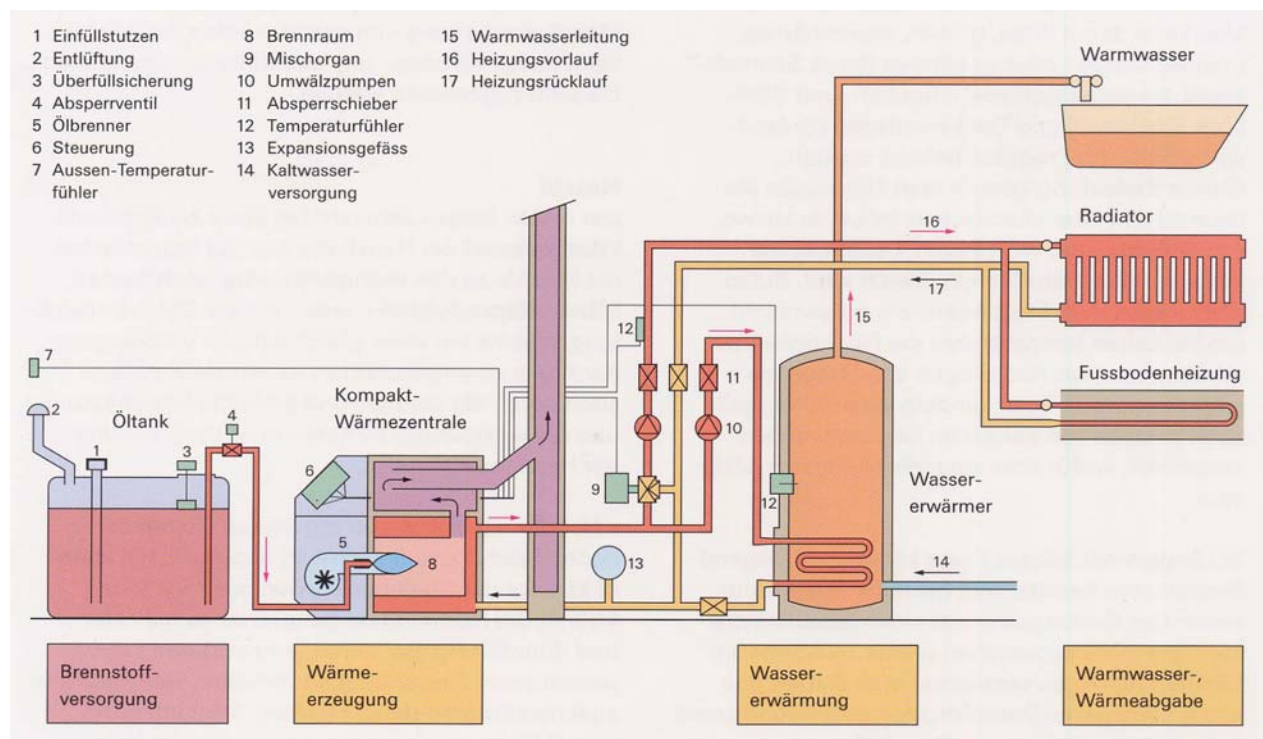
Die Schwefelverbindungen in den Erdölprodukten bilden beim Verbrennen den Luftschadstoff SO_2 . Aus Gründen der Lufthygiene versuchen die Behörden den Gehalt an Schwefel zu begrenzen. Dies erreichen sie heute durch Lenkungsabgaben. So wurde 1998 eine Gebühr von Fr. 12.- pro Tonne Brennstoff von mehr als 0.1 % Schwefel eingeführt. Die eingenommenen Gelder werden an jeden Einwohner in Form von Krankenkassenbeiträgen verteilt.

Beim *Heizöl EL* darf der Schwefelgehalt 0.2 % nicht übersteigen. Durch aufwändige Reinigungsverfahren wird der Schwefelgehalt auf den geforderten Wert herabgesetzt. Im Zuge des verstärkten Umweltbewusstseins wird heute ein *Heizöl EL oeko* angeboten, welches nur noch 0.05 % Schwefel enthält. Zudem ist das Heizöl auch bei tieferen Temperaturen einsetzbar, weil sich keine Kristalle mehr bilden. Der Preis liegt ca. 5 % höher.

Heizöl schwer lässt sich nach den üblichen Verfahren nicht entschwefeln, da es Metallverbindungen enthält, die den eingesetzten Katalysator unwirksam machen. Bei einem zulässigen Schwefelgehalt von 1 % lassen sich in der Schweiz nur schwefelarme Rohöle aus der Nordsee und aus Nordafrika in der Raffinerie verarbeiten.

In der Schweiz werden über 60 % der Wohn- und Dienstleistungsgebäude mit *Heizöl EL* beheizt. Der Ölvorrat im eigenen Tank gewährleistet eine grosse Versorgungssicherheit. Die Verbrennungstechnik hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht: Der Wirkungsgrad von Ölbrennern wurde deutlich erhöht und der Schadstoffausstoss reduziert. Verbunden mit einer besseren Isolierung von Gebäuden konnte der Verbrauch an Heizöl in den letzten 20 Jahren um annähernd die Hälfte reduziert werden.

Prinzip einer Ölheizung:





- 3.4 Heizöl hat die Kohle als Energieträger weitgehend ersetzt. Nennen Sie zwei mögliche Gründe.
- 3.5 Heizöltanks für Wohnhäuser müssen laut Gesetz im Innern der Gebäude untergebracht werden. Dabei muss wertvoller Wohn- oder Kellerraum geopfert werden. Weshalb dürfen die Tanks nicht im Freien stehen?
- 3.6 Eine Ölheizung ist ein sehr komplexes System. Wie erreicht man,
- dass beim Einfüllen von Heizöl keine Überfüllung stattfindet, welche zu einem Auslaufen führt?
 - dass die Raumtemperatur auf 20°C eingestellt werden kann und dass die Temperatur eingehalten wird?
 - dass kein Rohrbruch entsteht, wenn sich das Wasser beim Erwärmen ausdehnt?

Additum

4 Erdöl und die Schweiz

Was erfahren Sie in diesem Kapitel ?

Erdöl ist der wichtigste Energieträger in der Schweiz. Das war nicht immer so. Mit dem rasanten Wirtschaftswachstum stieg der Energiebedarf massiv an. Zwischen 1950 und 1990 vervierfachte sich der Energieverbrauch. Im Zuge der Erdölkrisen in den Siebzigerjahren verlor das Erdöl an Marktanteilen. In diesem Kapitel erfahren Sie zudem, dass die Treibstoffzölle und Treibstoffsteuern wichtige Einnahmequellen des Bundes darstellen.

Wie gehen Sie vor, um dieses Kapitel zu bearbeiten?

Dieses Kapitel ist reserviert für besonders schnelle und interessierte Lernende. Sie erfahren viele neue Zusammenhänge zwischen Wirtschaft und Politik. Sie können auch auf die neuesten Zahlen über Internet zugreifen. Wenn Sie die Kontrollaufgaben gelöst haben, melden Sie sich bei der Lehrperson für den Kapiteltest. So können Sie wertvolle Zusatzpunkte gewinnen.

Um den Kapiteltest erfolgreich bestehen zu können, müssen Sie folgende **Lernziele** erreicht haben:

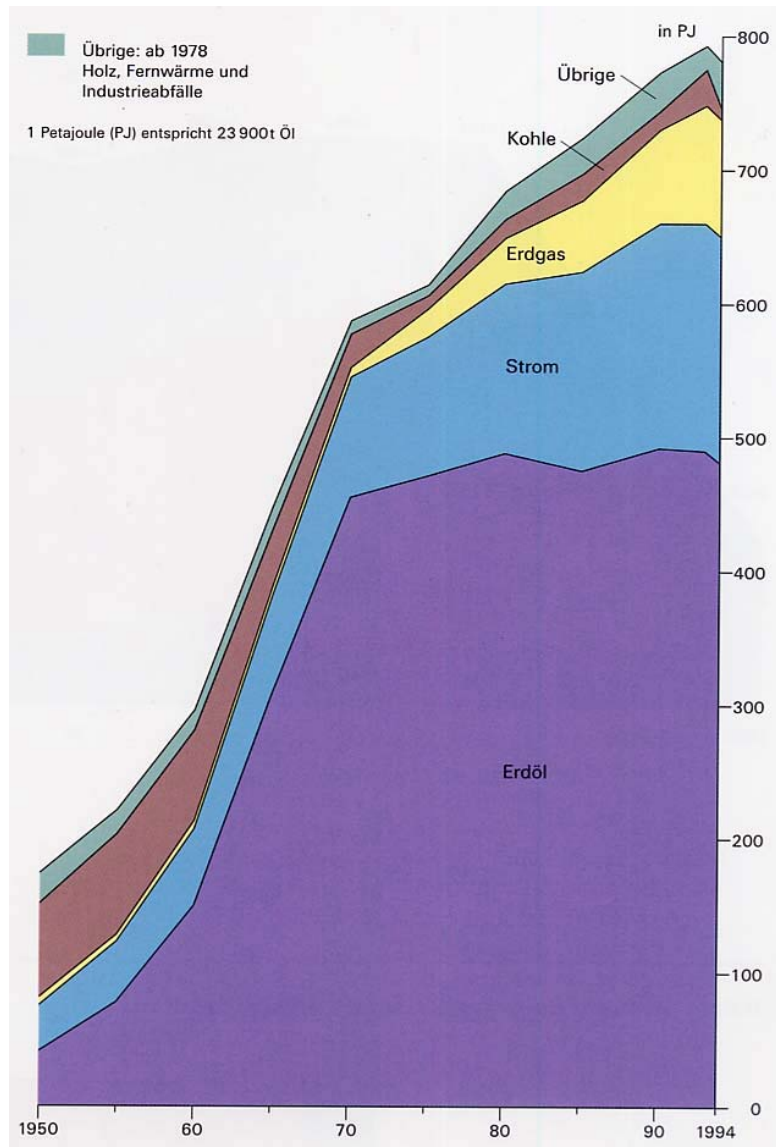
- Sie können die wichtigsten drei Energieträger in der Schweiz aufzählen.
- Sie können drei Gründe für die Steigerung des Energieverbrauchs von 1950 bis 1990 angeben.
- Sie können erklären, weshalb der Erdölanteil ab 1970 ungefähr konstant geblieben ist, trotz steigender Energienachfrage.
- Sie können in einer unbeschrifteten Darstellung den gegenwärtigen Verbrauch an Erdölfraktionen angeben.
- Sie können die ungefähren prozentualen Anteile der In- und Auslandskosten, der Steuern am Endpreis von Benzin und Heizöl angeben.

Die Energieträger und ihre Anteile in der schweizerischen Energieversorgung

Die Schweiz hat in der Nachkriegszeit ein ungeahntes Wirtschaftswachstum erlebt. Die Verdienstmöglichkeiten stiegen von Jahr zu Jahr. Dank des grösseren Einkommens konnten die Wünsche nach grösserer Wohnfläche und nach vermehrter Mobilität verwirklicht werden. Im Zeitraum zwischen 1950 und 1994 stieg die Bevölkerung um 50 %. Der Wohnungsbestand stieg dagegen um 260 %, der Fahrzeugbestand gar um 1900 %

Dies hatte auch Auswirkungen auf den Energieverbrauch. Die Zunahmen betragen in diesem Zeitraum 450 %. In der nebenstehenden Graphik wird sichtbar, dass die steigende Energienachfrage vorwiegend durch Erdölprodukte gedeckt wurde. Gleichzeitig nahm die Bedeutung der anfänglich dominierenden Kohle ab.

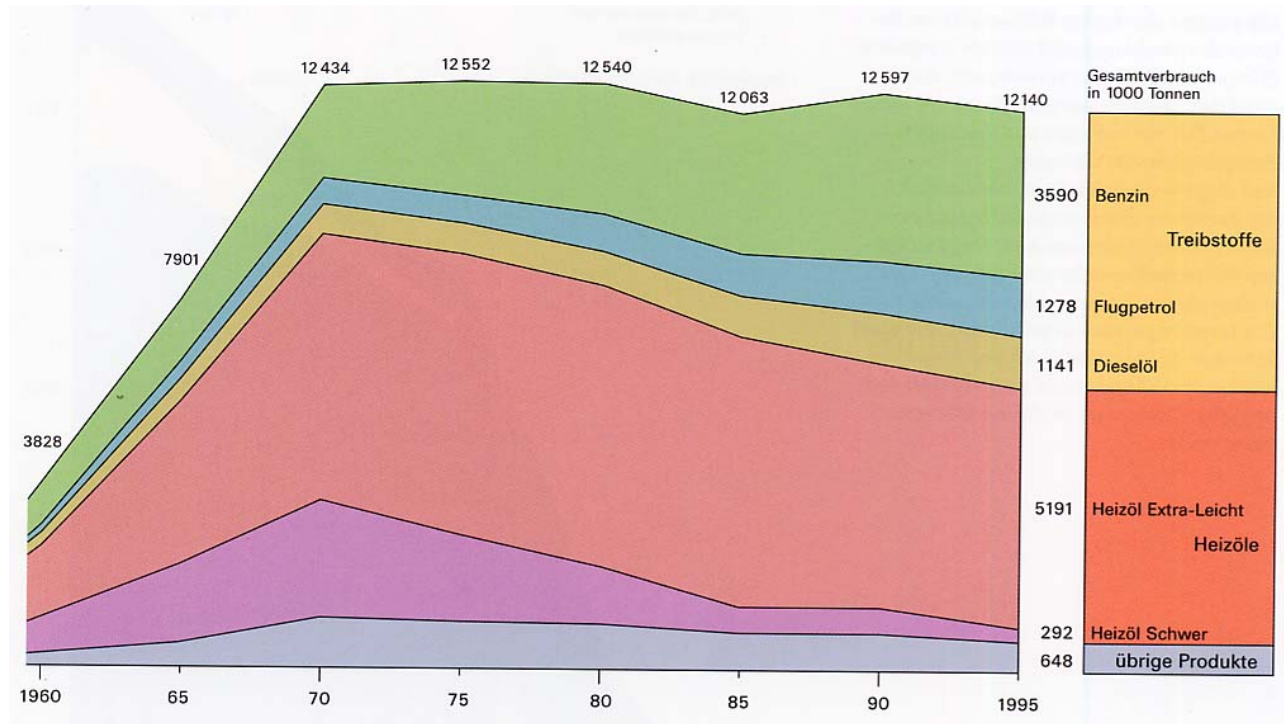
Durch den Zusammenschluss ölexportierender Staaten verteuerte sich das Erdöl auf dem Weltmarkt. Die Schweiz reagierte mit Sparmassnahmen und mit der Förderung anderer Energieträger, nämlich Atomstrom und Erdgas. Dies hatte zur Folge, dass der Anteil des Erdöls am Energieverbrauch bei ca. 61 % stagnierte.



- 4.1 Die OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries) wurde 1960 gegründet mit dem Ziel, durch Regulierung der Fördermenge einen stabilen Preis für Erdöl zu erhalten. Der Erfolg war mässig, bis 1973-1974 ein Krieg die OPEC veranlasste einen Lieferungsboykott anzudrohen. Bei diesem Anlass verdreifachte sich der Erdölpreis. Versuchen Sie die geschichtlichen Hintergründe zu erfahren. Dazu liegt ein Geschichtsbuch auf.

Die Veränderung der Verbrauchsstruktur

Drastische Preiserhöhungen für Erdöl in den Jahren 1974, 1978, 1980 führten zu einem leichten Rückgang des Verbrauchs von Erdölprodukten. Gleichzeitig veränderte sich die Verbrauchsstruktur:



Wegen verschärfter Vorschriften zur Reinhaltung der Luft stieg die Industrie zunehmend von Heizöl schwer auf Erdgas und Elektrizität um. Insbesondere wurden die Kernkraftwerke ausgebaut.

Auch das Heizöl extraleicht erhielt Konkurrenz durch die Förderung von Erdgas- und Elektroheizungen. Zudem konnte der Verbrauch an Heizöl durch bessere Isolation der Häuser und durch den Einbau moderner Brenner gesenkt werden.

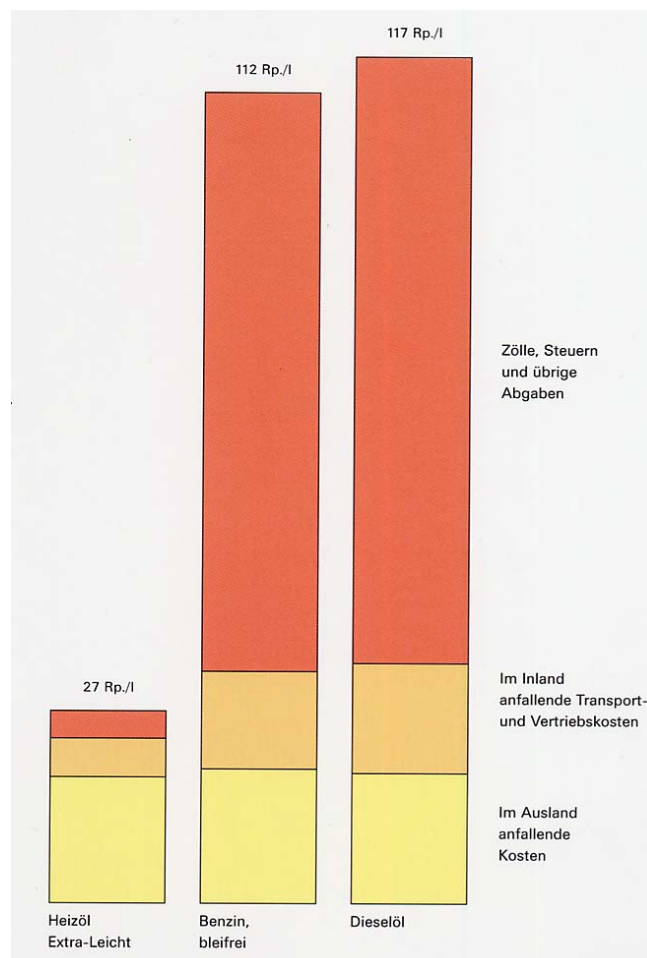
Das steigende Mobilitätsbedürfnis liess den Anteil an Benzin und Flugpetrol jedoch steigen.

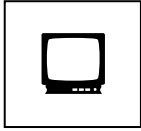
Die Preise von Erdölprodukten in der Schweiz

Die Endpreise für Erdölprodukte werden beeinflusst ...

- vom Rotterdamer Spotmarkt. Hier spielen die Marktkräfte von Angebot und Nachfrage die wichtigste Rolle. Sie beeinflussen den Endpreis sehr stark, da zwei Drittel der in der Schweiz verbrauchten Erdölprodukte von dort importiert werden. Das Meiste davon stammt aus Nordwesteuropa. Für diese Importe ist der Rhein der wichtigste Transportweg.
- von den Frachtgebühren der Rheinschifffahrt. Sie richten sich nach Angebot und Nachfrage Schiffsraum und nach dem Wasserstand des Rheins.
- vom aktuellen Dollarkurs.
- von den Transportkosten im Inland.
- von den Steuern und Zöllen.

Aus der nebenstehenden Graphik kann man entnehmen, dass die staatlichen Abgaben um die 70 % des Endpreises ausmachen. Der Ertrag fliesst zu $\frac{2}{5}$ in die allgemeine Bundeskasse und zu $\frac{3}{5}$ in den Strassenbau. Diese Gelder dienen zum grossen Teil zur Finanzierung des Nationalstrassenbaus.





1.1 Beschaffen sie sich im Internet unter der Adresse www.erdöl.ch Antworten zu folgenden Fragen:

- a) Aktueller Verbrauch an Erdölprodukten in der Schweiz?
- b) Wie hoch ist der gegenwärtige Benzinpreis in Rp/l?
- c) Welcher Prozentsatz an Steuern liegt auf dem Literpreis?
- d) Was nahm der Bund im letzten Jahr an Benzinsteuern ein?

Nehmen sie die Zahlen zum Kapiteltest mit.



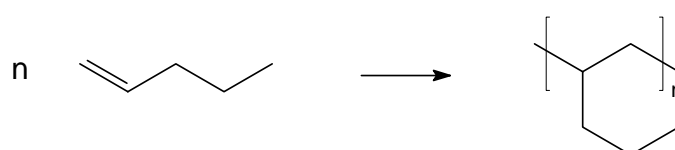
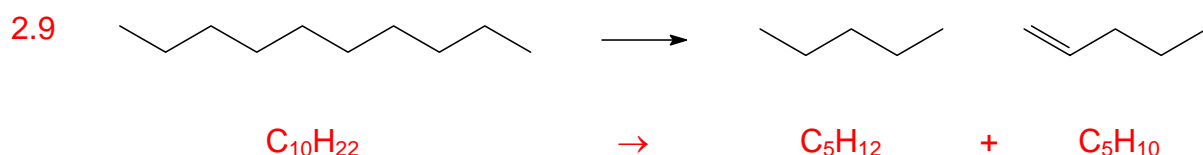
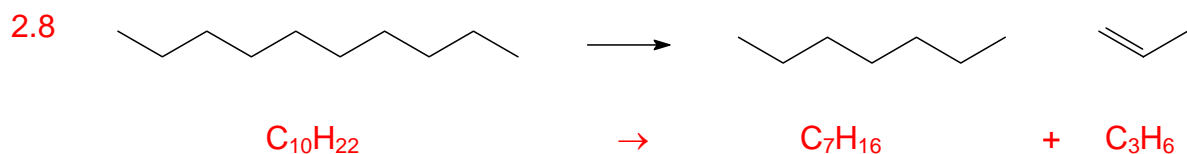
- 4.1 Wie gross ist der prozentuale Anteil der Elektrizität 1994 am totalen Energieverbrauch?
- 4.2 Warum führt der Ersatz von Heizöl schwer durch Erdgas zu einer sauberen Luft?
- 4.3 Von Zeit zu Zeit fallen oder steigen die Benzinpreise an den Tank-säulen. Welche Argumente könnten die Mineralölfirmen ins Feld führen?
- 4.4 1994 betrug der Steuerertrag auf Erdölprodukten 4.9 Milliarden Franken. Davon flossen 3 Milliarden in einen zweckgebundenen Fonds. Wozu wird dieses Geld verwendet?
- 4.5 Warum kam es 1974 zu einer Verdreifachung des Erdölpreises?

Anhang

A Lösungen der Kontrollaufgaben

- 1.1 Unter Erdöl versteht man ein kompliziert zusammengesetztes Gemisch von sogenannten Kohlenwasserstoffen.
- 1.2 Unter Kohlenwasserstoffen versteht man chemische Verbindungen, deren Moleküle ausschliesslich aus Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen aufgebaut sind.
- 1.3 In einem schwach bewegten und wenig durchlüfteten Meeresbecken muss früher einmal Plankton auf den Meeresgrund gesunken sein. Ein Teil davon muss als Tiefseeschlamm liegen geblieben sein, ohne zu verwesen.
- 1.4 Die Bildung von Erdöl wird durch hohen Druck und erhöhte Temperaturen stark begünstigt. Diese Bedingungen entstehen, wenn Tiefseeschlamm von Sedimenten überlagert wird.
- 1.5 Unter anaeroben Bakterien versteht man Bakterien, die zum Leben keinen Sauerstoff benötigen.
- 1.6 Anaerobe Bakterien können den nicht verwesenen Tiefseeschlamm chemisch abbauen. Dabei wird dieser in Erdöl umgewandelt.
- 1.7 Saudiarabien, Iran, Irak, Mittelamerika, Venezuela, Mexiko, Russland, Libyen, Nigeria, USA.
- 1.8 Die ältesten Erdölvorkommen sind etwa 500 Millionen Jahre alt.
- 1.9 Die jüngsten Erdölvorkommen sind erst einige Millionen Jahre alt.
- 1.10 Der Rollen-Meissel und der Diamant-Meissel.
- 1.11 Unter einer Explorationsbohrung versteht man eine erste Bohrung, die ein von den Geologen vermutetes Erdöl-Vorkommen tatsächlich nachweist.
- 1.12 Sie muss das sogenannte Bohrklein an die Erdoberfläche befördern.
- 1.13 Hub-Inseln, Halbtaucher-Inseln und Bohrschiffe.
- 1.14 Eine Halbtaucher-Insel schwimmt auf luftgefüllten Tanks, die sich am unteren Ende von langen Stelzen befinden. Sie wird mit langen Seilen verankert.
- 1.15 Nein, in vielen Fällen steht das Öl in der Lagerstätte unter hohem Druck. Sobald es angebohrt ist, steigt es von selber im Bohrloch hoch.

- 2.1 Ein Gas-Separatoren dient zur Befreiung des Rohöls von den Gasen, die darin gelöst sind. Das Öl wird einem leichten Unterdruck ausgesetzt, wodurch die gelösten Gase entweichen können.
- 2.2 Zur Befreiung von Salzwasser setzt man sogenannte Öl-Wasser-Separatoren ein: durch Erwärmen und mit Hilfe von Chemikalien wird der natürliche Trennvorgang beschleunigt.
- 2.3 Die Glockenböden dienen in erster Linie als Sammelbecken für kondensierende Erdöl-Komponenten. Die Glocken erzwingen, dass alle von unten kommenden Dämpfe durch die bereits kondensierten Komponenten hindurch wandern müssen. Dabei wird Wärme ausgetauscht und den Dampfkomponenten bietet sich Gelegenheit zum Kondensieren. Die senkrechten Rohre erlauben, dass immer ein Teil des Kondensats auf den nächst tieferen Boden zurückfließt. Dadurch wird die Trennleistung verbessert.
- 2.4 Gewisse Erdöl-Komponenten sieden so hoch, dass sie eine Destillation unter Normaldruck nicht unbeschadet überstehen würden.
- 2.5 Alkene und Alkine enthalten C-C-Mehrfachbindungen und sind von daher ziemlich reaktionsfreudig. Deshalb konnten sie die Jahrmillionen seit der Entstehung des Erdöl nicht als solche überstehen.
- 2.6 *Fraktionieren* ist ein Synonym für *Auftrennen*. Das Wort *Kolonne* deutet auf die vielen, regelmässig angeordneten Glockenböden hin.
- 2.7 In schwefelhaltigem Heizöl sind organische Verbindungen enthalten, in denen Schwefelatome chemisch gebunden sind. Beim Verbrennen entwickelt sich aus diesen gasförmiges Schwefeldioxid (SO_2). Dieses reagiert mit Wasser zu schwefliger Säure (H_2SO_3). Diese wiederum ist ein Hauptverursacher des sauren Regens, welcher unsere Wälder schädigt.



- 3.1 C-C-Bindungen sind unpolar. Deshalb zerbrechen sie homolytisch. Die dabei entstehenden Teilchen nennt man Radikale.
- 3.2 Beim Reformieren werden unverzweigte Alkane cyclisiert, verzweigt und aromatisiert. Die neuen Verbindungen sind klopfester.
- 3.3 2,2,3,3-Tetramethylbutan wird die höhere Oktanzahl besitzen, da die Verbindung verzweigter ist.
- 3.4 Heizöl kann als Flüssigkeit bequem durch einen Schlauch in die Tanks eingefüllt werden. Die Kohle muss in Säcken transportiert werden. Beim Entleeren entsteht viel Staub. Heizöl braucht als Flüssigkeit weniger Platz. Heizöl ist billiger. Heizöl gibt beim Verbrennen fast keine Schadstoffe ab.
- 3.5 In der Kälte können Paraffinkristalle entstehen, welche die Zufuhrleitung verstopfen.
- 3.6
 - a) Es ist eine Füllsicherung im Tank angebracht. Der Schwimmer gibt bei einer bestimmten Höhe ein Signal. Die Pumpe im Tanklastwagen stellt ab.
 - b) Ein Temperaturfühler in der Wohnung schaltet nach Bedarf die Heizung ein oder aus.
 - c) Ein Hohlkörper, Expansionsgefäß genannt, nimmt das durch die Erwärmung grösser gewordene Wasservolumen auf.

- 4.1 Der Anteil der Elektrizität am Gesamtenergieverbrauch beträgt rund 21 %.
- 4.2 Heizöl schwer enthält bis zu 1 % Schwefel. Erdgas ist praktisch schwefelfrei und bildet beim Verbrennen kein umweltschädigendes Schwefeldioxid.
- 4.3 Massgebend sind die Spotpreise in Rotterdam. Bei Verknappung wegen Kriegsdrohung oder Reduktion der Fördermenge steigt der Preis. Schwankung des Dollar-Frankenkurses. Frachtpreise auf dem Rhein
- 4.4 Das Geld wird für den Strassenbau verwendet.
- 4.5 Der Grund für die Verdreifachung des Erdölpreises im Jahre 1974 war der sogenannte Jom-Kippurkrieg zwischen Arabern und Israeli.

B Kapiteltests mit Lösungen

Hinweis für die Lehrperson: Zum Abnehmen der Kapiteltest wird ein Atlas benötigt.

Kapiteltest 1.1

- 1.1.1 Was versteht man unter Erdöl?
- 1.1.2 Nennen Sie die Bedingungen, unter denen sich Erdöl bilden kann!
- 1.1.3 Nennen Sie mindestens sechs aktuelle Fördergebiete für Erdöl!

Kapiteltest 1.2

- 1.2.1 Nennen Sie ein Meer, in dem sich jetzt gerade Erdöl bilden könnte!
- 1.2.2 Welche Gesteine können Erdöl besonders gut speichern?
- 1.2.3 Was versteht man unter einem Kohlenwasserstoff?

Kapiteltest 1.3

- 1.3.1 Was versteht man unter Plankton? Wo kommt es vor?
- 1.3.2 Was versteht man unter anaeroben Bakterien?
- 1.3.3 Wie alt sind die ältesten Erdölvorkommen ungefähr? Und die jüngsten?

Kapiteltest 1.4

- 1.4.1 Wie erklärt es sich, dass man am persischen Golf viel Erdöl finden kann?
- 1.4.2 In welcher Form kommt das Erdöl in den Lagerstätten vor?
- 1.4.3 Welches Land ist kein wichtiger Erdölproduzent: Iran, Irak, Japan, Lybien, Nigeria?

Kapiteltest 1.5

- 1.5.1 Warum sind trotz erhöhter Erdölförderung die Erdölreserven gestiegen?
- 1.5.2 Nennen Sie drei Möglichkeiten, einen Bohrturm auf dem Wasser zu betreiben!
- 1.5.3 Was versteht man unter einer Hub-Insel?

Kapiteltest 2.1

- 2.1.1 Wozu dient ein Gas-Separator? Wie funktioniert er?
- 2.1.2 Warum findet man in rohem Erdöl kaum Alkene oder Alkine?
- 2.1.3 Beim Cracken von Octan kann Propen gebildet werden. Chemische Gleichung?

Kapiteltest 2.2

- 2.2.1 Wozu dient ein Öl-Wasser-Separator? Wie funktioniert er?
- 2.2.2 Welche Produkte fallen bei der Erdöldestillation gasförmig an?
- 2.2.3 Beim Cracken von Octan kann But-1-en gebildet werden. Chemische Gleichung?

Kapiteltest 2.3

- 2.3.1 Welche Funktion haben die Glockenböden in einem Destillationsturm?
- 2.3.2 Warum ist schwefelhaltiges Heizöl schädlich für die Umwelt?
- 2.3.3 Wie hängt der Siedepunkt eines Alkans von der Anzahl seiner C-Atome ab?

Kapiteltest 2.4

- 2.4.1 Warum muss ein Teil des Erdöls unter Vakuum destilliert werden?
- 2.4.2 Was passiert beim Cracken? Wie kann man Crack-Produkte nachweisen?
- 2.4.3 Beim Cracken von Octan kann Pent-1-en gebildet werden. Chemische Gleichung?

Kapiteltest 2.5

- 2.5.1 Nennen Sie sechs Produkte, die bei der Destillation unter Normaldruck anfallen!
- 2.5.2 Beim Cracken von Octan kann Hex-1-en gebildet werden. Chemische Gleichung?
- 2.5.3 Was versteht man unter einer Fraktionierkolonne? Woher kommt der Name?

Hinweis für die Lehrperson: Zum Abnehmen der Kapiteltest wird ein Modell eines Ottomotors benötigt.

Kapiteltest 3.1

- 3.1.1 Erklären Sie anhand des Modells eines Ottomotors, was man unter einer Selbstzündung versteht.
- 3.1.2 Zur Heizung von Wohnungen wird Heizöl extraleicht und Heizöl extraleicht oeko angeboten. Welche Vor- und Nachteile hat das Heizöl extraleicht oeko gegenüber dem Heizöl extraleicht?

Kapiteltest 3.2

- 3.2.1 Was sagt Ihnen der Begriff „Oktanzahl 95“?
- 3.2.2 Warum spielt beim Dieseltreibstoff die Oktanzahl keine Rolle?

Kapiteltest 3.3

- 3.3.1 Was steckt hinter der Abkürzung MTBE?
- 3.3.2 Warum muss man bei einer Ölheizung das Heizwasser nie ergänzen? Auf welche Weise erhält man Warmwasser für die Dusche? Erstellen Sie eine einfache Skizze.

Kapiteltest 3.4

- 3.4.1 Was versteht man unter dem Reformieren von Benzinen?
- 3.4.2 Der Schwefelgehalt von Erdölprodukten wird von den Behörden ständig kontrolliert. Warum? Wie versuchen die Behörden den Schwefelgehalt zu senken?

Kapiteltest 3.5

- 3.5.1 Warum kann die Benzinfraktion aus der Destillation nicht für moderne Automotoren verwendet werden?
- 3.5.2 Welche Qualitäten von Heizöl unterscheidet man und wo setzt man sie ein?

Kapiteltest 4.1

- 4.1.1 Jemand behauptet, der Zuwachs des Energieverbrauchs ab 1950 sei auf den enormen Bevölkerungszuwachs zurückzuführen. Was sagen sie dazu?
- 4.1.2 Vor ihnen liegen die Verbrauchszahlen der verschiedenen Erdölprodukten aus dem Jahre 1970. Vergleichen sie mit den von Ihnen ermittelten Werten vom letzten Jahr.

Kapiteltest 4.2

- 4.2.1 Wie erklären Sie, dass der Fahrzeugbestand zwischen 1950 und 1990 um das 18-fache zugenommen hat?
- 4.2.2 Wie gross waren die Einnahmen des Bundes aus den Abgaben auf den Erdölprodukten im letzten Jahr? Wozu wurden diese Gelder verwendet?

Kapiteltest 4.3

- 4.3.1 Zwischen 1950 und 1990 wuchs die Bevölkerung in der Schweiz um 150 %. Der Energieverbrauch stieg dagegen um 450 %. Wie erklären Sie diese Zahlen?
- 4.3.2 Bleifreies Benzin ist billiger als Superbenzin, dieses wiederum billiger als Dieseltreibstoff. Wie kommt das?

Lösungen zu den Kapiteltests

- 1.1.1 Unter Erdöl versteht man ein komplexes Gemisch von Kohlenwasserstoffen, das an gewissen Stellen der Erdoberfläche in Tiefen bis 5000 m gefunden werden kann.
- 1.1.2 In einem schwach durchlüfteten Meeresbecken muss Plankton auf den Meeresgrund gesunken sein. Ein Teil davon muss als Tiefseeschlamm liegen geblieben sein, ohne zu verwesen.
- 1.1.3 Saudiarabien, Iran, Irak, Mittelamerika, Venezuela, Mexiko, Russland, Libyen, Nigeria, USA.
- 1.2.1 Im Schwarzen Meer oder im Kaspischen Meer herrschen momentan recht günstige Bedingungen zur Bildung von Erdöl: Diese Meere sind schwach bewegt und damit kaum belüftet.
- 1.2.2 Kalkartige Gesteine und Sandsteine. Sie können das Erdöl wie ein Schwamm speichern.
- 1.2.3 Darunter versteht man eine chemische Verbindung, deren Moleküle ausschliesslich aus Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen aufgebaut sind.
- 1.3.1 Unter Plankton versteht man einzellige pflanzliche und tierische Organismen, die im Meereswasser leben. Es kommt in den obersten Wasserschichten der Meere vor.
- 1.3.2 Unter anaeroben Bakterien versteht man Bakterien, die zum Leben keinen Sauerstoff benötigen.
- 1.3.3 Die ältesten Erdölvorkommen sind rund 500 Millionen Jahre alt. Die jüngsten sind erst einige Millionen Jahre alt.
- 1.4.1 Der persische Golf ist seit jeher ein flaches, wenig durchlüftetes Meeresbecken.
- 1.4.2 Erdöl kommt in Form kleinster Tröpfchen vor, welche in porösen Gesteinsschichten zwischen den einzelnen Körnern eingebettet sind.
- 1.4.3 Japan.
- 1.5.1 Verbesserte Fördertechniken, vermehrte Ausbeutung von Vorkommen in tieferen Gewässern.
- 1.5.2 Hub-Inseln, Halbtaucher-Inseln, Bohrschiffe.
- 1.5.3 Eine Hub-Insel setzt riesige, mechanisch bewegliche Beine auf den Meeresboden. Mit ihrer Hilfe wird die Bohrplattform über den Wasserspiegel gehoben.

- 2.1.1 Der Gas-Separator wird verwendet, um rohes Erdöl von den darin gelösten Gasen zu befreien. Er setzt das Rohöl einem leichten Unterdruck aus, so dass die gelösten Gase entweichen.
- 2.1.2 Weil Alkene und Alkine reaktionsfreudige C-C-Mehrfachbindungen enthalten, konnten sie die Jahrmillionen seit der Entstehung des Erdöl nicht unbeschadet überstehen.
- 2.1.3 $C_8H_{18} \rightarrow C_3H_6 + C_5H_{12}$
- 2.2.1 Der Öl-Wasser-Separator wird verwendet, um rohes Erdöl von Salzwasser zu befreien. Zu diesem Zweck wird dieses erwärmt und mit speziellen Chemikalien behandelt.
- 2.2.2 Propan und Butan. Sie werden mittels Kompressoren verflüssigt und dann in den Handel gebracht.
- 2.2.3 $C_8H_{18} \rightarrow C_4H_8 + C_4H_{10}$
- 2.3.1 Die Glockenböden haben die Aufgabe, die einzelnen Produkte einer Erdöldestillation gemäss ihren Siedebereichen zu sammeln. Gleichzeitig zwingen sie die aufsteigenden Erdöl-Dämpfe, mit diesen Wärme auszutauschen.
- 2.3.2 Beim Verbrennen von schwefelhaltigem Heizöl bildet sich gasförmiges Schwefeldioxid. Dieses reagiert mit Wasser zu schwefliger Säure. Diese wiederum ist ein Hauptverursacher des sauren Regens, welcher die Wälder schädigt.
- 2.3.3 Je grösser die Zahl der C-Atome in einem Alkan, desto höher ist sein Siedepunkt.
- 2.4.1 Gewisse Erdöl-Komponenten sieden so hoch, dass sie eine Destillation unter Normaldruck nicht unbeschadet überstehen würden.
- 2.4.2 Die Crack-Produkte von Erdöl enthalten typischerweise C-C-Doppelbindungen. Sie können deshalb Bromwasser zu entfärben, in dem sie das darin enthaltene Brom addieren.
- 2.4.3 $C_8H_{18} \rightarrow C_5H_{10} + C_3H_8$
- 2.5.1 Petrolether, Leichtbenzin, Mittelbenzin, Schwerbenzin, Petroleum, Dieselöl und Schmieröl.
- 2.5.2 $C_8H_{18} \rightarrow C_6H_{12} + C_2H_6$
- 2.5.3 *Fraktionierkolonne* ist ein Synonym für *Destillationsturm*. *Fraktionieren* heisst *Auftrennen*. Das Wort *Kolonne* deutet auf die zahlreichen, regelmässig angeordneten Glockenböden hin.

- 3.1.1 Beim Otto-Motor wird das Benzin-Luft-Gemisch stark zusammengepresst. Dabei entstehen hohe Temperaturen: das Gemisch kann explodieren, bevor der Kolben in die Abwärtsbewegung übergehen kann. Die Folge ist ein Klopfen und damit verbunden eine Schädigung des Motors.
- 3.1.2 Heizöl extraleicht oeko belastet infolge seines reduzierten Gehalts an Schwefel die Luft viermal weniger. Zudem hat es einen geringeren Anteil an langkettigen Alkanen und ist deshalb dünnflüssiger und somit kältebeständiger. Der Nachteil dieses Produkts ist sein höherer Preis.
- 3.2.1 Die Oktanzahl 95 macht eine Aussage über die Klopfestigkeit eines Benzins: im Motor verhält es sich wie ein Gemisch aus 95 % 2,2,4-Trimethylpentan und 5 % Heptan.
- 3.2.2 Beim Dieselmotor wird die Explosion ausgelöst, indem man das Dieselöl direkt in die komprimierte, heisse Luft im Kolbenraum einspritzt.
- 3.3.1 MTBE ist die Abkürzung für Methyltertiärbutylether. Es handelt sich um ein Antiklopfmittel mit einer hohen Oktanzahl. MTBE kann gefährlich werden, wenn es ins Grundwasser gelangt: Es führt selbst in kleinsten Mengen zu Geruchsbelästigungen.
- 3.3.2 Das Heizwasser befindet sich in einem geschlossenen Kreislauf. Das Warmwasser für die Dusche wird im Boiler erwärmt.
- 3.4.1 Das durch Destillation und Cracken gewonnene Benzin genügt den Anforderungen moderner Motoren nicht. Es wird klopfester gemacht durch Reformieren. Dabei werden die kettenförmigen Alkane verzweigt, cyclisiert und in aromatische Kohlenwasserstoffe umgeformt.
- 3.4.2 Beim Verbrennen schwefelhaltiger Erdölprodukte wird der Luftschadstoff Schwefeldioxid SO_2 gebildet. Er ist die Ursache für den sauren Regen. Durch Lenkungsabgaben werden oekologisch bedenkliche Produkte verteuert.
- 3.5.1 Das Destillationsbenzin ist zuwenig klopfest. In modernen Automotoren ist das Verdichtungsverhältnis höher, um Benzin zu sparen. Dabei steigt die Gefahr der Selbstzündung.
- 3.5.2 Heizöl EL : Verwendung für die Heizung von Häusern.
Heizöl EL oeko : Wie oben! Vorteile: Weniger Schwefel, dünnflüssiger.
Heizöl S : Verwendung für Industrieheizungen und Schiffsmotoren

- 4.1.1 Das kann nicht stimmen. Die Bevölkerung wuchs in diesem Zeitraum um den Faktor 1.5, der Energieverbrauch jedoch um den Faktor 4.5. Die Gründe liegen beim zunehmendem Wohlstand, der die Befriedigung der Bevölkerung nach Mobilität und grösserem Wohnraum gestattete.
- 4.1.2 Der Verbrauch an Erdölprodukten ist ganz leicht gesunken. Zugenommen hat der Verbrauch an Benzin (mehr Fahrzeuge), Flugpetrol (vermehrte Reisen), Dieselöl (Förderung der Dieselautos durch den Bund). Abgenommen hat der Verbrauch an Heizöl schwer (Umweltschutz, Lenkungsabgaben).
- 4.2.1 Der zunehmende Wohlstand erleichterte die Anschaffung eines Autos. Dies ermöglichte das Wohnen im Grünen. Die Einkaufszentren entstanden ausserhalb der grossen Siedlungen.
- 4.2.2 Verwendung: Strassenbau, allgemeine Bundeskasse
- 4.3.1 In diesem Zeitraum wuchs das Einkommen um 1500 %. Dieser Wohlstand führte dazu, dass neben einer grösseren Kinderzahl auch noch ein Auto und eine grosse Wohnung drin lagen. Der Konsum wuchs und die Industrie befriedigte die vergrösserte Nachfrage.
- 4.3.2 Dies erklärt man mit der verschiedenen Steuerbelastung. Das bleifreie Benzin wird mit einer um 6 Rappen niedrigeren Steuer belastet, um den Kauf von Katalysatorautos zu fördern.

C Medien für die Schüler

Bücher und Zeitschriften

- "Erdöl", Schweizerische Erdölvereinigung, Löwenstr. 1, 8001 Zürich, 012211977
- "Erdölsuche", Artikel aus "Energie und Umwelt" (Kopiervorlage unter F)
- W. Haeberli, Weltgeschichte des 20. Jahrhunderts, Rentsch Verlag

Videos

- Klett, Technologie, ISBN 3-12-750233-8 (1984)

Anlage und Funktion einer Raffinerie. Dauer: 4 Minuten

Inhalt: Die Funktion der wichtigsten Anlagen einer Raffinerie; Lagertanks, Röhrenofen, Destillationsturm und die Vorgänge, Funktion der Glockenböden, Hauptfraktion, Leitzentrale der Raffinerie, Vakuum-Destillationsanlage, Entschwefelungsanlage, Crackanlage.

Fraktionierte Destillation, Beispiel Erdöl. Dauer: 4 Minuten.

Inhalt: Labordestillationsapparatur mit 2 Böden, Verdampfen und Kondensieren von 3 Komponenten, Wirkungsweise der Glocken, Kondensieren des Dampfes in der Flüssigkeit, Verdampfen und Kondensieren mit Hilfe einer Tricks, Erdöldestillation, Zusammensetzung von Erdöl. Fraktionen der Erdöldestillation, Verwendung der Erdölfractionen.

- Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht.

Erdöl – Rohstoff und Energieträger. Dauer: 14 Minuten. (VHS 42 01872) 1994

Ausgehend von den vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten und Einsatzgebieten von Erdöl, sowie Erdölprodukten werden kurz einige Explorations- und Fördermethoden vorgestellt. Anschliessend wird ausführlich auf die fraktionierte Destillation eingegangen.

Entstehung von Erdöl und Erdgas. Dauer: 8 Minuten (VHS 42 01637), 1993

Der Film veranschaulicht in Trickaufnahmen Lebensvorgänge im Flachmeer, Sedimentationsvorgänge, die Umbildung organischen Materials in Öl und Erdgas, sowie das Aufsteigen von Gas. Öl und Wasser aus dem Muttergestein in diverse Lagerstätten.

Rohöl – Ein Rohstoff wird veredelt. Dauer: 14 Minuten. (VHS 42 01913), 1994

Erdöl gehört zu den wichtigsten Energieträgern und chemischen Rohstoffen unserer Zeit. Da im Rohöl die besonders begehrten Fraktionen wie Benzin oft in nur relativ geringen Mengen enthalten sind, muss es „veredelt“ werden. Dies geschieht hauptsächlich durch „Cracken“ und durch sogenannte Reforming-Verfahren.

Gewinnung von Erdöl und Erdgas. Dauer: 16 Minuten. (VHS 42 01864), 1994

Der Film zeigt zunächst, teils mittels Trick, das Aufspüren von Lagerstätten durch einen Messtrupp mit Vibrowagen und Geophonen und geht dann auf technische Einrichtungen und die Arbeitsabläufe bei einer Bohrung ein; der Schluss handelt vom Abtransport.

Diese vier Videos können leihweise angefordert werden bei

ESSO Schweiz GmbH
Public Affairs
Uraniastrasse 40

8001 Zürich Tel. 01 214 41 11

D Material für die Experimente

Experiment 1.1

- Diverse beschriftete Gesteinsproben: Sandstein, Kalk, Travertin, Marmor, usw.
- Flasche mit Erdöl
- Pasteurpipette mit Pipettierhilfe
- Wischtücher

Experiment 1.2

- Stativ mit Stativring
- 200 ml Scheidetrichter
- 200 ml Becherglas
- Vorratsflasche mit Erdöl
- Spritzflasche mit Aceton
- Abfall-Behälter für organische Stoffe

Experiment 2.1

- Stativ
- Klammer
- Muffe
- 250 ml Rundkolben mit einem seitlichem zweiten Hals, an Stativ befestigt
- 100 ml Tropftrichter mit Ausgleichsrohr
- 2 PTFE-Schläuche kurz
- Gummischlauch kurz
- 2 Gaswaschflaschen, an Stativen befestigt
- Glasdüse
- Paraffinöl (C₁₂-C₁₈)
- Eisenwolle
- Bromwasser

Experiment 3.1

- Schauflaschen mit Proben verschiedener Treibstoffe und Heizöle
- kleine Porzellanschalen
- Pasteurpipetten mit Pipettierhilfen
- Streichhölzer

E Literatur

- Quelle 1: Erdölvereinigung, Jahresbericht 2001. Adresse: Erdölvereinigung, Löwenstrasse 1, 8001 Zürich, www.erdoel.ch
- Quelle 2: MTBE, Gefahr für das Grundwasser, „Saldo“ vom 7. Nov. 2001
- Quelle 3: Michael Bürgi, Baptist Gehr, Erdöl, Orell Füessli, Zürich, Verlag. 1997, ISBN 3-280-02739-X

Weiterführende Literatur

- Jürgen Rahmig, Erdöl, Macht und Heiliger Krieg, Oertel Verlag, Reutlingen 2001
- Petras Seidel, Schweres Erdöl, Expert Verlag GmbH, 1994
- Praxis der Naturwissenschaften, Sonderheft, Kohlenwasserstoffe, Erdöl, Erdgas, Auslis Verlag Deubner, Köln und Leipzig, 1992 Heft Nr.2
- Hans Joachim Neumann, Erdöl - Entstehung und Lagerstättenbildung, Chemie in unserer Zeit 6/1967, Seite 179

F Kopiervorlagen

- Erdölsuche, Artikel aus "Energie und Umwelt"
- Schematische Darstellung eines Bohrturms
- Schematische Darstellung einer Destillationsanlage

Die Suche nach Erdöl

Erdöl - ein begehrter Rohstoff

Die Weltwirtschaft verbraucht jedes Jahr gewaltige Mengen an Erdöl. Deshalb müssen die Erdölproduzenten nach immer neuen Vorkommen suchen. In diese sogenannte Exploration werden riesige Geldsummen investiert. Damit werden ganze Heere von Wissenschaftlern beschäftigt, immer weiter abgelegene Abschnitte der Erdoberfläche nach dem wertvollen Rohstoff abzusuchen.

Ölfallen

Aus langjähriger Erfahrung ist bekannt, dass sich das Erdöl meistens in sogenannten Ölfallen versteckt hält. Man versteht darunter spezielle Gesteinsformationen, in denen Erdöl in so hohen Konzentrationen eingeschlossen ist, dass sich seine Förderung wirtschaftlich lohnt.

Man unterscheidet vier Typen von Ölfällen:

- In der *antiklinalen* Falle befindet sich das Erdöl unterhalb einer nach oben gewölbten undurchlässigen Gesteinsschicht.
- In der *stratigraphischen* Falle ist das Erdöl in Schichten eingeschlossen, die später durch andere Schichten überdeckt wurden.
- In der *tektonischen* Falle befindet sich das Erdöl in Kammern, die durch Verwerfungen und Brüche in der Erdkruste entstanden sind.
- Schliesslich kommt es relativ häufig vor, dass sich Erdöl seitlich von *Salzdomen* (kompakten Salzlagerstätten) ansammelt.

Eine der wichtigsten Aufgaben der sogenannten praktischen Geologie ist es, solche Ölfallen

zu finden. Mit verschiedenen Techniken wird versucht, den Untergrund abzusuchen, die Lagerstätten zu lokalisieren und auf eine wirtschaftliche Förderung hin zu beurteilen. An die Genauigkeit der Vorhersagen werden sehr hohe Anforderungen gestellt.

Untersuchungen der Erdoberfläche

Jede Suche beginnt mit der Analyse der Erdoberfläche, denn schon dadurch lassen sich schon gute Hinweise auf Ölfallen gewinnen. Typischerweise sucht man nach Stellen, an denen durch Erosionsprozesse stark gefaltete geologische Schichten freigelegt wurden. Ein grosser Teil solcher Gesteinsschichten kann bezüglich Verlauf, Neigung und Beschaffenheit direkt aus der Luft bestimmt werden. Dazu bedienen sich die Geologen grossformatiger Flugfotos und Satellitenbilder. Auf dieser Basis lässt sich dann eine präzise geologische Karte erarbeiten.

Klassische Bodenuntersuchungen

In einem nächsten Schritt untersuchen die Geologen an Ort und Stelle die Gesteinsschichten an der Oberfläche. Alsdann werden an besonders verdächtigen Stellen geologische Kernbohrungen zur Untersuchung der tiefer liegenden Schichten vorgenommen. Mit den Ergebnissen lässt sich die geologische Karte überprüfen und ergänzen. Die Geologen interessieren vor allem, wie porös und durchlässig die einzelnen Schichten sind. Zu einer genauen Identifikation des Gesteins gehört auch die Bestimmung des Alters anhand eingeschlossener Fossilien oder durch Messung der verbliebenen Radioaktivität.

Geophysikalische Untersuchungen

Die Ergebnisse von Bodenuntersuchungen an der Oberfläche und von punktuellen

Suchbohrungen reichen nicht aus, um ein mögliches Erdölvorkommen genügend genau zu bestimmen. Es fehlen sichere Daten über den Untergrund. Zu deren Beschaffung stehen geophysikalische Messmethoden zur Verfügung. Einzeln genommen sind sie nicht sehr aussagekräftig, aber in geschickter Kombination liefern sie wertvolle Informationen über ein mögliches Vorkommen. Von den geophysikalischen Messmethoden werden hier folgende drei genauer vorgestellt: Die Magnetometrie, die Gravimetrie und die Reflektions-Seismik.

Die Magnetometrie

Die Grundgesteine der Erdkruste sind immer mehr oder weniger magnetisch. Im Gegensatz dazu sind Sedimentgesteine nicht magnetisch. Deshalb kann man durch Messung der magnetischen Feldstärken an der Erdoberfläche Aussagen über die Mächtigkeit der vorhandenen Sedimentdecken gewinnen. Das entsprechende Messgerät wird Magnetometer genannt.

Die Gravimetrie

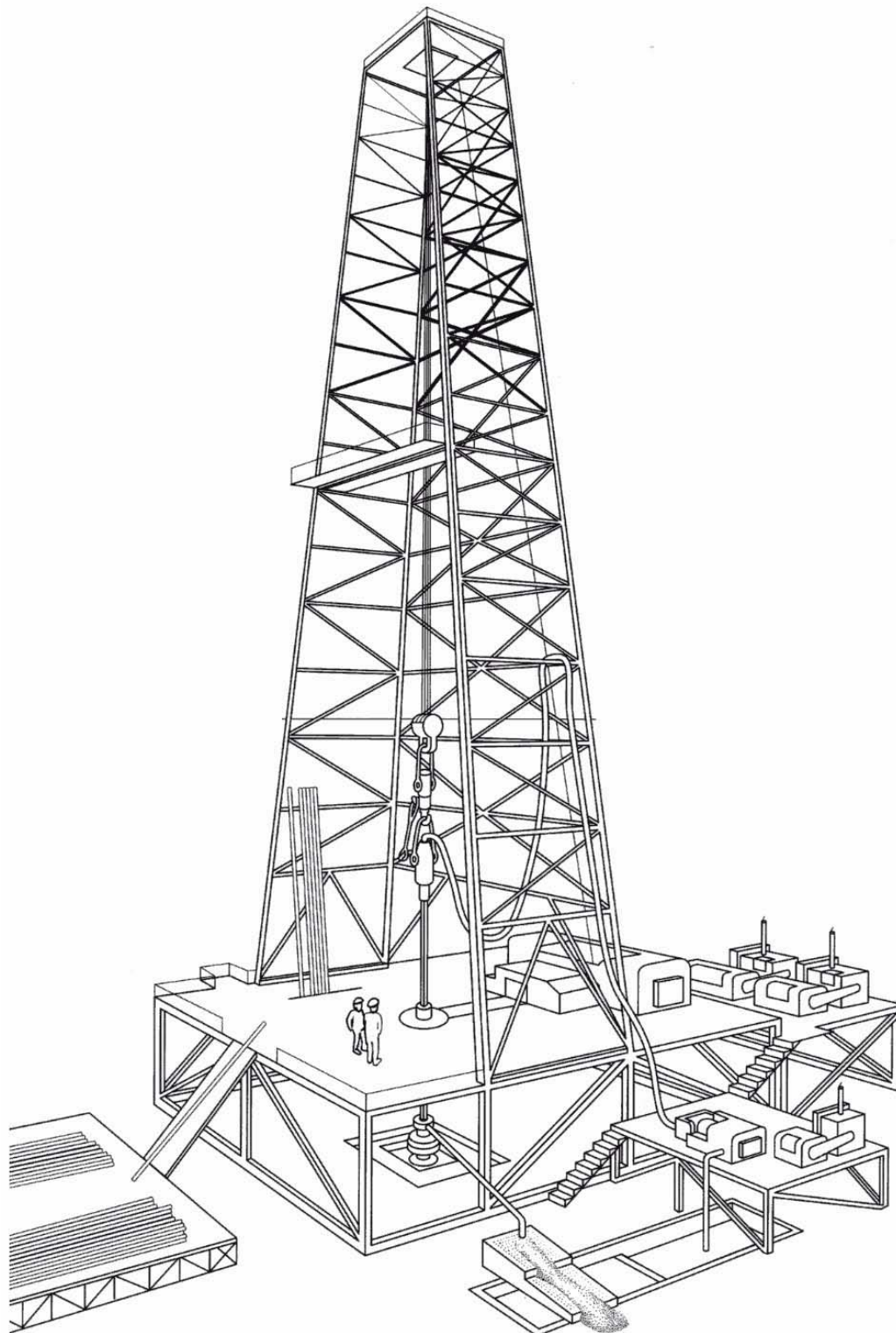
Die örtlich wirkende Erdanziehungskraft - in der Physik als Gravitation bezeichnet - wird von den Dichten der vorhandenen Gesteine beeinflusst. Das Grundgestein weist eine wesentlich höhere Dichte auf als die überlagerten Sedimente. Mit einem sogenannten Gravimeter können Schwankungen in der Erdanziehungskraft sehr genau gemessen werden. Hohe Werte bedeuten, dass sich das Grundgestein bis nahe an die Oberfläche ausdehnt. Tiefe Werte dagegen lassen auf mächtige Sedimentschichten schließen. Die Gravitationsmessung setzt eine genaue Höhenvermessung und Justierung des Gravimeters voraus. Zudem muss es absolut ruhig platziert sein. Weil sich diese Bedingungen weder mit Schiffen noch mit Flugzeugen erfüllen lassen, kommt die Gravimetrie nur auf der Erdoberfläche zum Einsatz. Neuerdings werden für gravimetrische Untersuchungen auch Messdaten von Satelliten verwendet.

Die Reflektions-Seismik

Bei dieser Messmethode wird untersucht, wie sich künstlich erzeugte Druckwellen im Un-

tergrund verhalten, denn ihre Fortpflanzungsrichtung und Geschwindigkeit hängen von der Dichte der Gesteine ab. Insbesondere können Druckwellen an den Grenzflächen verschieden dichter Schichten gebrochen oder reflektiert werden. Diese sogenannte Reflexions-Seismik ist heute die am weitesten verbreitete geophysikalische Methode bei der Suche nach Erdöl. Jede seismische Messung benötigt als Quelle eine künstliche Erschütterung. Früher benutzte man dazu unterirdische Sprengungen, heute jedoch kommen fast ausschliesslich Vibratoren zum Einsatz, welche auf speziellen Lastwagen installiert sind. Die Erschütterungen werden mit hochempfindlichen Mikrofonen - sogenannten Geophonen - registriert. Diese werden in mehreren geraden Reihen in Abständen von etwa 50 m auf der Erdoberfläche platziert. In einem Messwagen werden die registrierten Erschütterungen mit einem Seismographen aufgezeichnet. Bei den Geophonen treffen zuerst jene Wellen ein, welche sich entlang der Oberfläche ausgebreitet haben. Mit zeitlicher Verzögerung werden dann Wellen aufgezeichnet, welche in der Tiefe reflektiert worden sind. Die Reflexions-Seismik lässt sich nicht nur zu Lande, sondern auch zu Wasser anwenden. Da in Zukunft Erdölvorkommen mehr und mehr am Meeresgrund erschlossen werden müssen, kommt diesem Verfahren besondere Bedeutung zu. Von Schiffen aus wird gleich hinter dem Heck mit einer Art Luftkanone die benötigte Erschütterung erzeugt. Die Messinstrumente - hier Hydrophone genannt - sind an kleinen Bojen festgemacht und werden an langen Kabeln hinter dem Schiff hergezogen. Durch Erschütterungen in kurzer Folge wird eine kontinuierliche Aufzeichnung des Untergrundes über lange Strecken möglich. Voraussetzung für die Genauigkeit der Resultate ist eine präzise Vermessung der Position des Untersuchungsschiffes. Heute geschieht dies durch Satellitennavigation.

Schematische Darstellung eines Bohrturms



Schematische Darstellung einer Destillationsanlage

