

# SELBSTVERTIEFUNGSGARBEIT ERDÖL

*Eine Arbeit von Kilian Schwarzentruher und Patrick Bucher*





# Inhaltsverzeichnis

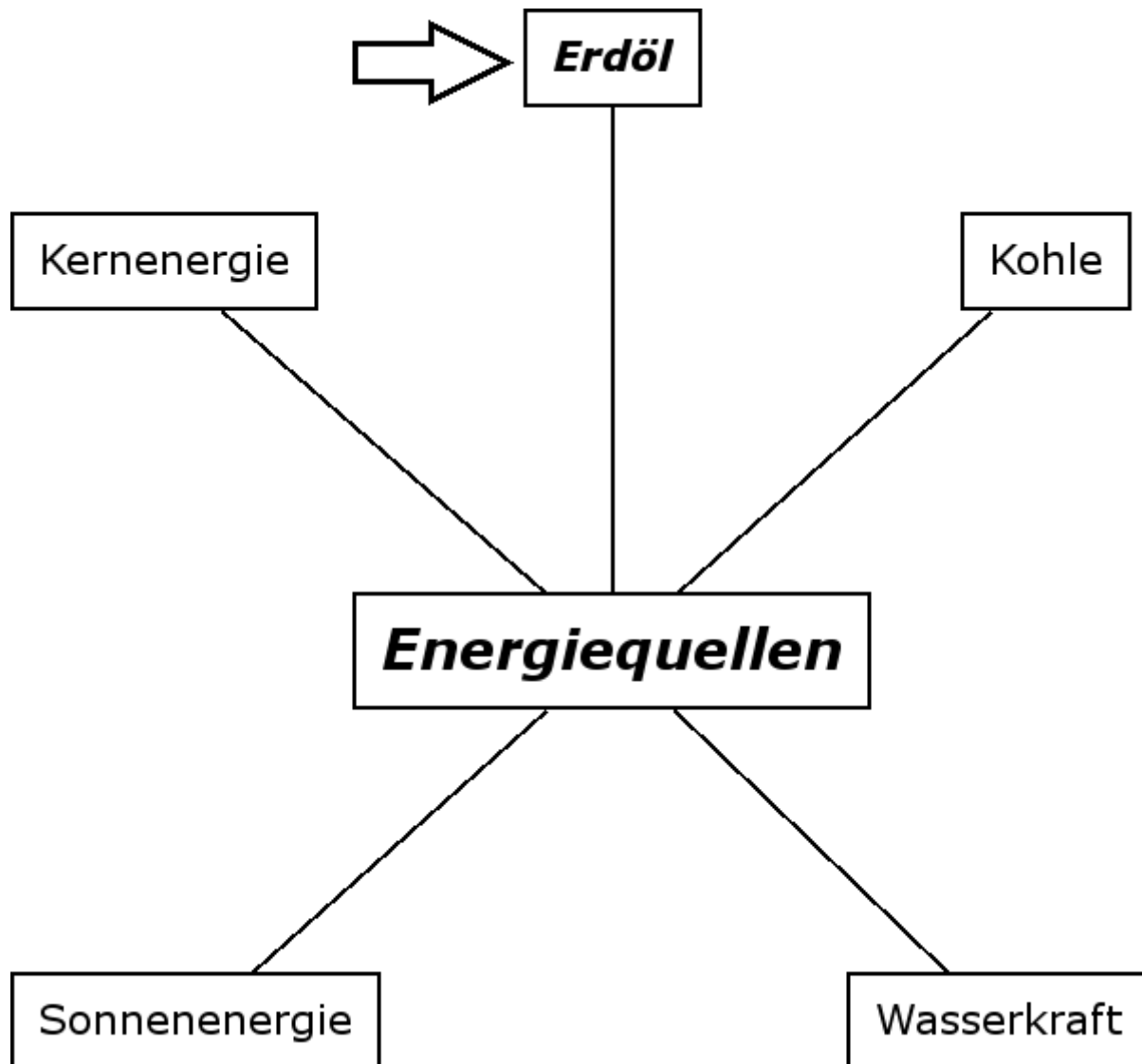
Gross- und Unterthemen.....	4	2.1.3 Cracken.....	23
Begründung der Themenwahl.....	5	2.1.4 Entschwefelung.....	23
Teilthemen.....	6	2.1.5 Platin-Reforming.....	24
Arbeitsziele und Grobplanung.....	8	2.1.6 Pyrolyse (aufspalten).....	25
1 Einführung & Geschichte.....	9	2.1.7 Polymerisation (verbinden).....	25
1.1 Wie das Erdöl entstand.....	9	2.2 Verwendung des Rohstoffs Erdöl.....	25
1.1.1 Biogenetische Theorie.....	9	2.2.1 Als Treib- und Brennstoff.....	25
1.2 Die Entdeckung des Erdöls.....	10	2.2.1.1 Flüssiggas.....	25
1.2.1 Erdöl in der Antike.....	10	2.2.1.2 Benzin.....	26
1.2.2 Die ersten Bohrungen.....	10	2.2.1.3 Diesel.....	26
1.3 Förderung und Transport.....	11	2.2.1.4 Kerosin.....	26
1.3.1 Wo man Öl findet.....	11	2.2.1.5 Heizöl.....	26
1.3.2 Wie man Erdöl fördert.....	11	2.2.1.6 Schadstoffausstoss.....	26
1.3.3 Wie man Erdöl transportiert.....	12	2.2.2 Kunststoff.....	27
1.3.3.1 Pipelines.....	12	2.2.2.1 Polyethylen.....	27
1.3.3.2 Öltanker.....	13	2.2.2.2 Polypropylen.....	27
1.4 Erdölvorkommen.....	14	2.2.2.3 Polyvinylchlorid.....	27
1.4.1 Arabischer Raum.....	14	2.2.2.4 Polystyrol.....	27
1.4.2 Russland und übriges Asien.....	14	2.2.2.5 Polyurethan.....	28
1.4.3 Nord- und Südamerika.....	14	2.2.2.6 Polyethylenterephthalat.....	28
1.4.4 Europa.....	14	2.2.2.7 Abbildungen.....	28
1.4.5 Afrika.....	15	2.2.2.8 In der Medizin.....	29
1.4.6 Die OPEC.....	15	2.2.2.9 Farbige Kunststoffe.....	29
1.4.6.1 Geschichte.....	15	2.2.3 Als Baustoff.....	29
1.4.6.2 Ziele.....	15	2.2.3.1 Abdichtungen.....	29
1.4.6.3 Mitglieder.....	15	2.2.3.2 Strassenbau.....	29
1.5 Wichtige Mineralölunternehmen.....	16	2.3 Bewusstsein der Bevölkerung.....	29
1.5.1 Private Unternehmen.....	16	2.3.1 Analyse der Umfrage.....	30
1.5.1.1 Fallbeispiel ExxonMobil.....	16	2.3.1.1 Erdölverbraucher.....	30
1.5.2 Staatliche Unternehmen.....	17	2.3.1.2 Sparmassnahmen.....	30
1.5.2.1 Fallbeispiel ARAMCO.....	17	2.3.1.3 Ende des Erdöls.....	30
1.6 Konflikte rund um das Erdöl.....	17	2.3.1.4 Bemerkung.....	30
1.7 Der Erdölpreis.....	19	3 „Peak Oil“.....	31
2 Verwendung des Erdöls.....	21	3.1 Wann erreichen wir Peak Oil?.....	31
2.1 Rohöl-Veredelung.....	21	3.1.1 Aktueller Ölverbrauch.....	32
2.1.1 Entsalzung.....	21	3.1.2 Steigender Durst nach Erdöl.....	32
2.1.2 Fraktionelle Destillation.....	21	3.1.2.1 Abhängigkeit der USA.....	32



3.1.2.2 China und Indien.....	32	4 Alternativen.....	42
3.1.3 Nachgewiesene Ölreserven.....	33	4.1 Aspekte des Erdöls.....	42
3.1.3.1 Die Energiebibel.....	33	4.2 Alternative Treibstoffe.....	42
3.1.3.2 Zahlen der OPEC.....	33	4.2.1 Wasserstoff.....	42
3.1.4 Entdeckung neuer Ölquellen....	33	4.2.2 Bio-Treibstoffe.....	42
3.1.4.1 Entdeckung grosser Felder.	34	4.2.3 Problem: Tanknetz.....	43
3.1.4.2 Tiefseeöl.....	35	4.3 Alternative Heizungen.....	43
3.1.5 Verbesserte Fördertechniken....	35	4.3.1 Erdwärme.....	43
3.1.6 Unkonventionelle Ölquellen.....	36	4.4 Alternative Stromerzeugung.....	44
3.1.6.1 Kanadische Teersande.....	36	4.4.1 Brennstoffzellen.....	44
3.1.6.2 Amerikanischer Ölschiefer..	36	4.4.2 Solarzellen.....	44
3.1.6.3 Venezolanisches Schweröl..	37	4.4.3 Nuklearenergie.....	44
3.1.7 „Time to Market“.....	37	4.4.4 Kalte Fusion.....	45
3.1.8 Wann ist es nun so weit?.....	37	4.5 Alternativen für Kunststoffe.....	45
3.2 Der Ernst der Krise.....	38	4.5.1 Herstellung ohne Erdöl.....	45
3.2.1 Expertenmeinungen.....	38	4.5.2 Metall.....	45
3.2.1.1 Colin Campbell.....	38	4.5.3 Biologische Stoffe.....	46
3.2.1.2 Chris Skrebowski.....	39	Kommentar von Kilian.....	47
3.2.2 Mangelnde Investitionen.....	40	Kommentar von Patrick.....	48
3.2.3 Geopolitische Risiken.....	40	Literatur- und Quellenangabe.....	49
3.2.4 Wirtschaftliche Auswirkungen....	41	Arbeitsrapport Kilian.....	50
3.3 Der Weg aus der Krise.....	41	Arbeitsrapport Patrick.....	51



## Gross- und Unterthemen





# Begründung der Themenwahl

## ***Begründung von Kilian***

Energie besteht auf der Welt in verschiedenen Formen. Einige Energieformen, wie Sonnenstrahlen, nehmen wir unbewusst wahr und andere Energieformen, wie reissende Flüsse, sind deutlich zu erkennen. Daneben gibt es Energiequellen, die der Mensch aktiv nutzt aber kaum beachtet. Zu diesen Energiequellen gehört auch Erdöl!

Heute begleitet uns der Rohstoff Erdöl überall im täglichen Leben. Zum Antreiben unserer Fahrzeuge wird ein Erdöl-Produkt benötigt, Baumaterialien werden aus Erdöl gefertigt, tägliche Gebrauchswaren bestehen aus Erdölkomponenten und auch in der chemischen Industrie werden vermehrt Erdöl-Bestandteile eingesetzt.

Neben den Rohstoffen, die aus Erdöl gewonnen werden, bietet dieses Thema weitere politische Aspekte. Erdöl hat in der Vergangenheit Kriege entfacht und beeinflusst.

Das Thema Erdöl hat meinen Teampartner Patrick Bucher und mich sehr angesprochen. Nach dem ersten Einlesen wurde uns erst bewusst, wie umfangreich das Thema ist. Menschen in den Industriestaaten können sich ein Leben ohne Erdöl heute kaum vorstellen. Erdöl ist ein vielseitiger Rohstoff, den wir nicht leichtfertig verschwenden sollten und ich freue mich darauf, für die Selbstvertiefungsarbeit im Fach Allgemeinbildung noch mehr über die Entstehung, die Förderung, die Verwendung, Alternativen und das Ende der Erdölförderung in Erfahrung zu bringen.

## ***Begründung von Patrick***

Ohne Energie geht auf der Erde nichts. Wir fahren Autos um mobil zu sein, wir benötigen elektrischen Strom, um unsere Computer zu betreiben und heizen unsere Wohnungen um den kalten Winter zu überstehen. Diese Energie, egal aus welcher Quelle sie stammt, müssen wir konservieren, damit wir sie später an einem anderen Ort nutzen können. Dabei stellt Erdöl eine der wichtigsten Energiequellen dar.

Das Erdöl dient uns hervorragend als Thema für unsere Arbeit, da es sehr umfassend ist und wir unsere Arbeit somit sehr frei gestalten können. Ausserdem interessieren wir uns beide für die Themen rund ums Erdöl. Dies betrifft die technischen Themen, wie Erdöl entsteht, wie es gefördert und transportiert, wie es weiterverarbeitet und wie es verwendet wird. Ich persönlich interessiere mich aber am stärksten für die politischen und wirtschaftlichen Aspekte rund um das Erdöl. Wer Öl hat, der hat auch Macht. Ich werde meinen Schwerpunkt auf diese politischen und wirtschaftlichen Themen legen.

Die Ressource Erdöl ist während Millionen von Jahren entstanden und nun schon zu einem grossen Teil aufgebraucht. Somit verfügen wir nur begrenzt über diesen Rohstoff. Dies führt zu meinem eigentlichen Schwerpunkt-Thema: Das Ende des Erdöls. Ich interessiere mich sehr dafür, was uns Firmen und Politiker alles vorenthalten und welche Konsequenzen das für uns zur Folge haben könnte.

Insgesamt erlange ich durch diese Arbeit nicht nur technisches Wissen, sondern auch einige Informationen darüber, wie die Politik und Wirtschaft zusammenspielen und wer in unserer Welt *wirklich* die Fäden zieht.



# Teilthemen

## ***Einführung & Geschichte***

Dieses Kapitel dient als Einstieg in das Thema „Erdöl“. Hier wird grundlegendes Wissen über die Entstehung, die Entdeckung und die Geschichte des Erdöls vermittelt:

- Entstehung des Erdöls
- Entdeckung des Erdöls
- Förderung & Transport
  - Entdeckung & Erschliessung neuer Ölquellen
  - Pipelines
  - Öltanker
- Erdölvorkommen
- Die OPEC
- Mineralölunternehmen
  - aus der Privatwirtschaft
  - staatliche Betriebe
- Einfluss auf die Politik
  - Konflikte rund um das Erdöl
- Der Erdölpreis
  - Preisschwankungen
  - Ölkrisen

## ***Verwendung des Erdöls***

Erdöl begleitet uns heute durch unser ganzes Leben. Dieses Kapitel soll einen Eindruck über die mannigfaltigen Möglichkeiten zur Verwendung des Erdöls vermitteln:

- Rohölveredelung
  - Vorgang der Veredelung
  - Produkte nach der Veredelung
- Verwendung des Rohstoffs Erdöl
  - als Treib- und Brennstoff
  - als Kunststoff
  - als Baumaterial
- Bewusstsein der Bevölkerung
  - Analyse der Umfrage

## ***„Peak Oil“***

Erdöl hat sich über Millionen von Jahren abgelagert. Die Menschheit fördert Erdöl seit rund 100 Jahren. Nun ist schon die Rede davon, dass das Öl langsam knapp wird. Dieses Kapitel erläu-



tert, wann dies eintreffen könnte, welche Probleme uns dann erwarten und wie wir diese Probleme lösen könnten.

- Was bedeutet „Peak Oil“?
- Wann erreichen wir „Peak Oil“?
  - bereits verbrauchtes Erdöl
  - steigender Energiebedarf
- Entdeckung und Erschliessung neuer Ölfelder
  - verbesserte Fördertechniken
  - „unkonventionelle“ Ölquellen
- Eine drohende Krise
  - Abhängigkeit von den Föndernationen
  - wirtschaftliche Abhängigkeit
  - mögliche Folgen
- Wege aus der Krise

## ***Alternativen zum Erdöl***

Erdöl wird immer knapper, Benzin wird immer teurer – früher oder später brauchen wir Alternativen zum Erdöl. In diesem Kapitel werden einige Alternativen vorgestellt:

- Aspekte des Erdöls
- Alternativen für Treibstoffe
  - Wasserstoff
  - Bio-Treibstoffe
- Alternativen für Heizungen
- Alternativen in der Stromerzeugung
- Alternativen für Kunststoffe



# Arbeitsziele und Grobplanung

## **Einführung & Geschichte**

Wir werden durch Konsultation verschiedener Bücher und Internet-Quellen uns die Grundlagen über Entstehungsgeschichte, die Entdeckung und die Förderung des Erdöls erarbeiten und unser erlangtes Wissen in einer mehrseitigen Einführung niederschreiben.

Weiter wollen wir uns einen Überblick über die grössten Ölfirmen der Welt verschaffen und anhand zweier Fallbeispiele näher vorstellen. Wir möchten die wichtigsten Ölfördernationen pro Kontinent auflisten und die OPEC kurz vorstellen.

Der politische Einfluss des Erdöls soll anhand einiger Konflikte der Vergangenheit in einer chronologisch sortierten Zeittafel aufgezeigt werden. Weiter möchten wir den Erdölpreis der letzten Jahre genauer anschauen und einige Preisausschläge näher erläutern.

Diese Einführung soll dem Leser insgesamt einen guten Einstieg in die Thematik des Erdöls bieten. Ausserdem soll der Leser eine Ahnung davon bekommen, in welchen Dimensionen sich alles rund um das Erdöl abspielt.

## **Verwendung des Erdöls**

In einem Bericht über die Verwendung des Erdöls als Treib- und Brennstoff wollen wir festhalten, wie wichtig Erdöl für die persönliche Mobilität und unsere Logistik ist. Die Informationen darüber wollen wir uns im Internet und aus der Fachliteratur beschaffen.

Zudem werden wir erläutern, wie Erdöl zu Benzin, Diesel, Kerosin und Heizöl weiter verarbeitet wird.

Weiter werden wir eine Zusammenstellung über die Verwendung des Erdöls zur Produktion von Kunststoff erstellen. Diese Zusammenstellung enthält auch genauere Informationen über die sechs häufigsten Kunststoffarten und ihre Eigenschaften.

Aufgrund einer nicht-repräsentativen Befragung von verschiedenen Personen wollen wir herausfinden, ob und wie stark dem Verbraucher die Bedeutung des Erdöls bekannt ist. Das Ergebnis dieser Befragung wollen wir analysieren und anschliessend zusammenfassend wiedergeben.

## **„Peak Oil“**

Wir möchten einfach und verständlich erklären, was der Begriff „Peak Oil“ bedeutet.

Anschliessend möchten wir Fakten rund um die Erschliessung neuer Ölquelle, die Ausbeutung bisher bekannter Ölquellen und den globalen Erdölverbrauch zusammentragen. Gegebene Informationen rund um die Ölreserven werden wir kritisch analysieren und hinterfragen. Anschliessend wollen wir Expertenmeinungen zum möglichen Eintreten von Peak Oil zusammenfassen und analysieren.

Als nächstes wollen wir bekannte Risiken rund um die Ölförderung zusammentragen und die daraus möglicherweise resultierenden politischen und wirtschaftlichen Probleme aufzeigen.

## **Alternativen zum Erdöl**

Wir möchten verschiedene Alternativen für heutige Treib- und Brennstoffe, Heizungstechnologien und Stromerzeugungstechnologien vorstellen und deren Vor- und Nachteile beschreiben.

Wir werden Möglichkeiten beschreiben, wie Kunststoff ohne Erdöl hergestellt werden kann und mögliche Alternativen ansprechen.





# 1 Einführung & Geschichte

Erdöl ist aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Es ist der wichtigste Rohstoff unserer modernen Industriegesellschaft. Aus Erdöl gewinnt man Treibstoffe, welche unsere Autos, Flugzeuge, Schiffe usw. antreiben. Es dient ausserdem zur Gewinnung von Elektrizität und stellt zudem die Grundlage für Kunststoffe dar.

Diese verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten machen das Erdöl sehr wertvoll. Darum bezeichnet man diesen Rohstoff oftmals auch als *schwarzes Gold*.

## 1.1 Wie das Erdöl entstand

Es gibt unterschiedliche Theorien, wie das Erdöl entstanden sein soll. Die *biogenetische Theorie* gilt dabei als die wahrscheinlichste und hat dementsprechend die meisten Anhänger. Es existiert ausserdem noch die *abiogenetische Theorie*, welche allgemein als weniger wahrscheinlich gilt und deren Anhänger in erster Linie aus der ehemaligen Sowjetunion stammen. Ich werde darum nur auf die biogenetische Theorie eingehen.

### 1.1.1 Biogenetische Theorie

Die grössten Teile der heutigen Erdölvorkommen sollen sich vor 150 bis 90 Millionen Jahren, je nach Quelle auch vor 350 bis 400 Millionen Jahren, gebildet haben. Wichtig ist; das heutige Erdöl entstand während einer sehr langen Periode und das vor einer sehr langen Zeit.

Zu dieser Zeit sollen unsere Ozeane sehr dicht von Pflanzen überwuchert gewesen sein. Abgestorbenes Pflanzenmaterial sank auf den Grund und verfaulte dort.

Durch ein Massensterben<sup>1</sup> dieser Pflanzen lagerten sich innert kurzer Zeit enorme Mengen an organischem Material ab. So türmten sich enorme Berge von abgestorbenem Pflanzenmaterial auf. Darauf lagerten sich gewaltige Sedimente<sup>2</sup> ab, welche einen enormen Druck auf die darunter liegenden Pflanzenschichten ausübten. Druck erzeugt bekanntlich Wärme, worauf das Pflanzenmaterial sich immer stärker erwärmte. Durch diese Wärme wandelte sich das abgestorbene Pflanzenmaterial schliesslich in Erdöl um.

Da Öl leichter ist als Wasser, stieg es nach oben und lagerte sich an den Küsten als Teer ab. Dieser Teer wurde aber im Laufe der Zeit durch Bakterien zersetzt, sodass nur noch unbedeutend grosse Mengen an Teer verblieben sind.

An manchen Stellen wurde das Aufsteigen des Öls durch dichtes Gestein verhindert. Das Öl sickerte so in die Poren des weniger dichten Gesteins, wo es teilweise noch heute lagert. Was wir als Ölfeld bezeichnen, ist nichts anderes als eine grosse Fläche porösen Gesteins, in welchem Erdöl lagert und das durch dichtes, undurchdringliches Gestein am Aufsteigen gehindert wird.

Wo Erdöl zu finden ist, lässt sich oftmals auch Erdgas finden. Erdgas lagert ebenfalls in porösem Gestein und befindet sich, da es leichter als Erdöl ist, jeweils über der Ölreserve.

Erdöl hat nicht überall die exakt gleiche Zusammensetzung. Dies ergibt sich wohl aus verschiedenartigem Pflanzenbewuchs an verschiedenen Stellen unserer Erde, aus welchem unterschiedliche Ablagerungen entstanden. Diese Unterschiede sind jedoch insofern unwesentlich, dass Erdöl aus Norwegen oder Saudi-Arabien von gleicher Qualität ist und so gleich weiterverarbeitet werden kann.

---

1 Möglicherweise durch einen Meteoriteneinschlag verursacht

2 Teilchenablagerungen aus Flüssigkeiten oder Gasen



## 1.2 Die Entdeckung des Erdöls

Erdöl ist erst seit ungefähr hundert Jahren die wohl wichtigste Energiequelle überhaupt. Vor dieser Zeit, vor allem vor der Industrialisierung, war Erdöl noch nicht so wichtig. Die Entdeckung des Erdöls liegt jedoch einige Zeit länger zurück.

Da Erdöl leichter ist als Wasser, steigt es im Meer nach oben. So tritt es an die Erdoberfläche, ohne dass technisch aufwändige Bohrungen notwendig wären. Die Möglichkeit, Erdöl zu gewinnen, besteht also schon seit einigen Jahrtausenden.

### 1.2.1 Erdöl in der Antike

Schon vor 12'000 Jahren sollen die Menschen die Vorzüge des schwarzen Goldes kennen gelernt haben. So wurde im vorderen Orient Erdöl, mit Materialien wie Sand und Schilf vermischt, als Dichtungsmittel verwendet. Dieses Dichtungsmittel wurde unter anderem eingesetzt, um wasserdichte Schiffe und Boote zu bauen.

Im alten Babylon<sup>3</sup> wurde Erdöl bereits zum Strassenbau verwendet. So dichteten die Babylonier die Wege zu wichtigen Gebäuden und Kultstätten mit Teer ab. Auf die Babylonier geht auch die erste staatliche Regulierung des Erdöls zurück. So hatten die babylonischen Herrscher die Kontrolle über den Rohstoff bereits vor ungefähr 4'000 Jahren, zumindest in ihrem Herrschaftsgebiet.

Schon damals war bekannt, dass man durch die Verbrennung von Erdöl Wärme und Licht erzeugen kann. So wurde schon damals Erdöl zu Beleuchtungszwecken verwendet.

Auch die Römer wussten die Vorzüge des Erdöls zu nutzen. So wurde Erdöl bereits vor 2'000 Jahren als Schmiermittel für Achsen und Räder verwendet. Zudem war den Römern das grosse Energiepotential des Erdöls bekannt. Aus dieser Zeit sollen die ersten primitiven Flammenwerfer stammen, welche vor allem im Seekampf eine enorm starke Waffe darstellten.

### 1.2.2 Die ersten Bohrungen

Erdöl war in der Antike und im Mittelalter nur äusserst begrenzt vorhanden. Dies kommt daher, dass die Menschen zu dieser Zeit nur das Erdöl verwenden konnten, welches von selbst zu Tage getreten ist.

Um 1850 waren bereits einige Verfahren bekannt, wie man aus Erdöl relativ sauber abbrennende Substanzen gewinnen kann. So wurde 1855 das *Petroleum* „erfunden“. Erdöl war nun der ideale Rohstoff um Brennstoffe für Lampen herzustellen. Da es aber in Europa und Nordamerika nur einige wenige Stellen gibt, wo Erdöl zu Tage tritt, konnte die Nachfrage an Erdöl kaum befriedigt werden. Wer es sich leisten konnte, verwendete Walöl als Lampenbrennstoff. Ärmere Leute mussten jedoch auf Talgkerzen zurückgreifen, welche allerdings sehr streng riechen.

Schon damals war bekannt, dass bei Bohrungen nach Wasser und Salz ab und zu Erdöl in die Bohrlöcher eintreten konnte. Dieses Wissen machte man sich zu Nutze, indem man nun gezielt nach Erdöl bohrte.

So stiess man in den Jahren 1856 bis 1858 in Norddeutschland auf mehrere, jedoch kleinere Ölquellen. Die erste grosse Ölquelle wurde im heutigen US-Bundesstaat Pennsylvania im Jahre 1859 gefunden. Diese Bohrung legte den Grundstein für die nordamerikanischen „Ölboom“-Jahre, welche in den 1860er-Jahren ihren Höhepunkt erreicht haben. Die Einführung des elektrischen Lichts tat diesem Boom jedoch einen Abbruch, Erdöl hatte seine Wichtigkeit, zumindest bis zur Erfindung des Automobils, wieder verloren.

Mehr Informationen dazu im Kapitel 2, Verwendung des Erdöls.

---

3 Antikes Reich, auf dessen Grund sich der heutige Irak befindet



## 1.3 Förderung und Transport

Seit dem 19. Jahrhundert hat sich unsere Technik stark entwickelt. So verfügen wir heute über *Bohrinseln* auf offener See, kraftvolle *Ölpumpen* und nicht zuletzt über gigantische *Öltanker*, mit welchen tausende von Tonnen Erdöl in nur einer Fahrt transportiert werden können. Die technischen Mittel zur Förderung und zum Transport stehen uns also zweifelsfrei zur Verfügung. Das grössere Problem ist aber vielmehr; wo findet man überhaupt Erdöl?

### 1.3.1 Wo man Öl findet

Öl lässt sich bei weitem nicht überall auf der Welt finden. Obwohl es in Ländern wie im Iran und im Irak gigantische Ölreserven gibt, kann man im benachbarten Afghanistan und Pakistan so gut wie gar kein Erdöl finden.

Erdöl hat sich womöglich überall auf der Welt abgelagert. Zurückgeblieben sind die Ölreserven jedoch nur an einigen wenigen Stellen, an welchen man die richtigen Bedingungen für die Speicherung des Erdöls antreffen kann. Grob gesagt müssen fünf geologische Bedingungen zutreffen, damit man mit einem grösseren Erdölvorkommen rechnen kann:

1. Zunächst muss ein sog. **Muttergestein** vorhanden sein, in welchem sich (vor Millionen von Jahren) überhaupt Erdöl gebildet haben kann. Dieses Gestein muss so beschaffen sein, dass organisches Material darin zu Erdöl verkochen kann. Dies ist nur unter einem grossen Druck möglich, welchen man zwischen ungefähr 2'300 und 4'500 Metern unter dem Meeresspiegel antrifft.
2. Öl wird nicht etwa in einem gigantischen, unterirdischen Hohlraum gespeichert, wie man das manchen (schematischen) Darstellungen entnehmen könnte. Stattdessen befindet sich Öl in den Hohlräumen eines stark porösen **Speichergesteins**. Dieses Speichergestein muss so beschaffen sein, dass alle Poren miteinander verbunden sind. Ansonsten kann beim Anbohren dieses Gesteins nicht genügend Erdöl nachfliessen.
3. Das poröse Speichergestein muss von einem dichten **Deckgestein** überlagert sein, welches das Aufsteigen des Erdöls verhindert.
4. Grössere Ölreserven verbergen sich unter einer grossen *Gesteinsfalte*. In dieser Falte befindet sich ein grösseres Speichergestein, welches komplett von einem Deckgestein überlagert ist. Unter diesen Falten bildet sich ein enormer Druck, welcher die Förderung des Erdöls erleichtert. Diese Gesteinsfalte wird unter Geologen als **Falle** bezeichnet.
5. Sämtliche Gesteinsschichten müssen ausgesprochen dicht sein. Es darf in den Gesteinsschichten **keinerlei Spalten** geben, durch welche das Erdöl hindurch sickern könnte. Ansonsten wäre der Druck zu klein und das Erdöl könnte nur schlecht gefördert werden.

### 1.3.2 Wie man Erdöl fördert

Ist man mit Sicherheit auf eine *Erdölreserve* gestossen, so kann mit der Förderung begonnen werden. Dazu wird ein rotierender *Bohrmeissel* (siehe Abbildung 1) am Ende eines *Bohrgestänges* in die Erde gebohrt. Dieses Bohrgestänge muss stetig verlängert werden. Da der Bohrmeissel einen grösseren Durchmesser hat als das Bohrgestänge, entsteht zwischen dem Bohrgestänge und dem Bohrloch ein Hohlraum (siehe Abbildung 2). Dieser Hohlraum wird dann meist durch ein Eisenrohr stabilisiert, was das Eintreten von Grundwasser in das Bohrloch verhindert. Der Bohrmeissel und das Bohrgestänge sind hohl, damit abgetragenes Material durch sie hindurch zu Tage gefördert werden kann.

Hat der Bohrmeissel das Deckgestein durchdrungen und somit das Speichergestein erreicht, so ist die Bohrung abgeschlossen. Die Auskleidung der Bohrlöcher werden nun mit Zement befestigt. Nun werden innerhalb dieser Auskleidung kleine Sprengungen vorgenommen, damit eine Verbindung zwischen der Auskleidung und dem porösen Speichergestein entsteht. Das Erdöl kann nun, meist unter dem eigenen Druck, nach oben steigen. Fehlt dieser Druck, so muss das Erdöl mit speziellen *Pumpvorrichtungen* (siehe Abbildung 3) zu Tage gefördert werden. Eine



weitere Möglichkeit besteht darin, durch das Hineinpumpen von Wasser oder verschiedenen Gasen in die Lagerstätten, noch mehr Erdöl zu Tage zu fördern.



Abbildung 1: Bohrmeissel

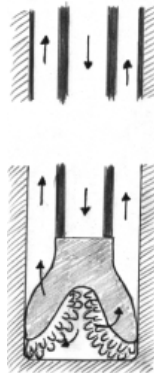


Abbildung 2:  
Bohrloch



Abbildung 3: Ölpumpe

Eine Förderstätte muss sich nicht zwingend vertikal über dem Ölfeld befinden. So kann eine Ölquelle von verschiedenen Standorten aus in den unterschiedlichsten Winkeln angebohrt werden. Dies ist auch dann von Vorteil, wenn sich die Lagerstätte vertikal unter einem geschützten Gebiet, wie z.B. unter einem Nationalpark oder einer Militärbasis befindet. Diese Tatsache macht man sich auch bei der Ölförderung auf dem offenem Meer zum Vorteil, indem man von einer Ölplattform aus mehrere Lagerstätten ausbeutet.

Mit diesen beschriebenen Techniken lässt sich jedoch längst nicht der gesamte Ölvorrat zu Tage fördern. Je nach Quelle ist die Rede von 35 bis 50 Prozent Ausbeutung. Eine weitere Möglichkeit besteht dann darin, das erdöhlhaltige Gestein zu Tage zu fördern und die schwarze Flüssigkeit mithilfe von verschiedenen Gasen und Lösungen aus dem Gestein zu lösen. Solche Verfahren sind jedoch sehr aufwändig und kostspielig.

Erdöl kann auch im *Tagebau* abgetragen werden. In Nord- und Mittelamerika gibt es zudem grosse Mengen an ölhaltigem Gestein, aus welchem man mit grossem Aufwand ebenfalls Öl gewinnen kann. Da diese beiden Arten der Ölförderung derzeit nur einen sehr kleinen Anteil zur globalen Förderung beitragen, möchte ich an dieser Stelle nicht näher darauf eingehen.

### 1.3.3 Wie man Erdöl transportiert

Erdöl wird zwar nur an ein paar wenigen Orten der Erde gefördert, verwendet wird es jedoch auf der ganzen (zivilisierten) Welt. Somit muss Erdöl in hohen Mengen über sehr weite Distanzen transportiert werden.

Öl wird heutzutage kaum mehr in Barrels<sup>4</sup> transportiert. Der Begriff Barrel wird so nur noch als Masseinheit verwendet. Die Erdölindustrie verfügt über wesentlich effizientere Methoden zum Transport des Rohstoffs.

#### 1.3.3.1 Pipelines

Eine Pipeline ist eine Rohrleitung zum Transport von Gasen und/oder Flüssigkeiten, in unserem konkreten Fall für den Transport von Erdöl und Erdgas. Der Einsatz von Pipelines macht dann Sinn, wenn Erdöl/Erdgas über eine grössere Strecke transportiert werden soll. Pipelines sind sehr teuer in der Anschaffung. Ihr Unterhalt ist im Vergleich zu Tankwagen wesentlich kleiner. So machen Pipelines vor allem für einen längerfristigen Transport Sinn. Einige Beispiele für grosse Erdöl- und Erdgas-Pipelines:

- Die **Trans-Alaska-Pipeline** reicht von der nördlichen bis zur südlichen Küste Alaskas (USA). Da die Küste im Norden Alaskas vereist ist, wäre der Transport per Öltanker ein

<sup>4</sup> stählernes Ölfass mit einem Fassungsvermögen von 159 Litern



kostspieliges, zeitaufwändiges und nicht zuletzt gefährliches Unterfangen. Zudem wird in Alaska Öl für den amerikanischen Markt gefördert, der Transportweg vom Süden Alaskas zum übrigen Festland der USA ist also über den Süden wesentlich kürzer. Die Trans-Alaska-Pipeline wurde zwischen 1975 und 1977 für insgesamt 8 Milliarden US-Dollar gebaut und misst ungefähr **1'285 Kilometer** Länge.

- Die **Baku-Tiflis-Ceyhan-Pipeline** transportiert Erdöl aus Aserbaidschan und Kasachstan in die Türkei. Im Gegensatz zur Trans-Alaska-Pipeline ist sie komplett unterirdisch angelegt, was sie vor Sabotageakten schützen soll. Mit dem Bau wurde im Jahr 2002 begonnen, die Inbetriebnahme erfolge drei Jahre später. Die Pipeline misst ungefähr **1'760 Kilometer** Länge, kostete aber mit ungefähr 2.5 Milliarden Euro verhältnismässig wenig. Die Bau der Baku-Tiflis-Ceyhan-Pipeline wurde vor allem aufgrund westlichen Bestrebens (vor allem der USA) gebaut. Auch bei der Finanzierung war der Westen massgeblich beteiligt.

Pipelines werden nicht nur zum Transport über grosse Strecken gebaut. So verbinden sie beispielsweise auch verschiedene Ölförderstätten mit einem grösseren Hauptlager oder direkt mit Häfen, an welchen das Öl auf gigantische Öltanker gepumpt wird. Von den Häfen gelangt das Erdöl dann wieder über Pipelines zu den Raffinerien. Tankwagen sind also nur noch notwendig, wenn es z.B. um die Belieferung einzelner Tankstellen mit Benzin und Diesel geht.

Auf technische Details zu den Ölpipelines möchte ich an dieser Stelle nicht eingehen.

### 1.3.3.2 Öltanker

Um Erdöl über weite Distanzen zu transportieren, eignet sich der Landweg kaum. Grosse Mengen an Erdöl werden, sofern keine Pipelines zur Verfügung stehen, jeweils über den Seeweg mithilfe sog. Öltanker (siehe Abbildung 4) transportiert.



Abbildung 4: Ein Öltanker auf offenem Meer

Öltanker sind Schiffe, die speziell für den Transport von Erdöl konzipiert sind. Ihr Aussehen ist leicht durch das Aussehen konventioneller Schiffe zu unterscheiden, da es bis auf die Brücke und ein paar Kräne keine Aufbauten besitzt und ein flaches Deck hat. Zudem fallen Öltanker durch ihre enorme Grösse auf. Aufgrund der gewaltigen Grösse und des gewaltigen Ladevolumens sind Öltanker sehr schwer und können sich somit nur sehr langsam fortbewegen. So bewegt sich ein Öltanker nur mit ungefähr 15 Knoten fort, was ungefähr 28 km/h und somit einem höheren Lauftempo entspricht.

Immer wieder kommt es vor, dass ein Öltanker auf Grund läuft, verunglückt und so tausende von Tonnen Erdöl ins offene Meer gelangen. Die daraus resultierenden Schäden für die Natur sind riesig. So verenden bei jeder „Ölpest“ im Wasser lebende Tiere wie Fische, Muscheln und Krebse. Angespültes Öl verklebt die Federn und Flügel von Wasservögeln, welche sich anschliessend nicht mehr selber auf Nahrungssuche machen können und so eines qualvollen Hungertods sterben müssen.





Aufgrund dieser Gefahren wurde entschieden, dass ab dem Jahre 2015 nur noch solche Öltanker die Weltmeere befahren dürfen, welche über eine zusätzliche Aussenhülle verfügen. Dies soll das Risiko des Erdöltransports zur See auf ein akzeptables Niveau verringern.

Je grösser der Tanker ist, desto billiger wird der Transport jeder weiteren Tonne Erdöl. So wurden vor allem in den 1970er-Jahren, aus ökonomischen Gründen, gigantische Öltanker mit riesigen Fassungsvermögen gebaut. Die „Jahre Viking“ ist mit über 450 Metern Länge nicht nur der grösste Öltanker der Welt, sondern auch das grösste Schiff überhaupt. Sie verfügt über ein Ladevermögen von mehr als 564'000 Tonnen Erdöl. Da der Tanker nur über eine einfache Aussenhülle verfügt, wird er heute nur noch als Zwischenlager für Rohöl verwendet.

## 1.4 Erdölvorkommen

Erdöl wird heutzutage auf der ganzen Welt in sehr hohen Mengen benötigt. Wie der vorherige Abschnitt über den Transport des Erdöls bereits erahnen liess, wird Erdöl aber nur an einigen wenigen Orten auf unserem Planeten gefördert, was enorme logistische Anforderungen an den Transport des Rohstoffs stellt.

### 1.4.1 Arabischer Raum

Immer wieder wird der arabische Raum im Zusammenhang mit dem Erdöl angesprochen. In der Tat kommen sechs von den 20 grössten Erdölförderern aus dem arabischen Raum.

**Saudi-Arabien** ist der Ölförderer schlechthin. Alleine im Jahr 2005 wurden in Saudi-Arabien mehr als 530 Millionen Tonnen Erdöl gefördert.

Auch der flächenmässig kleinere **Iran** gehört zu den grössten Erdölförderern der Welt. Die Förderung beträgt jedoch mit ungefähr 200 Millionen Tonnen im Jahr 2006 deutlich weniger als die Hälfte der Fördermenge Saudi-Arabien.

Weitere grosse Erdölförder aus dem arabischen Raum sind die **vereinigten arabischen Emirate** (VAE), **Kuwait** und der **Irak**. **Libyen** kann man insofern zum arabischen Raum hinzu zählen, dass der Islam in diesem Staat die Hauptreligion darstellt.

### 1.4.2 Russland und übriges Asien

Der flächenmässig grösste Staat der Welt, **Russland**, spielt auch in der Erdölförderung ganz oben mit. Im Jahr 2005 wurden in Russland an die 470 Millionen Tonnen Erdöl gefördert, was beinahe an die Förderung von Saudi-Arabien herankommt. Russland wurde hier bewusst zum asiatischen Kontinent gezählt, da der grösste Teil der Förderung in Sibirien stattfindet.

Weitere grosse Erdölförderer aus Asien sind **China** und **Kasachstan**.

### 1.4.3 Nord- und Südamerika

Die **USA** sind nicht nur die grössten Erdölverbraucher der Welt, sondern auch die drittgrössten Förderer weltweit. Die Tatsache, dass die USA dreimal so viel Erdöl verbrauchen wie sie fördern, lässt diese gute Platzierung unter den Ölförderern jedoch als unwichtig erscheinen.

Auch **Kanada** ist bei der Erdölförderung recht weit vorne. Im Gegensatz zu den USA wird in Kanada aber ungefähr 50% mehr Erdöl gefördert als verbraucht.

In Zentral- und Südamerika sind **Mexiko**, **Venezuela** und **Brasilien** die wichtigsten Erdölförder.

### 1.4.4 Europa

Auf dem „alten Kontinent“ wird zwar sehr viel Erdöl verbraucht, die Förderung beschränkt sich jedoch im Wesentlichen auf die zwei Staaten **Grossbritannien** und **Norwegen**. Ein Grossteil der Erdölförderung findet in Europa auf dem offenem Meer statt. Diese Art der Förderung ist



natürlich wesentlich kostspieliger als die Förderung auf dem Festland und somit weniger wirtschaftlich.

Auch in anderen europäischen Staaten wird Öl gefördert. Die Erträge daraus sind jedoch, verglichen mit der Erdölförderung von Saudi-Arabien oder Russland, kaum erwähnenswert.

### 1.4.5 Afrika

In Afrika sind **Nigeria**, **Angola** und **Algerien** die wichtigsten Erdölförderer. Betrachtet man die Situation rein geografisch, so könnte man auch **Libyen** zu Afrika hinzu zählen. Aufgrund der hohen Armut in Afrika und die daraus resultierende fehlende Mobilität, wird auf dem „schwarzen Kontinent“ nur sehr wenig Erdöl verbraucht. Der grösste Teil des geförderten Erdöls gelangt so in den Export.

### 1.4.6 Die OPEC

Die OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) ist ein Zusammenschluss verschiedener erdölexportierender Nationen und wurde 1960 in Bagdad (Irak) gegründet. Gegenwärtig hat sie ihren Hauptsitz in Wien.

Die OPEC-Mitgliedstaaten fördern derzeit ungefähr 40% der weltweiten Erdölproduktion und sollen über drei Viertel der weltweiten Ölreserven verfügen. Die Aussagen über die Ölreserven der OPEC sind jedoch mit Vorsicht zu geniessen, was im Kapitel „Peak Oil“ noch näher erläutert und begründet wird. Die OPEC verfügt jedoch zweifelsfrei über sehr hohe Ölreserven, wodurch ihr Einfluss in den letzten Jahren gestiegen ist und auch in Zukunft noch steigen wird.

#### 1.4.6.1 Geschichte

In den 1950er-Jahren wurden sehr viele neue Ölquellen erschlossen, wodurch sehr viel Erdöl auf den Markt gelangte. Dadurch wurde auch der Ölpreis stark nach unten gedrückt. Dies führte bei den ölfördernden Nationen zu hohen Verlusten in den Staatskassen.

Um die Kontrolle über den Ölpreis wieder zu erlangen, schlug Saudi-Arabien die Gründung eines Zusammenschlusses verschiedener ölfördernden Nationen zusammen. Diese Organisation wurde dann 1960 in der irakischen Hauptstadt Bagdad gegründet.

Als erste Massnahme beschloss man eine weitgehende Verstaatlichung sämtlicher Ölquellen. Dadurch flossen die Erträge jedes Tropfen Öls in die Staatskassen der Mitgliedstaaten. Weiter sollten ansässige Erdölfirmen in Zukunft stärker besteuert werden, was eine weitere, von der Fördermenge unabhängige Einnahmequelle offenbarte.

1965 wurde der Hauptsitz der OPEC nach Wien verlegt.

#### 1.4.6.2 Ziele

Die OPEC wurde (wie bereits angesprochen) gegründet, um sich gegen einen Preisverfall abzusichern. Die OPEC legt regelmässig Förderquoten für ihre Mitgliedstaaten fest. Diese Förderquote hängt unter anderem von den noch verfügbaren Ölreserven eines jeden Staates ab.

Da die OPEC für ungefähr 40% der weltweiten Ölförderung verantwortlich ist, kann sie den Ölpreis stark beeinflussen. Sinkt der Ölpreis, so fordert die OPEC von ihren Mitgliedstaaten eine verringerte Förderung, um den Preis nach oben zu drücken. Der Ölpreis kann verringert werden, indem die OPEC-Staaten mehr Erdöl auf den Markt bringen.

Hält sich ein Staat nicht an die festgelegte Förderquote, so kann die OPEC Sanktionen aussprechen.

#### 1.4.6.3 Mitglieder

Die Mitgliedstaaten stammen in erster Linie aus dem nahen Osten und Nordafrika. Momentan (Stand 2006) sind folgende Nationen Mitglied der OPEC:



- Irak (seit 1960)
- Iran (seit 1960)
- Saudi-Arabien (seit 1960)
- Kuwait (seit 1960)
- Venezuela (seit 1960)
- Katar (seit 1961)
- Lybien (seit 1962)
- Indonesien (seit 1962)
- Algerien (seit 1969)
- Nigeria (seit 1971)

## **1.5 Wichtige Mineralölunternehmen**

Mineralölunternehmen verdienen ihr Geld mit der Förderung, dem Transport und der Veredelung von Erdöl und Erdöl-Produkten.

Erdöl ist derzeit die wichtigste Energiequelle überhaupt. So ist es nicht verwunderlich, dass bei den grössten Unternehmen der Welt auch einige Ölfirmen ganz oben mitspielen. Unsere industrielle Abhängigkeit vom Erdöl verschafft den Mineralölunternehmen weltweit einen riesigen Einfluss.

### **1.5.1 Private Unternehmen**

Derzeit kann man bei den privaten Mineralölunternehmen von „den fünf Grossen“ sprechen. Dabei handelt es sich um die Firmen **ExxonMobil**, **Shell**, **BP**, **Chevron** **Texaco** und **Total**. Die drei grössten Firmen; ExxonMobil, Shell und BP gehören zu den erfolgreichsten Unternehmen weltweit. In Gewinn- und Umsatzstatistiken von 2004 und 2005 waren von den fünf stärksten Firmen überhaupt drei Erdölfirmen vertreten (siehe Abbildungen 5 und 6).

Private Erdölfirmen werden im Bezug auf ihre Fördermenge oft überschätzt. So beläuft sich der Anteil der fünf Grossen an der weltweiten Erdölförderung derzeit auf ungefähr 15%. Der grösste Teil wird von staatlichen Unternehmen gefördert (siehe auch 1.5.2 - staatliche Unternehmen).

#### **1.5.1.1 Fallbeispiel ExxonMobil**

Der grösste private Ölkonzern weltweit, ExxonMobil, entstand im Jahre 1999 durch einen Zusammenschluss der beiden Ölfirmen Exxon und Mobil. Das Unternehmen hat seinen Hauptsitz in der Stadt Irving (Texas, USA) und gilt als das derzeit grösste private Unternehmen weltweit. Im Jahr 2004 (siehe auch Abbildung 5) erzielte ExxonMobil einen Gewinn von über 25 Milliarden US-Dollar. 2005 erreichte das Unternehmen einen Umsatz von über 370 Milliarden US-Dollar. Zum Vergleich; Microsoft generierte im Jahr 2005 „nur“ gerade einen Umsatz von knapp 40 Milliarden US-Dollar.

Einen grösseren Rückschlag erlebte ExxonMobil im Hurrikan-Jahr 2005, als der Hurrikan „Rita“ in der Gegend um Houston (Texas, USA) eine Raffinerie von ExxonMobil ausser Gefecht setzte. Die Raffinerie war anschliessend bis im Frühjahr unbenutzbar. Daraus resultierte ein Verlust in der US-Raffineriekapazität von ungefähr 16%.

ExxonMobil hat aus dem hurrikanreichen Jahr 2005 jedoch auch gewaltigen Profit schlagen können. So vergrösserte sich der Quartalsgewinn im Herbst 2005, aufgrund des stark angestiegenen Ölpreises, auf über 10.9 Milliarden US-Dollar.





Abbildung 5: Die gewinnstärksten Unternehmen 2004 (Angaben in Mio-US-\$)



Abbildung 6: Die umsatzstärksten Unternehmen 2005 (Angaben in Mio US-\$)

## 1.5.2 Staatliche Unternehmen

Wie bereits im Abschnitt über die OPEC angesprochen, verstaatlichten einige erdölfördernde Nationen ihre Ölquellen in den 1960er- und in den 1970er-Jahren (siehe auch 1.4.6.1 - Geschichte der OPEC). Die weltweite Ölförderung wird so von verstaatlichten Ölunternehmen kontrolliert. Beispiele für grosse staatliche Ölunternehmen sind; **Aramco** (Arabian-American Oil Company), **Petroleos de Venezuela** und **Petrobras** (Brasilien).

### 1.5.2.1 Fallbeispiel ARAMCO

Die Arabian-American Oil Company (kurz ARAMCO) ist die derzeit grösste Erdölfördergesellschaft weltweit. Das Unternehmen wurde im Jahre 1944 gegründet und war bis Mitte der 1970er-Jahren im Besitz US-amerikanischer Erdölunternehmen. Im Zuge der Gründung der OPEC verstaatlichte Saudi-Arabien die Gesellschaft in den Jahren 1972 bis 1980. Die Gesellschaft wurde 1988 in „Saudi ARAMCO“ umbenannt.

Die ARAMCO fördert jährlich um die 500 Millionen Tonnen Erdöl. Ihre Erdölreserven sollen sich angeblich auf 35 bis 36 Milliarden Tonnen belaufen. Das Ghawar-Ölfeld ist das grösste Ölfeld der Welt, liegt in Saudi-Arabien und fällt somit in den Bereich der ARAMCO. Das Ghawar-Ölfeld soll zwischen 60% und 65% der Ölförderung Saudi-Arabiens ausmachen.

## 1.6 Konflikte rund um das Erdöl

Wer Erdöl besitzt, der besitzt auch Macht. Dieser Aussage ist schon Beweis getan, indem man sich die Umsatzzahlen der grössten Erdölfirmen anschaut. So ist es nicht weiter verwunderlich, dass es im Laufe der Zeit immer wieder kriegerische Konflikte gegeben hat, die aufgrund des schwarzen Goldes geführt wurden. Einige dieser Konflikte haben sich stark auf den *Erdölpreis* ausgewirkt.

Im Folgenden einige Beispiele für kriegerische Konflikte, die wegen Erdöl geführt wurden oder gegenwärtig noch geführt werden.

Zeitpunkt	Bezeichnung	Hintergrund
1973	Jom-Kippur-Krieg	<p>Der Jom-Kippur-Krieg begann durch einen Überraschungsangriff durch eine syrisch-ägyptische Allianz auf Israel am 6. Oktober 1973. Die Bezeichnung „Jom-Kippur-Krieg“ kommt daher, dass der erste Angriff am Jom-Kippur-Feiertag durchgeführt wurde, welcher den wichtigsten Feiertag des jüdischen Glaubens darstellt.</p> <p>Der Jom-Kippur-Krieg war Auslöser für die Ölkrise 1973. Die</p>



Zeitpunkt	Bezeichnung	Hintergrund
		<p>OPEC beschloss, ihre Erdölförderung solange einzuschränken, bis die von Israel besetzten Gebiete wieder „befreit“ sind. Ausserdem wurde gegen die USA, als Verbündeter Israels, ein Lieferboykott verhängt. Der Erdölpreis stieg an.</p> <p>Zwar war die Ursache des Jom-Kippur-Kriegs nicht das Erdöl selber, der daraus resultierende Anstieg des Erdölpreises rechtfertigt jedoch die Erwähnung in dieser Aufzählung.</p>
1980-1988	erster Golfkrieg	<p>Der erste Golfkrieg wurde in den Jahren 1980 bis 1988 zwischen den beiden Nationen Iran und Irak geführt. Grund für den ersten Golfkrieg war die Vorherrschaft über die Provinz Chuzestan, welche über hohe Erdölvorkommen verfügt. Die Provinz wurde 1959 während der iranischen Fremdherrschaft über den Irak vereinnahmt. Der Irak wollte die rohstoffreiche Provinz nun zurückgewinnen, was schlussendlich einen Krieg zwischen diesen beiden Nationen auslöste.</p> <p>Der Irak, geführt von Saddam Hussein, konnte die Provinz Chuzestan trotz Einsatz von chemischen Waffen nicht einnehmen, der Grenzverlauf zwischen Iran und Irak veränderte sich nicht. Im Ersten Golfkrieg sollen über eine Million Menschen ihr Leben verloren haben.</p>
1990-1991	zweiter Golfkrieg	<p>Nach dem ersten Weltkrieg veranlasste die Kolonialmacht Grossbritannien die Gründung des unabhängigen Staates Kuwait, welcher über enorme Ölvorkommen verfügt und südlich des Iraks liegt.</p> <p>Der Irak, unter der Führung des Diktators Saddam Hussein, akzeptierte die Unabhängigkeit des Kuwaits nicht. In den 1980er-Jahren wollte der Irak einen höheren Ölpreis erreichen, indem sie ihre Förderquote reduzierten. Dieser Plan misslang jedoch, da der Kuwait seine Förderquote erhöhte.</p> <p>Dieser jahrelange Konflikt führte schliesslich 1990 zu einem Angriff der Iraker auf Kuwait. Diese Invasion auf Kuwait wurde von der westlichen Welt scharf verurteilt, die UN<sup>5</sup> verhängte wirtschaftliche Sanktionen über den Irak. Dies brachte den Irak jedoch nicht zum Einlenken, worauf die USA unter Präsident George Bush Senior den Irak zurückdrängten. Saddam Hussein blieb jedoch an der Macht.</p>
ab 2003	Irak-Krieg	<p>Was George Bush nicht gelang, sollte nun seinem Sohn George W. Bush gelingen; die Entmachtung des Diktators Saddam Hussein.</p> <p>Die Invasion wurde ursprünglich damit begründet, dass der Irak Massenvernichtungswaffen besitzen würde und somit ein Sicherheitsrisiko für den gesamten nahen Osten darstellt. Der Hauptgrund für die Invasion sollen jedoch die grossen Ölvorkommen des Irak gewesen sein. Die „Koalition der Willigen“, angeführt durch die USA und Grossbritannien, starteten die Invasion auf den Irak im Frühjahr 2003. Schon nach wenigen Wochen erreichte man die Hauptstadt Bagdad, welche ebenfalls innert weniger Tagen eingenommen wurde.</p>

5 United Nations, die vereinten Nationen (<http://www.un.org/>)



Zeitpunkt	Bezeichnung	Hintergrund
		<p>Der Widerstand seitens der irakischen Armee war insgesamt eher schwach. Der Krieg kann insofern noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden, dass Teile der irakischen Bevölkerung immer noch grossen Widerstand gegenüber den westlichen Invasoren leisten. Dieser Widerstand äussert sich vor allem durch terroristische Anschläge auf die Invasoren, staatliche Einrichtungen aber auch auf die Zivilbevölkerung selber.</p> <p>Massenvernichtungswaffen wurden keine gefunden, der ehemalige Diktator Saddam Hussein wurde aufgrund verschiedener Kriegsverbrechen am 5. November 2006 zum Tode verurteilt.</p>

Diese Konflikte hatten jeweils auch grossen Einfluss auf den Erdölpreis. Darauf möchte ich im folgenden Abschnitt näher eingehen.

## 1.7 Der Erdölpreis

Ein Barrel Erdöl kostet derzeit um die 70 US-Dollar. Noch vor 20 Jahren hat man für diesen Betrag zwei bis drei Barrel Erdöl erhalten! Der Erdölpreis ist also offensichtlich in den letzten 100 Jahren sehr stark und unverhältnismässig zur Teuerung angestiegen.

Abbildung 7 zeigt die Entwicklung des Erdölpreises der letzten 20 Jahre.

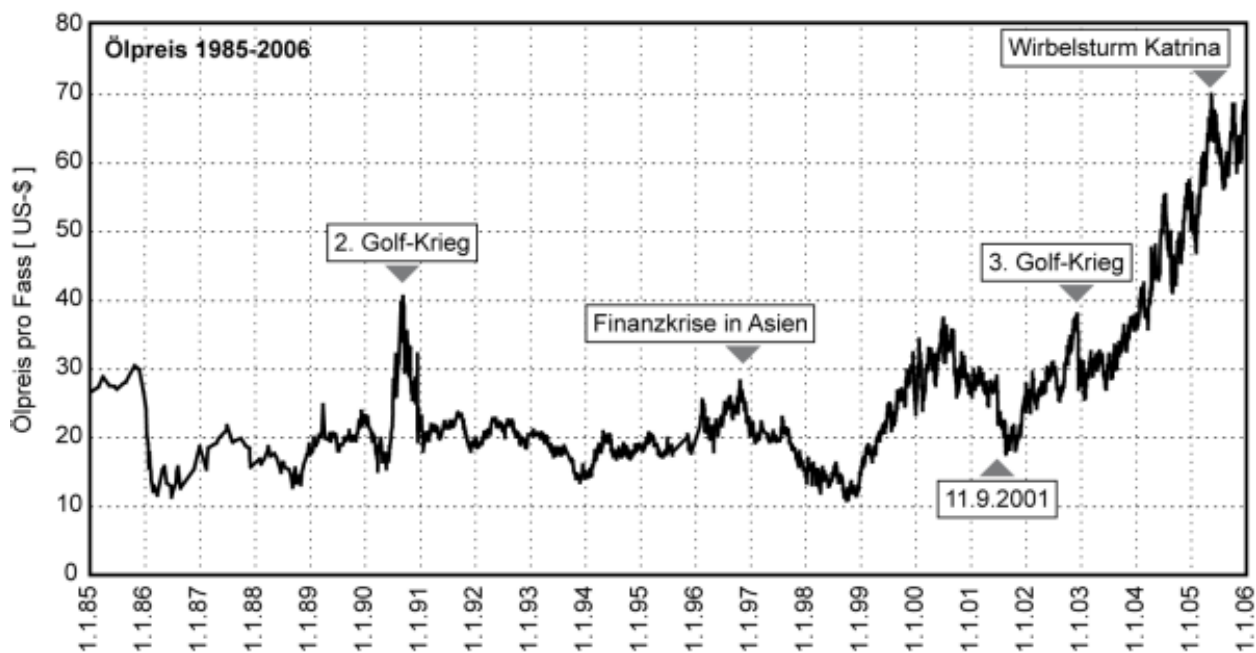


Abbildung 7: Die Ölpreisentwicklung zwischen 1985 und 2006

Wie man der Grafik gut entnehmen kann, ist das Öl nicht linear teurer geworden. Vielmehr kann die Rede von verschiedenen Preisspitzen und -tiefen sein. Diese starken Schwankungen sind auf bestimmte politische und wirtschaftliche Ereignisse zurückzuführen. Die wichtigsten Ereignisse möchte ich an dieser Stelle kurz erwähnen:

- Die erste Ölkrise
  - Im Jahr 1973 herrschte Krieg zwischen Israel und der islamischen Welt (siehe Abschnitt 1.6 - Jom-Kippur-Krieg). Die damals wie heute von islamischen Ländern dominierte OPEC nahm ihre Macht wahr und stellte die Erdöllieferungen in die verei-



nigten Staaten und deren Verbündeten ein. Der Erdölpreis stieg so innert kürzester Zeit von etwa drei US-Dollar auf über zwölf US-Dollar an. Aufgrund des daraus resultierenden Ölmangels wurde beispielsweise in der Schweiz ein Sonntagsfahrverbot ausgesprochen.

- Der zweite Golfkrieg
  - Der zweite Golfkrieg (siehe Abschnitt 1.6) hatte ebenfalls enorme Auswirkungen auf den Erdölpreis. So stieg der Ölpreis am Anfang der 1980er-Jahre auf über 38 US-Dollar. Aufgrund der gesteigerten Förderung Saudi Arabiens und der Erschliessung weiterer Ölquellen in Alaska und der Nordsee sank der Ölpreis anschliessend wieder auf ein, für die damalige Zeit, normales Niveau.
- Die Asienkrise
  - Die Finanzkrise in Asien Ende der 1990er-Jahre führte ebenfalls zu geringfügigen Steigerungen des Erdölpreises. Vergleicht man diesen Anstieg jedoch mit demjenigen der ersten und der zweiten Ölkrise, so ist die Asienkrise kaum erwähnenswert.
- Der 11. September
  - Die Terroranschläge des 11. Septembers 2001 wirkten sich negativ auf sämtliche Börsen, den Handel und somit auch auf den Erdölpreis aus.
- Der Irak-Krieg
  - Der Beginn des Irak-Krieges im Frühjahr 2003 (siehe Abschnitt 1.6) löste grosse Verunsicherung an der Börse aus. Damals ging die Angst um, Saddam Hussein würde die irakischen Ölfelder in Brand stecken, um so Druck auf den Westen auszuüben. Aus dieser Angst heraus deckten sich einige Rohstoffhändler mit Öl ein, sodass nur noch wenig Öl auf dem Markt war. Aufgrund dieser steigenden Nachfrage ist schlussendlich der Ölpreis angestiegen.
- Hurrikan Katrina
  - Der verheerende Hurrikan Katrina, im Spätsommer 2005, beeinträchtigte die Ölförderung im Golf von Mexiko stark. In Krisensituationen neigen Anleger dazu, sich reichlich mit Erdöl einzudecken. Dies war auch bei Katrina der Fall. So stieg der Ölpreis nicht nur aufgrund der verringerten Förderung, sondern auch durch Spekulation an der Rohstoffbörse. Der Ausfall einer amerikanischen Raffinerie führte zudem zu einer Steigerung des Benzinpreises.



## 2 Verwendung des Erdöls

Erdöl war ausschlaggebend für die Industrialisierung der heutigen Welt. Im Erdöl hatte die Menschheit eine energiereiche Substanz entdeckt, die eine Vielzahl von Verwendungsmöglichkeiten bietet.

In den heutigen, modernen Industrienationen ist Erdöl kaum mehr weg zu denken. Die Energiequelle Erdöl bietet den Menschen eine zuvor unmögliche Mobilität. Personen legen so innerhalb weniger Stunden riesige Strecken zurück und täglich werden tausende Tonnen von Rohstoffen, verschiedensten Produkten, Lebensmitteln oder Abfällen an ihr Ziel transportiert. Ohne erdölbetriebene Verkehrsmittel wäre dies kaum mehr möglich.

Neben Treibstoff, der benötigt wird, um den Menschen Mobilität zu verschaffen, lassen sich noch viele weitere Produkte aus Erdöl gewinnen.

Rund 88% des Erdöls wird für die Produktion von Treibstoff, Heizmaterial oder Elektrizität verwendet. Die restlichen 12% dienen in der Industrie als Ausgangsmaterial für verschiedenste Produkte. Aus Erdöl lassen sich 90'000 verschiedene chemische Grundstoffe extrahieren, welche selber aus bis zu 500 Komponenten bestehen. Aus diesen Bestandteilen werden heute über 300'000 verschiedene Produkte unseres Alltages gefertigt. Die Menschen in den Industriestaaten geniessen diese Vorzüge und halten diese mehr und mehr für selbstverständlich.

Jede Sekunde verbraucht die Menschheit 1'480 Barrel Erdöl und Erdgas oder umgerechnet 235'320 Liter pro Sekunde. Auf einen ganzen Tag gerechnet summiert sich der Verbrauch auf 84 Mio Barrel Erdöl und 44 Mio Barrel Erdgas pro Tag<sup>6</sup>.

### 2.1 Rohöl-Veredelung

Erdöl ist in seinem natürlichen Zustand nicht zur unmittelbaren Verwendung geeignet. Es muss zuerst aufbereitet, gereinigt und durch weitere physikalische und chemische Verfahren zu verkaufsfähigen Produkten verarbeitet werden.

Die Teilung des Rohöls in verschiedene hochwertige Produkte wird in grossen Erdölraffinerien vorgenommen. Hierzu wird das Vielstoffgemisch Rohöl durch Destillation unter Normaldruck und unter Vakuum in einfachere Stoffgemische aufgetrennt, die eine unterschiedliche Siedetemperatur besitzen. Die so entstandenen Produkte werden noch weiter behandelt, um verkaufsfähige Qualitäten zu erreichen.

#### 2.1.1 Entsalzung

Das Rohöl kann, abhängig von der Lagerstätte, Salzwasser als Wasser-in-Öl-Emulsion<sup>7</sup> und oft auch kristallines Salz enthalten. Die Salze und ihre Lösungen würden später Metall angreifen, weshalb Rohöl entsalzt werden muss.

Das Salzwasser-Öl-Gemisch trennt sich im grossen Nassöltank durch die verschiedenen Dichten teilweise auf. Das unter dem Öl schwimmende Wasser wird abgepumpt und in einem weiteren Arbeitsverfahren von restlichem Öl getrennt. Diese Emulsion wird erhitzt und einem Wechsellspannungsfeld ausgesetzt. Dabei geraten die kleinen Wassertröpfchen in heftige Bewegungen, so dass sie sich zu grösseren Tröpfchen vereinigen. Sie setzen sich am Boden ab und können erneut mit einer Dichtentrennung abgetrennt werden. Salz bleibt dabei in den Wassertropfen hängen und wird so ebenfalls vom Rohöl getrennt.

#### 2.1.2 Fraktionelle Destillation

Die fraktionelle Destillation ist ein Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen mit unterschiedlichen Siedepunkten.

---

<sup>6</sup> Stand 14.05.2006, Quelle: <http://www.willyoujoinus.com>

<sup>7</sup> Ein Gemisch zweier Flüssigkeiten, die sich normalerweise nicht mischen lassen



Durch Erhitzen des Rohöls auf über 360°C werden die einzelnen Bestandteile verdampft und gelangen in den Destillationsturm. Die verdampften Rohölbestandteile steigen im Destillationsturm auf, kühlen ab und kondensieren an den vorhandenen Glocken im Turm. Bestandteile mit hoher Siedetemperatur wie Heizöl kondensieren sehr früh, während sich leichte Benzine sehr spät an den höher gelegenen Glocken verflüssigen.

Rückstände, die eine zu hohe Siedetemperatur besitzen, werden erneut auf rund 350°C erhitzt und durchlaufen einen weiteren Destillationsturm, der unter Unterdruck steht. Durch den vorhandenen Unterdruck sinkt die Siedetemperatur und die Rückstände verdampfen grösstenteils.

Der Vorgang der fraktionellen Destillation ist in Abbildung 8 schematisch dargestellt.

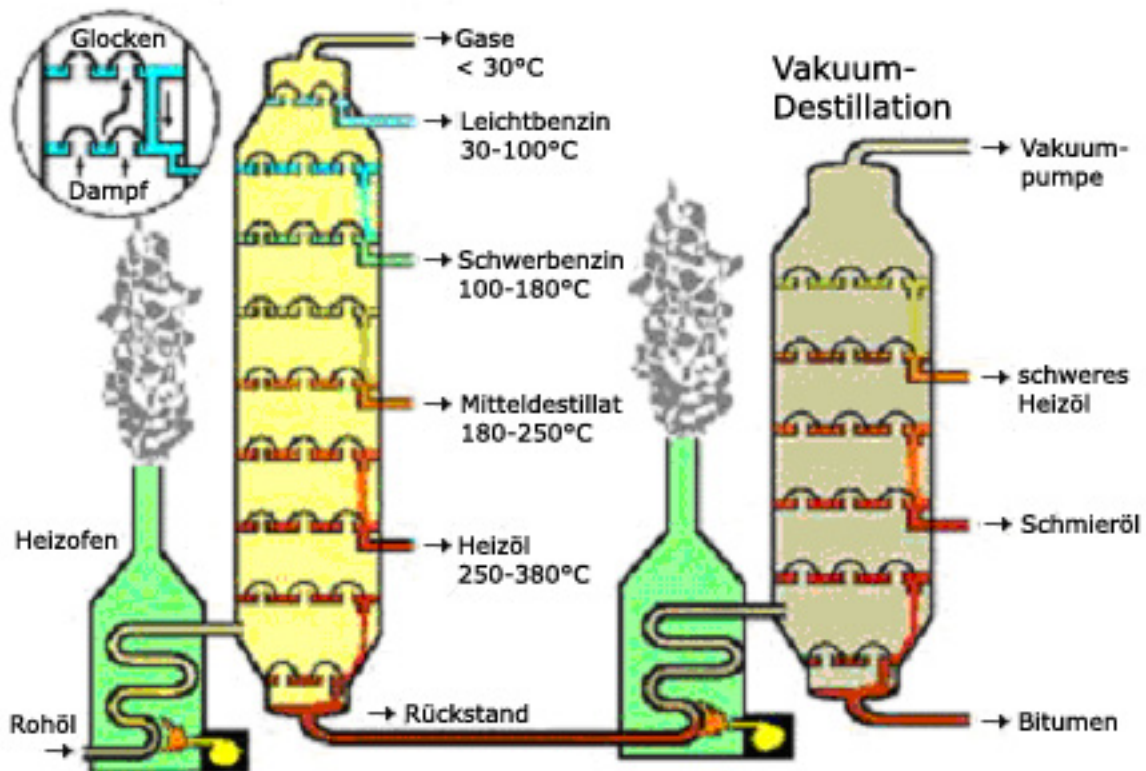


Abbildung 8: Fraktionelle Destillation

Nach der fraktionellen Destillation des Rohöls sind verschiedene neue Stoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften entstanden.

Die bei der ersten Destillation unter Normaldruck abgetrennten Gase dienen als Heizgase. Die Leicht- und Schwerbenzine, deren Siedepunkt zwischen 30 und 180°C liegt, eignen sich als Treibstoffe für Fahrzeuge mit Ottomotoren. Mitteldestillat mit einem Siedepunkt zwischen 180 und 250°C wird zu Lampen-Petroleum oder zu Kerosin als Düsenkraftstoff weiterverarbeitet. Heizöl mit dem Siedepunkt zwischen 250 und 360°C wird als Dieselmotorkraftstoff eingesetzt oder zu Heizöl für Ölbrenner weiterverarbeitet.

Bei der zweiten Destillation der Rückstände kommen weitere nützliche Erdölprodukte hinzu. Schweres Heizöl dient als Brennstoff für Kraftwerke und Schiffsmotoren. Schmieröle werden in Motoren oder anderen Mechaniken als Schmierstoffe eingesetzt. Der Rückstand *Bitumen*, der bei der zweiten Destillation wieder nicht verdampft wurde, wird im Strassenbau als Strassenteer verwendet.





### 2.1.3 Cracken

Cracken ist ein Verfahren in der Erdöl-Verarbeitung, bei dem *Kohlenwasserstoffe* hoher *Kettenlängen* in Kohlenwasserstoffe niedriger Kettenlängen gespalten werden. Dieses Verfahren wurde entwickelt, weil mehr kurzkettige Kohlenwasserstoffe in Form von Benzin, Diesel oder leichtem Heizöl benötigt werden als natürlich im Erdöl vorhanden sind. Langkettige Kohlenwasserstoffe in Form von schwerem Heizöl werden im Gegenzug eher weniger benötigt.

Es gibt zwei verschiedene Varianten beim Cracken: *Thermisches Cracken* und *katalytisches Cracken*. Katalytisches Cracken hat gegenüber dem thermischen Verfahren einige Vorteile. Tiefere Temperaturen beim Spalten der Kohlenwasserstoffe und eine kürzere Verarbeitungszeit des Heizöls sind die beiden wichtigsten Vorteile, die für das katalytische Cracken sprechen.

In der Katalytischen Crack-Anlage wird das zuvor destillierte schwere Heizöl erhitzt und danach mit dem aus dem *Regenerator* kommenden 550 bis 650°C heißen Katalysator, einem Gemisch aus *Aluminiumoxid* und *Siliciumdioxid*, vermischt und verdampft. Das verdampfte Gemisch gelangt in den Reaktor und wird dort wieder auf 550 bis 650°C erhitzt. Durch diese hohen Temperaturen geraten die langen *Kohlenstoffmoleküle* in starke Schwingungen und brechen auseinander. Es entstehen kurze Kohlenstoffmoleküle und *Koksmoleküle*, ein stark kohlenstoffhaltiger Brennstoff, der am Katalysator hängen bleibt. Während die entstandenen kurzen Kohlenstoffmoleküle durch einen *Abscheider* in einen Destillationsturm kommen, wird der Katalysator zusammen mit den Koks-molekülen in den Regenerator umgeleitet. Dort werden die Koks-moleküle verbrannt, um den Katalysator zu reinigen. Dieser wird danach wieder in den Kreislauf eingespielen.

Der Vorgang des katalytischen Crackens ist in Abbildung 9 schematisch dargestellt.

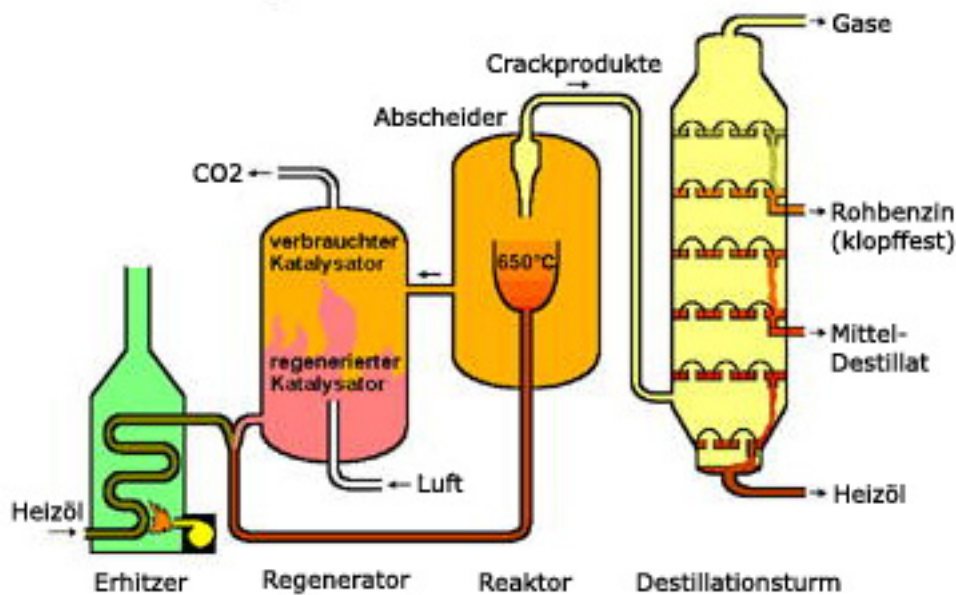


Abbildung 9: Katalytisches Cracken

Im Destillationsturm kondensiert das verdampfte Stoffgemisch und wird, abhängig vom Siedepunkt zur Weiterverarbeitung in Gase, Flüssiggase, Benzin, Kerosin, leichten Heizölen oder schweren Heizölen gesammelt. Durch Cracken entstandenes Rohbenzin besitzt eine hohe *Klopffestigkeit* und durchläuft das *Platin-Reforming* nicht.

### 2.1.4 Entschwefelung

Die bei der fraktionellen Destillation destillierten Zwischenprodukte sind noch reich an Schwefelverbindungen. Bei der Verbrennung würden diese Schwefeldioxid freisetzen. Schwefeldioxid ist giftig und auch für das Waldsterben verantwortlich.



Beim *Hydrofinieren* werden die zu entschwefelnden Öle mit Wasserstoff vermischt und erhitzt. Das heiße Gemisch gelangt in einen mit einem Katalysator gefüllten Reaktor. Bei einer Temperatur von ca.  $350^{\circ}\text{C}$  reagiert der Wasserstoff mit den Schwefelverbindungen, es entsteht Schwefelwasserstoff.

Beim nachfolgenden Claus-Verfahren wird der angefallene Schwefelwasserstoff mit Luftsauerstoff in einem Reaktor verbrannt. Durch die Verbrennung lässt sich Schwefel gewinnen.

### 2.1.5 Platin-Reforming

Bei der Verdichtung und den erhöhten Temperaturen in den Zylindern des Ottomotors kann es zu ungewünschten Selbstzündungen des Benzin-Luftgemisches, auch Klopfen genannt, kommen. Unverzweigte Kohlenwasserstoffe neigen zu dieser Frühzündung, während verzweigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe eine relativ hohe Klopfestigkeit besitzen.

Der Klopfestigkeitsmassstab der Kraftstoffe heisst *Octanzahl*. Umso höher die Octanzahl ist, desto klopfester ist der Treibstoff. Normalbenzin besitzt 95 Octan, Superbenzin dagegen 98 Octan. Automotoren, die mit Superbenzin fahren, haben auf Grund der höheren Klopfestigkeit eine längere Lebensdauer.

Um die Klopfestigkeit zu Erhöhen, wurden Früher bleihaltige, metallorganische Verbindungen beigemischt. Bei der Verbrennung zersetzten sich diese bleihaltigen Verbindungen und Bleistaub wurde mit den Abgasen ausgestossen. Der Bleistaub stellt ein grosses Umweltproblem dar und das verbleite Benzin wurde vom Markt genommen.

Es gibt heute ein anderes Verfahren, mit dem die Klopfestigkeit des Benzins erhöht werden kann. Nach dem Entschwefeln des Benzins wird es mit Wasserstoff durchmischt und auf über  $500^{\circ}\text{C}$  erhitzt. Dabei verdampft es und wird durch einen Reaktor mit einem platinhaltigen Gitternetz geleitet. Das Benzin ist nach dem ersten Arbeitsschritt noch nicht klopfest genug und durchläuft den Prozess erneut. Das Gemisch wird noch einmal erhitzt und durch einen weiteren Reaktor geleitet. Im nachfolgenden Trennturm wird das Benzin aus dem Gemisch destilliert, besitzt nun einen höhere Octanzahl und somit eine hohe Klopfestigkeit.

Der Vorgang des Platin Reformings ist in Abbildung 10 schematisch dargestellt.

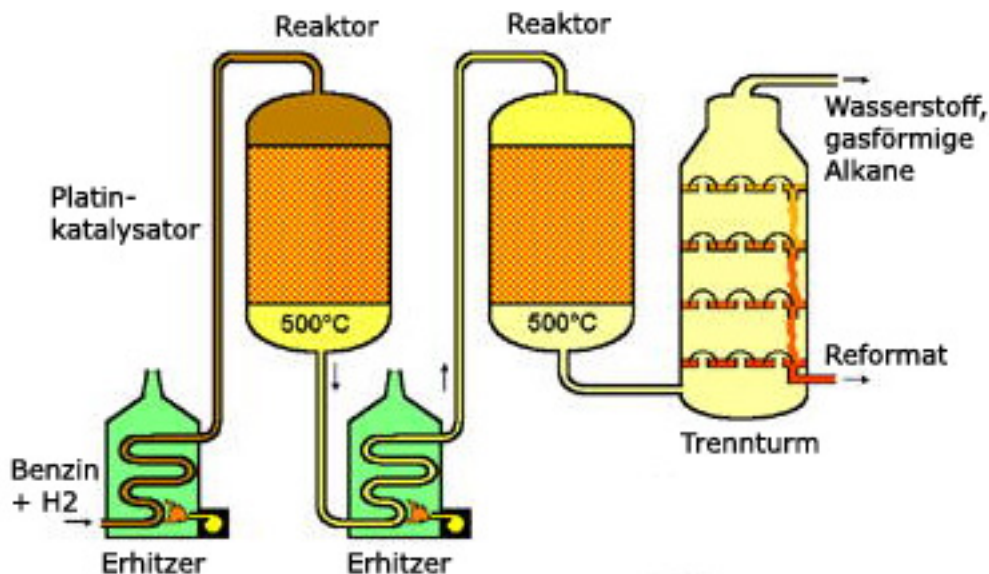


Abbildung 10: Platin Reforming





### 2.1.6 Pyrolyse (aufspalten)

Pyrolyse nennt man den Vorgang, bei dem Leichtbenzine bei sehr hohen Temperaturen in verschiedene Moleküle gespalten werden. Es handelt sich dabei um ein ähnliches Prinzip wie beim katalytischen Cracken von Heizöl.

Um Leichtbenzine aufzuspalten, wird ein Gemisch aus Sauerstoff und Methan unter Zugabe von Wasserdampf auf 2'500°C erhitzt. Wenn nun Leichtbenzin in dieses Gemisch geleitet wird, wird dieses gespalten. Die Pyrolyse wird oft auch als Steam-Crackingverfahren bezeichnet. Im Gegensatz zum katalytischen Cracken, läuft die Pyrolyse bei sehr viel höherer Temperatur und ohne Katalysator ab.

### 2.1.7 Polymerisation (verbinden)

Unter Polymerisation versteht man eine chemische Reaktion, bei der sich Moleküle, unter Einfluss von Katalysatoren, mit anderen Molekülen verbinden. Die neuen, kombinierten Moleküle besitzen andere Eigenschaften als die ursprünglichen. Durch Polymerisation kann so Kunststoff mit gewünschten Eigenschaften erzeugt werden.

Um eine Polymerisation von Molekülen zu betreiben, müssen diese zuerst aufgespalten werden. Dies kann durch die Pyrolyse vorgenommen werden. In einem zweiten Schritt, wird die Ansammlung eines bestimmten Moleküls mit der Ansammlung eines andern Moleküls vermischt. Um die Polymerisation auszulösen, muss noch Wärme zugefügt werden. Die Moleküle verbinden sich und ergeben so ein neues Material. An diese Verbindung zweier Moleküle können weitere Moleküle angehängt werden.

## 2.2 Verwendung des Rohstoffs Erdöl

Nach der Veredelung der einzelnen Erdölprodukte werden diese in verschiedenen Einsatzgebieten verwendet. Der grösste Teil des Erdöls wird heute als Treibstoff, als Wärmespender oder zur Stromerzeugung verbrannt.

### 2.2.1 Als Treib- und Brennstoff

Treib- und Brennstoffe sind ein wichtiger Bestandteil der modernen Welt. Durch sie erhalten wir starke Mobilität. Maschinen werden angetrieben, die uns an unser Ziel bringen, Wärmeenergie benötigen wir, um Dinge herzustellen, zu betreiben oder zu zerstören.

#### 2.2.1.1 Flüssiggas

Flüssiggas, auch LPG (Liquified Petroleum Gas) genannt, ist Gas, das bei Raumtemperatur einen gasförmigen Aggregatzustand besitzt. Es besteht aus den leichtesten Bestandteilen des Rohöls und wird in den Erdölraffinerien gesammelt. Unter leichtem Überdruck von ca. 8 Bar verflüssigt sich dieses Gas. Das Volumen verringert sich dabei auf ein 260stel und kann so in grösseren Mengen einfacher in Tanks gelagert werden. Bei der Verbrennung von Flüssiggas werden deutlich weniger Schadstoffe und CO<sub>2</sub> ausgestossen als bei Benzin oder Diesel.

Heute wird Flüssiggas als Heiz- und Kochgas verwendet, wenn kein Erdgasnetz vorhanden ist. Gespeichert wird das Flüssiggas zu Heiz- und Kochzwecken in Flüssiggaslagerbehältern in flüssiger Form. Um diesen Tank wieder aufzufüllen, wird ein Tankfahrzeug benötigt.

Im Campingbereich, beim Grillen oder Weichlöten werden nur kleine Mengen benötigt. Diese werden mit Gasflaschen oder Gaskartuschen abgedeckt.

Kleine Feuerzeuge sind oft mit Flüssiggas gefüllt, da der kleine Gastank unter Überdruck gesetzt werden kann und die Brenndauer so erhöht werden kann.

Auch in der Autoindustrie wird bereits längere Zeit auf Flüssiggas gesetzt. Ottomotoren lassen sich einfach auf den sauberen, günstigen Treibstoff umrüsten. Der Schadstoffausstoss von Stickoxiden beträgt etwa 20% der Benzinverbrennung, CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindern sich um



15% und unverbrannte Kohlenwasserstoffe um 50%. In der Schweiz wird Flüssiggas an etwa 20 Tankstellen angeboten. In anderen europäischen Ländern, wie Grossbritannien, Frankreich und Italien ist bereits heute ein gutes Tankstellennetz für Flüssiggas-Fahrzeuge vorhanden.

#### **2.2.1.2 Benzin**

Benzin ist der am meisten verkaufte Treibstoff auf der gesamten Welt. Er wird aus den leichten, kurzkettigen Kohlenwasserstoffen des Erdöls gewonnen und besitzt eine Siedetemperatur zwischen 35 und 180°C.

Der grösste Teil dieses Rohödestillats wird zu Motorenbenzin weiterverarbeitet. Weiter entstehen auch Flugzeugbenzine für Sportflugzeuge und Spezialbenzine für die chemische Industrie.

Weltweit umfasst der jährliche Benzinverbrauch 1'200 Milliarde Liter. Davon werden rund 35 Milliarden Liter in Deutschland verbraucht.

#### **2.2.1.3 Diesel**

Diesel ist der bevorzugte Treibstoff für Busse, Schiffe, Landwirtschafts- und Baumaschinen. Aber auch im Bereich der Personenwagen haben die sparsamen Dieselmotoren zunehmend Verwendung gefunden. Diesel, auch Dieselöl genannt, besteht aus mittel bis längerkettigen Kohlenwasserstoffen und besitzen eine Siedetemperatur zwischen 180 und 250°C. Eigenschaften des Dieselöls nach der Destillation wie Zündwilligkeit oder Kälteeigenschaften werden durch Zusätze optimiert.

Der weltweite Markt für Dieselkraftstoff beträgt mehr als 950 Milliarden Liter im Jahr. Der Deutsche Markt beträgt rund 30 Milliarden Liter Dieselkraftstoff.

#### **2.2.1.4 Kerosin**

Kerosin, auch Petrol oder Flugpetrol genannt, ist Teil des Mitteldestillats einer Erdölraffinerie und wurde in der Vergangenheit vor allem zu Beleuchtungszwecken oder als Heizöl eingesetzt. Heute wird es als Flugtreibstoff verwendet und sichert als Flugpetrol weltweit den Antrieb von Turbinentriebwerken. Für Kerosin sind hohe Qualitätsmerkmale festgelegt, da Turbinentriebwerke auch in höheren Luftschichten bei eisigen Temperaturen betrieben werden müssen.

Ein Jumbo verbrennt 16.000 Liter Kerosin pro Stunde, weltweit fliessen pro Jahr etwa 230 Milliarden Liter in den Flugverkehr.

#### **2.2.1.5 Heizöl**

Es gibt zwei verschiedene Heizölkategorien: Leichtes Heizöl und schweres Heizöl.

Leichtes Heizöl zählt zu den Mitteldestillaten und besitzt eine Siedetemperatur von 180 bis 250°C. Es besitzt sehr ähnliche Eigenschaften wie Dieselöl und wird zur Unterscheidung chemisch markiert und mit rotem Farbstoff versetzt. Im Vergleich zu anderen Brennstoffen besitzt leichtes Heizöl einen hohen Heizwert. Daneben ist es kältebeständig und verbrennt weitgehend rückstandsfrei.

Schweres Heizöl hat eine hohe Siedetemperatur von über 350°C und besteht aus langkettigem Kohlenwasserstoffen. Um schweres Heizöl transportieren oder verbrennen zu können, muss es erhitzt werden, da es sehr zähflüssig ist. Zum Einsatz kommt schweres Heizöl in der Industrie zur Erhitzung von Rohstoffen bei der Produktion oder zur Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken.

#### **2.2.1.6 Schadstoffausstoss**

Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Erdöl entsteht neben weiteren Schadstoffen sehr viel CO<sub>2</sub>. Jährlich produzieren wir Menschen ca. 30 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das erhöhte CO<sub>2</sub>-Vorkommen in der Atmosphäre trägt nachgewiesen zur globalen Erwärmung bei.



Weltweit 500 Millionen Personenwagen stossen sechs Milliarden Tonnen Kohlendioxid pro Jahr aus, das sind etwa 20% der gesamten vom Menschen erzeugten Menge. Rechnet man noch Strassenbau, Autoherstellung und Raffinerien hinzu, steigt der Anteil des Verkehrs am CO<sub>2</sub>-Ausstoss auf fast ein Drittel an.

### **2.2.2 Kunststoff**

Weniger als zehn Prozent der Produkte, die aus Rohöl gewonnen werden, gelangen als Ausgangsstoffe in die chemische Industrie. Der grösste Teil davon wird für die Produktion von Kunststoffen verwendet.

Kunststoffe sind durch Polymerisation aus verschiedenen Molekülen hergestellte Stoffe. Diese zeichnen sich, im Vergleich zu Holz, keramischen oder metallischen Werkstoffen, durch eine Reihe von ungewöhnlichen Eigenschaften aus.

Die meisten Kunststoffe sind erheblich leichter als Metalle, da sie eine geringere Dichte besitzen. Unterlegen ist Kunststoff im Bezug auf die mechanischen Eigenschaften, wie Festigkeit oder Steifigkeit. Kunststoff bricht im Vergleich mit Glas aber weniger leicht und weist eine gute Zähigkeit auf. Bei Betrachtung der chemischen Beständigkeit ist Kunststoff beständiger gegenüber Mineralsäuren, Laugen oder Salzlösungen als Metall. Es besitzt eine niedrigere Verarbeitungstemperatur, im Bereich von 250 bis 300 °C, und besitzt darum den Vorteil, dass Farbpigmente beigemischt werden können. Diese würden bei höheren Temperaturen verbrennen. Kunststoff besitzt zudem eine geringere Wärme- und elektrische Leitfähigkeit als Metall.

Die Kunststoffindustrie ist ein wichtiger Zweig der chemischen Industrie und bietet viele Arbeitsplätze. Im Jahr 2004 erreichten weltweit 3'650 Unternehmen, mit 379'000 Arbeitnehmern, einen Umsatz von über 110 Milliarden Franken.

Rund 90% der gesamten weltweiten Produktion, jährlich 150 Millionen Tonnen, sind auf sechs Kunststoffe verteilt. Diese heissen Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid, Polystyrol, Polyurethan und Polyethylenterephthalat.

#### **2.2.2.1 Polyethylen**

Polyethylen (siehe Abbildung 11) überzeugt durch eine feste, kristalline Struktur, dessen dichte geringer als Wasser ist. Das Material eignet sich zur Fertigung von Flaschen, Getränkekästen, Schüsseln, Fässern, Eimern, Batteriegehäusen, Verpackungsfolien aller Art, Tragetaschen usw.

#### **2.2.2.2 Polypropylen**

Polypropylen (siehe Abbildung 12) zeichnet sich durch seine Festigkeit, seine Härte und mechanische Belastbarkeit bei geringer Dichte aus. Aufgrund dieser Eigenschaften hat es bereits teilweise Metallwerkstoffe verdrängt. Der grösste Teil dieses Kunststoffes wird für Lebensmittelverpackungen verwendet. In der Automobilindustrie wird das Material für Luftfiltergehäuse, Gaspedale und Spoiler verwendet. Weitere Anwendungsgebiete sind Gartenmöbel, Klodeckel, Kunstrasen, Koffer, Brillenetuis oder sterilisierbare medizinische Geräte.

#### **2.2.2.3 Polyvinylchlorid**

Polyvinylchlorid (siehe Abbildung 13) besteht aus Chlor, Kohlenstoff und Wasserstoff. Es ist sehr schwer entflammbar und zeigt eine sehr gute Beständigkeit gegen Säuren, Basen, Fette, Alkohole und Öle. Eingesetzt wird dieser Kunststoff für Abflussrohre oder Jalousien. Nach Beigabe von Weichmachern eignet sich das Material aber auch für Bodenbeläge, Dichtungen, Schläuche, Kunstleder usw.

#### **2.2.2.4 Polystyrol**

Polystyrol (siehe Abbildung 14) besitzt eine geringe Feuchtigkeitsaufnahme, leichte Verarbeitbarkeit und weist sehr gute elektrische Eigenschaften auf. Es ist aber kaum Wärmebeständig, leicht entflammbar, empfindlich gegen Lösungsmittel und bekommt Risse unter Spannung.



Aufgeschäumtes Polystyrol ist als Styropor bekannt. Es wird in der Elektronik zur Isolierung von Kabeln, als Schalter oder als Material für Gehäuse verwendet. In Form von Styropor eignet es sich als Dämmstoffe für Schläge oder Akustik.

### 2.2.2.5 Polyurethan

Polyurethan (siehe Abbildung 15) variiert stark in seinen Eigenschaften abhängig von seinen Bestandteilen. Aus dem Material werden sehr elastische Textil-Fasern und Zusätze für Lacke und Material für Leiterplatten hergestellt. Die bekanntesten Anwendungen des Polyurethans sind Matratzen, Polsterungen in Autositzen, Sitzmöbel, Dämmmaterial, Schwämme usw.

### 2.2.2.6 Polyethylenterephthalat

Polyethylenterephthalat (siehe Abbildung 16) besitzt eine gute Steifigkeit, Härte, Abriebfestigkeit, Schlagzähigkeit und ist beständig gegen verdünnte Säuren, Öle, Fette und Alkohole. Es ist empfindlich gegenüber heissem Wasserdampf. Transparentes Polyethylenterephthalat ist leichter als Glas und wird darum oft für Getränkeflaschen und als Verpackungen für Lebensmittel und Kosmetika verwendet. Es wird ebenfalls für Haushalts- und Küchengeräte und Computer verwendet und findet auch Einsatz als Zahnräder, Schrauben oder Federn.

### 2.2.2.7 Abbildungen

Es folgen die Abbildungen der genannten Kunststoffe:



Abbildung 11: Polyethylen



Abbildung 12:  
Polypropylen



Abbildung 13: Polyvinylchlorid



Abbildung 14: Polystyrol



Abbildung 15: Polyurethan



Abbildung 16:  
Polyethylenterephthalat



### **2.2.2.8 In der Medizin**

In der heutigen Medizin erfüllen Kunststoffe vielfältige Aufgaben. Sie dienen als Behälter für Infusionslösungen, als Wegwerfartikel wie Spritzen oder Pflaster, als Bauteile von medizinischen Geräten und als Implantate wie Herzklappen, Knochenersatz, Knochenschrauben usw.

Das wichtigste Argument für den Einsatz von Kunststoffen in der Medizin war und ist die Hygiene. Wo früher medizinische Instrumente aus Glas oder Metall aufwendig gereinigt werden mussten, sind diese heute durch Wegwerfartikel aus Kunststoff ersetzt worden.

Für alle Stoffe und Materialien, die auf direktem oder indirektem Weg in Kontakt mit lebendem Gewebe kommen, gelten besondere Auflagen. Das Material darf das menschliche Gewebe nicht beschädigen und nicht vom Gewebe beschädigt werden. Wenn diese beiden Bedingungen erfüllt sind, ist das Material biokompatibel.

### **2.2.2.9 Farbige Kunststoffe**

Die meisten Kunststoffe sind in reiner Form farblos. Farblich werden diese erst durch Zusatz von Farbmitteln. Man unterscheidet zwischen Farbstoffen (färben Moleküle ein) und Pigmenten (unlösliche, meist organische Kleinstbestandteile). Textilien werden mit Farbstoffen eingefärbt, für Kunststoffe werden grösstenteils Pigmente verwendet.

Farbstoffe und Pigmente können aus natürlichen Produkten gewonnen oder auf synthetische Weise hergestellt werden. Diese werden erst bei der Verarbeitung des Kunststoffes bei der Erhitzung beigemischt.

## **2.2.3 Als Baustoff**

Ein weiteres Produkt, das aus Erdöl gewonnen wird, ist Bitumen. Es ist ein klebriges, abdichtendes Produkt mit einem temperaturabhängigen Dehnverhalten. Bitumen besteht aus langkettigen Kohlewasserstoffen und enthält chemisch gebundenen Schwefel, Sauerstoff und Spuren von Metallen.

### **2.2.3.1 Abdichtungen**

Bitumen ist nicht wasserlöslich und wird daher verwendet, um empfindliche Stoffe und Bauteile gegen Wasser abzudichten. Es lässt sich jahrelange Wassereinwirkungen nur an der Oberfläche nachweisen, ist in gewissem Umfang resistent gegen Säuren und Basen, reagiert aber im Brandfall heftig mit Sauerstoff und ist löslich gegenüber ähnlichen Kohlewasserstoffen wie Benzin oder Öl.

Eingesetzt wird Bitumen als Haftbeschichtung an Metall, um Korrosion zu verhindern oder in Verbindung mit beigemischten Kunststoffen als Dachabdichtung.

### **2.2.3.2 Strassenbau**

Die Bindungsfähigkeit, die temperaturabhängigen und wasserabweisenden Eigenschaften machen Bitumen auch für den Strassenbau interessant.

Bitumen erfüllt ähnliche Voraussetzungen im Strassenbau wie Teer. Es wird als Bindemittel zwischen Mineralstoffen verwendet. Das so entstehende Gemisch bezeichnet man als Asphalt. Heute werden bei der Herstellung von Asphalt immer häufiger Bitumen verwendet, die mit Polymeren angereichert sind. Durch die Anreicherungen erhöht sich die Lebensdauer des Asphalts. Insbesondere für Beläge auf stark befahrenen Verkehrswegen wird häufig Bitumen verwendet, die mit Polymeren angereichert sind.

## **2.3 Bewusstsein der Bevölkerung**

Zitat Bernd Pieschetsrieder, Vorstand Volkswagen AG (\*14.02.1948):





### **„Was heute Luxus ist, ist morgen der normale Standard.“<sup>8</sup>**

Wie schon Bernd Pieschetsrieder, Vorstand Volkswagen AG erkannte, wird Luxus schnell zum Standard. Im Westeuropa besitzt ein Grossteil der Menschen ein eigenes Auto, das sie für private oder berufliche Zwecke benützen. Vor 50 Jahren hielt man dieses Szenario für Utopie.

Um dieses Verhalten am den Rohstoff Erdöl nach zu weisen, haben wir eine Umfrage durchgeführt.

## **2.3.1 Analyse der Umfrage**

Die Umfrage, welche eine Laufzeit von einer Woche hatte, fand elektronisch statt. Diese bestand aus drei Teilen. Im ersten Teil wurden die Personen über die gewussten Einsatzgebiete von Erdölprodukten befragt. Der nächste Punkt der Umfrage stand für die Frage, wie man am einfachsten Erdöl sparen kann. Als letzter Punkt wurden die Personen nach den Folgen eines baldigen Endes des Erdölzeitalters befragt.

### **2.3.1.1 Erdölverbraucher**

Über 70% der Personen ist sich der Wichtigkeit von Erdöl bewusst. Sie wiesen den Produktionsbestandteil Erdöl den richtigen Artikeln zu. Bei der mengenmässigen Verteilung des Erdölverbrauchs entsprach die Ansicht der Mehrheit nicht der Wirklichkeit. Ca. 60% hielten die Industrie als Produzent von Kunststoffen als grössten Erdölverbraucher.

Auszug der Umfrage auf die Frage nach dem grössten Erdölverbraucher: *„Am meisten wird bei der Produktion gebraucht. Kunststoffe machen dabei den grössten Anteil aus.“*

### **2.3.1.2 Sparmassnahmen**

Auf die zweite Frage zum Sparen von Erdöl antworteten 90% der Personen, dass am meisten Sparpotenzial im Benzinverbrauch liegt.

Auszug der Umfrage auf die Frage nach dem grössten Erdölsparpotenzial: *„Indem man Autos beispielsweise mit Erdgas betreibt. In der Produktion wird Erdöl zu sehr benötigt, als dass man es dort einsparen könnte. Der logische Weg wäre dementsprechend einen anderen Antriebssstoff als Benzin zu benutzen - immerhin kann man mittlerweile sowieso an vielen Tankstellen Erdgas tanken. Ich denke eine Subventionierung des Staates könnte das noch ankurbeln und sollte in näherer Zukunft auch geschehen.“*

### **2.3.1.3 Ende des Erdöls**

Bei der letzten Frage nach den Folgen eines nahen Endes des Erdöls, gab es stark verschiedene Meinungen bei den Umfrageteilnehmern. Einige Personen beschrieben eine Rosa-Zukunft mit zurückgehender Klimaerwärmung. Weitere machten Aussagen über gefundene ähnliche Energiequellen oder nie endende, noch nicht gefundene Erdölvorkommen. Manche beschrieben aber auch Horrorszenarien mit Kriegen um letzte Erdöllagerstätten.

Auszug der Umfrage auf die Frage nach den Folgen des nahen Erdölendes: *„Die Wirtschaft würde zusammenfallen, Autos etc. wären unbrauchbar,... (sozusagen wieder im Mittelalter).“*

### **2.3.1.4 Bemerkung**

Als abschliessende Bemerkung ist zu verzeichnen, dass sich nur ein geringer Prozentsatz aller Befragten an der Umfrage beteiligen wollte. Dies ist zum Teil durch Desinteresse an Produktionsvorgängen und der Energiewirtschaft zu begründen. Erdöl ist für sie eine selbstverständliche Sache geworden, wie Wasser oder Sonnenlicht.

---

8 Stand: 29.11.2006 , Quelle: <http://www.4managers.de/themen/e-commerce/>



### 3 „Peak Oil“

Der Begriff *Peak Oil* bezeichnet den Zeitpunkt, ab dem die Gesamtfördermenge mehrerer Ölfelder ihr Maximum erreicht. Zu deutsch ist der Begriff *Ölfördermaximum* treffend. Die Begriffe *Hubbert's Peak* und *depletion mid-point* bedeuten das Selbe und sind somit Synonym zu Peak Oil. Die Bezeichnung Peak Oil ist jedoch die meist verbreitetste, somit werde ich diese auf den folgenden Seite ebenfalls verwenden.

Jede Ölquelle, jedes Ölfeld und auch jedes Land hat seinen eigenen Peak Oil. Da der Rohstoff Erdöl jedoch auf der gesamten Welt verwendet wird, ist vor allem der globale Peak Oil von Interesse.

Nun fragt man sich vielleicht: „Wieso sollte es uns interessieren, wenn am meisten Öl gefördert wird? Viel interessanter ist doch, wann uns das Erdöl ganz ausgeht!“ Falsch. Erdöl wird es noch sehr lange geben. Auch in einigen hundert Jahren können wir noch Erdöl fördern, auch wenn es nur ein paar Tropfen sind. Warum die Förderspitze interessanter ist und wann diese möglicherweise erreicht werden könnte, werde ich in den folgenden Abschnitten erläutern. Dabei muss ich teilweise recht stark ausholen, da es sich um ein globales Thema mit sehr komplexen Zusammenhängen handelt. Später werden wir dann auch sehen, dass nicht einmal der genaue Zeitpunkt von Peak Oil von Interesse ist!

#### 3.1 Wann erreichen wir Peak Oil?

Derzeit gibt es grob gesagt zwei Gruppen, die sich darüber streiten, wann Peak Oil eintreten wird. Die „Verfechter einer späten Förderspitze“ gehen davon aus, dass es weltweit noch zwei Billionen Barrel Öl zu fördern gibt. Zu dieser Gruppe zählen sich vor allem Leute aus der Ölinindustrie, Leute aus Regierungen und Behörden, Finanzanalysten sowie Wirtschaftsjournalisten. Die zweite Gruppe, die „Verfechter einer frühen Förderspitze“, geht davon aus, dass es weltweit nur noch eine Billion Barrel Erdöl zu fördern gibt. Zu dieser Gruppe gehören vor allem Geologen, welche einer Organisation namens „Association for the Study of Peak Oil“ (ASPO) angehören. Weiter gesellen sich immer mehr kritische Analysten und Journalisten zu den Verfechtern einer frühen Förderspitze.

Um sich die Dimensionen dieses Streits besser vorstellen zu können, kann man sich den Unterschied zwischen einer Billion Barrel Öl und zwei Billionen Barrel Öl anhand eines halbvollen gegenüber eines vollen Genfersees vorstellen (würde der Genfersee Erdöl und nicht Wasser beinhalten). Bis ins Jahr 2003 wurden ungefähr 920 Milliarden Barrel Erdöl gefördert. Diese Zahl gilt als wesentlich weniger umstritten als die der noch vorhandenen Reserven. Schenkt man den Verfechtern einer frühen Förderspitze Glauben, so wurde nun bereits schon die Hälfte des weltweit existierenden Erdöls gefördert!

Schenkt man den Schätzungen der Verfechter einer späten Förderspitze Beachtung, so liegt Peak Oil irgendwo in den dreissiger Jahren des 21. Jahrhunderts. Die Schätzungen der Verfechter einer späten Förderspitze führen zu einem Peak Oil, welcher jeden Moment eintreten könnte. Doch welche Gruppe hat Recht?

Die direkte Frage nach dem genauen Eintreten des globalen Peak Oils kann nicht so einfach beantwortet werden. Wir müssen uns zuerst die einzelnen Faktoren anschauen, welche Indiz für die Erreichung von Peak Oil sein können. Nur unter Berücksichtigung all dieser Faktoren können wir schliesslich feststellen, wie nahe wir Peak Oil bereits sind. Diese Faktoren können grob mit der Beantwortung der folgenden Fragen bestimmt werden:

1. Wie viel Erdöl verbrauchen wir im Moment und werden wir in Zukunft verbrauchen?
2. Wie viele Ölreserven sind eindeutig nachgewiesen und bereit zur Förderung?
3. Wie viele neue Ölquellen werden wir in Zukunft erschliessen können?
4. Wie lange dauert es, dass Öl einer entdeckten Quelle auf den Weltmarkt gepumpt wird?



### 3.1.1 Aktueller Ölverbrauch

Wie wir bereits im zweiten Kapitel gesehen haben, brauchen wir Erdöl beinahe in all unseren Lebenssituationen. 90% unserer Fahrzeuge werden mithilfe von Erdöl angetrieben, 95% all unserer Nahrungsmittel werden mithilfe von Erdöl hergestellt. Die Abhängigkeit vom Erdöl gilt somit als zweifelsfrei erwiesen.

Die gesamte Weltbevölkerung verbraucht derzeit ungefähr 80 Millionen Barrel Erdöl am Tag. Dies entspricht einem jährlichen Verbrauch von fast 30 Milliarden Barrel Erdöl. Rechnet man das in Liter um, erhält man eine Zahl astronomischen Ausmasses von 4'770'000'000'000 Litern Erdöl pro Jahr. In Worten; vier Billionen siebenhundertsiebzig Milliarden Liter Erdöl pro Jahr.

Auf unserem Planeten leben derzeit über sechs Milliarden Menschen. In den USA leben ungefähr 300 Millionen Menschen, also rund 5% der Weltbevölkerung. Die USA darf insofern als der Ölverschwender schlechthin bezeichnet werden, als dass die US-amerikanischen 5% der Weltbevölkerung rund einen Viertel des weltweiten Ölverbrauchs ausmachen.

### 3.1.2 Steigender Durst nach Erdöl

Der gegenwärtige Präsident der vereinigten Staaten von Amerika wird sich kaum dafür einsetzen, dass dieser Erdölverbrauch künftig gesenkt wird. Dies kommt wohl daher, dass die Familie Bush selber aus dem Lager der Ölindustrie stammt und somit kaum daran interessiert ist, dass Amerika seinen Energiedurst künftig mit alternativen Energien stillt. In den USA selber sinkt aber die Erdölförderung seit über 35 Jahren! Amerika hat somit seinen Peak Oil schon lange erreicht.

Von den rund 20 Millionen Barrel, welche die USA tagtäglich verbrauchen, werden bereits heute an die 5 Millionen Barrel importiert. Dieses Öl stammt aus dem nahen Osten, also aus der Region zwischen Saudi-Arabien und dem Iran, wo sich wohlgemerkt auch der Irak befindet. Diese 5 Millionen Barrel Erdöl könnten eingespart werden, indem die amerikanische Autoindustrie zum Bau von energiesparenden Autos verpflichtet würde. Stattdessen steigt der Anteil von geländegängigen Sportfahrzeugen in den USA massiv an, 2003 bereits auf etwa 24%. Dies erscheint mir persönlich als äusserst pervers, lebt doch ein Grossteil der amerikanischen Bevölkerung in Grossstädten mit flachem Gelände! Diese sprithungrigen Fahrzeuge schlucken an die 20 Liter auf 100 km und liegen in den USA hoch im Trend. Dieser Trend scheint sich auch bei uns zu entwickeln. Und das in einer Zeit, in der wir Autos bauen können, die auf 100 km nur gerade 4 Liter schlucken<sup>9</sup>!

#### 3.1.2.1 Abhängigkeit der USA

Der Bedarf nach Erdöl aus dem nahen Osten könnte also problemlos eingeschränkt werden. Die USA scheinen sich jedoch für die Abhängigkeit von den nahöstlichen Ölexporturen entschieden zu haben. So hat beinahe jeder amerikanische Präsident seit dem zweiten Weltkrieg irgendwelche Militäraktionen im nahen Osten angeordnet, um sich den Zugang zu günstigem Öl aus der Region zu sichern. Diese Militäraktionen wurden zumeist unter dem Vorwand der *Demokratisierung* durchgeführt und kosteten bisher mehrere hundert Milliarden US-Dollar. Mit diesem finanziellen Aufwand hätte man wohl den weltweiten Energiebedarf komplett auf erneuerbare Energien umstellen können!

#### 3.1.2.2 China und Indien

Nicht nur in den USA steigt der Energiebedarf massiv, auch die boomende Wirtschaft in China und Indien führen zu einem stetig wachsenden Erdölbedarf in den beiden Ländern. Ähnlich wie die USA ist auch hier die Abhängigkeit vom importierten Erdöl. Zwar gehört China auch zu den grössten Erdölförderern weltweit, verbraucht aber seit Anfang des neuen Jahrtausends mehr Öl als es fördern kann. Indien verbraucht zwar nur etwas mehr als einen Drittel soviel Erdöl wie China, die Ölförderung in Indien ist jedoch weit kleiner als diejenige Chinas.

---

9 Der Toyota Prius mit Hybridantrieb verbraucht zwischen 4.3 und 5 Liter (im Stadtverkehr)





Insgesamt haben wir mit China und Indien also zwei weitere grosse Erdölimporteure, deren Bedarf in den nächsten Jahren wachsen und nicht schrumpfen wird.

### **3.1.3 Nachgewiesene Ölreserven**

Jedes Ölunternehmen hat seine eigenen Ölreserven. Diese Zahlen werden jedoch von Kritikern oftmals als zu hoch angesehen. Der derzeit zweitgrösste private Ölkonzern Shell scheint sich bezüglich seiner Ölreserven durchaus etwas überschätzt zu haben. So teilte Shells damaliger Vorstandsvorsitzender Sir Philip Watts im Januar 2004 mit, dass Shell seine Ölreserven um etwa 20% überschätzt haben soll. Dies führte zu einem Skandal, worauf Watts gehen musste.

Shell soll jedoch nur die Spitze des Eisbergs sein. Auch andere Ölunternehmen, staatliche wie private, sollen seit Jahren zu hohe Erdölreserven ausweisen. Es ist also nur eine Frage der Zeit, bis ein weiterer „Reserveskandal“ bekannt wird.

#### **3.1.3.1 Die Energiebibel**

Erkundigt man sich bei den grossen Erdölfirmen nach den derzeitigen förderbereiten Ölreserven, so wird man auf die jährlich erscheinende „Statistical Review of World Energy“ (die Weltenergiestatistik) verwiesen. Dieser Bericht wird auch als „die Energiebibel“ bezeichnet. Diese Energiebibel enthält unter anderem Zahlen über die derzeit nachgewiesenen nationalen Ölreserven. Rechnet man diese nationalen Ölreserven Jahr für Jahr zusammen, so kann man erkennen, dass die weltweiten Ölreserven im Jahr 1970 etwas mehr als 600 Milliarden Barrel Erdöl betragen, im Jahr 2003 jedoch schon fast die doppelte Menge von 1'147 Milliarden Barrel ausmachen!

Der grösste Anstieg der globalen Erdölreserven vollzog sich in den Jahren 1985 bis 1990. Ist dieser Anstieg auf die Neuentdeckung grosser Ölfelder zurückzuführen? Keinesfalls, die Ölentdeckungen in diesen Jahren machten gerade etwa zehn Milliarden Barrel aus. Woher kommt also dieser enorme Anstieg?

#### **3.1.3.2 Zahlen der OPEC**

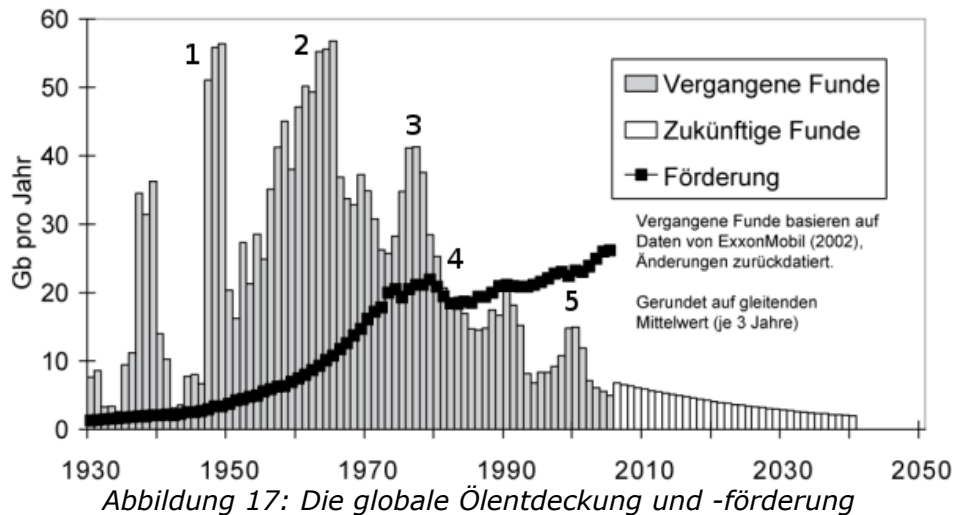
Wie bereits im Abschnitt über die OPEC im ersten Kapitel erklärt (siehe Abschnitt 1.4.6), legt diese bestimmte Förderquoten für ihre Mitglieder fest. Unter Einhaltung dieser Förderquoten kann die OPEC den Ölpreis schlussendlich stark beeinflussen. Das Problem ist jedoch, dass diese Quoten aufgrund der jeweiligen nationalen Ölreserven berechnet werden. Will ein Staat mehr fördern, so muss er zunächst höhere Ölreserven ausweisen.

So begann 1985 das „grosse Frisieren der Ölreserven“. Kuwait korrigierte seine Reserven von 64 auf 90 Milliarden Barrel Öl. Auch Saudi-Arabien korrigierte seine Reserven von 170 auf 258 Milliarden Barrel Öl. Die anderen OPEC-Nationen mussten natürlich nachziehen, damit sie weiterhin straffrei so viel Öl fördern konnten wie bisher.

Es bleibt uns also nichts weiteres übrig, als die Zahlen der Energiebibel kritisch zu betrachten und die Gewissheit, dass die OPEC wahrscheinlich über weniger Ölreserven verfügt, als sie uns angibt.

### **3.1.4 Entdeckung neuer Ölquellen**

Wann wir die globale Ölförderspitze erreichen oder ob wir diese bereits erreicht haben, wird heftig umstritten. Es gilt jedoch als erwiesen, dass wir die Spitze der Entdeckung neuer Ölquellen schon seit Jahren hinter uns gelassen haben. Abbildung 17 zeigt die globale Ölentdeckung und -förderung in der Vergangenheit:



Besonders wichtige Entdeckungen und Zeitpunkte rund um die Entdeckung grosser Erdölquellen wurden mit den Zahlen 1 bis 5 markiert. Diese Stellen haben folgende Bedeutung:

1. Die beiden grössten Erdölfunde stammen aus der Zeit um den zweiten Weltkrieg. Das grösste Erdölfeld der Welt, das Ghawar-Feld, wurde 1948 in Saudi-Arabien entdeckt. Es soll bei seiner Entdeckung 87.5 Milliarden Barrel förderbares Öl gefasst haben. Das etwas kleinere Burgan-Ölfeld mit ungefähr 87 Milliarden Barrel Öl wurde bereits 1938 in Kuwait entdeckt.
2. 1965 wurde die Spitze der Entdeckungen erreicht. Die US-amerikanische Spitze der Erdölentdeckungen und die Förderspitze lagen ungefähr 40 Jahre auseinander. Wenn sich dies auf die globale Ölförderung abbilden liesse, so sind wir sehr nahe an Peak Oil oder haben diesen Punkt bereits im Jahr 2005 überschritten!
3. Die letzten grossen Ölfelder wurden in den 70er Jahren entdeckt. Die Entdeckung des Ölfeldes in der Prudhoe Bay im Norden von Alaska und die Entdeckung der grossen Ölfelder in der Nordsee gehen auf diese Zeit am Ende der 70er Jahre zurück. Seitdem gab es keine grösseren Entdeckungen mehr!
4. Anfangs der 80er Jahre haben wir den Punkt erreicht, dass zum ersten mal mehr Öl gefördert als entdeckt wurde. Seitdem hinkt die Kurve der Entdeckungen der Kurve der Förderung hinterher.
5. Im Jahr 2000 wurden einige grössere Ölfelder in Kasachstan entdeckt. Es ist nicht mehr damit zu rechnen, dass wir in Zukunft noch auf grössere Ölvorkommen stossen werden. Auf jeden Fall wird die Förderkurve nicht mehr von der Entdeckungskurve eingeholt.

### 3.1.4.1 Entdeckung grosser Felder

Will man schnell viel Öl finden, so lohnt es sich nicht, nach vielen kleinen Ölfeldern zu suchen. Die Suche nach einem einzigen grossen Ölfeld ist viel lukrativer. Die Erdölindustrie macht jährlich Gewinne im Ausmass von hundert Milliarden US-Dollar. Ein grosser Teil davon fliesst in die Entdeckung und in die Erschliessung neuer Ölquellen. Trotz diesen Anstrengungen wurde bisher noch kein drittes Ölfeld in der Grösse des Burgan- oder des Ghawar-Ölfelds gefunden. Dies lässt darauf schliessen, dass es keine weiteren Ölfelder dieser Grössenordnung gibt.

Das drittgrösste Ölfeld auf der Welt, das Samotlor-Ölfeld in Russland, fasst gerade mal 20 Milliarden Barrel und wurde 1961 entdeckt. Es existieren gerade mal 50 Ölfelder der Grössenordnung um 10 Milliarden Barrel. Das letzte davon wurde im Jahr 2000 in Kasachstan gefunden, das erste seit einer 25 jährigen Durststrecke! Es ist also unwahrscheinlich, dass wir in der nächsten Zeit auf ein weiteres Ölfeld dieser Grössenordnung stossen werden!



50% der weltweiten Ölereserven stammen aus den 100 grössten Feldern der Welt. Diese fassen alle über ungefähr 2 Milliarden Barrel Öl. Die meisten davon wurden vor über 25 Jahren entdeckt.

Auch bei grossen Ölfeldern um 500 Millionen Barrel tut sich wenig. Im Jahr 2000 wurden 16 Ölfelder von 500 Millionen Barrel entdeckt, 2001 waren es noch neun, 2002 dann noch zwei. Im Jahr 2003 wurde kein einziges grosses Ölfeld entdeckt.

Die Zahlen dieser Entdeckungen lassen nur einen Schluss zu; unser Planet ist so gut wie komplett nach Erdöl abgesucht, viel Öl gibt es nicht mehr zu entdecken. Diese Aussage bestätigen sogar einige Führungskräfte der grössten Ölfirmen!

Verfechter der ASPO rechnen mit zukünftigen Entdeckungen von ungefähr 150 Milliarden Barrel Erdöl. Dies deckt nicht einmal den weltweiten Bedarf von zwei Jahren! Die Verfechter einer späten Förderspitze berufen sich jedoch auf drei weitere Möglichkeiten, wie Peak Oil herausgezögert werden kann: *Öl aus der Tiefsee, verbesserte Fördertechniken und unkonventionelle Ölquellen.*

### **3.1.4.2 Tiefseeöl**

Um die Jahrtausendwende brach bei den grossen privaten Ölfirmen auf einmal eine Goldgräberstimmung aus. Der Grund dafür war das *Tiefseeöl*. Man propagierte die Erschliessung von Erdöl aus der tiefen See als die Lösung für die steigenden Ölnachfrage. Der Grund für diese Goldgräberstimmung waren völlig neue technische Möglichkeiten, womit man nun Ölquellen über 600 Meter unter dem Meeresspiegel erschliessen konnte. Damals rechneten die grossen privaten Ölfirmen damit, dass sie 2005 bis zu einem Viertel ihrer Ölproduktion aus der Tiefsee fördern können.

Mithilfe der Tiefseebohrungen wurden bis 2002 ungefähr 47 Milliarden Barrel Erdöl entdeckt. Dafür waren 1'800 Bohrungen von Nöten. Die Hälfte dieses Öls befand sich verteilt auf vier grosse Gebiete. Es handelt sich dabei um den Golf von Mexiko, die Küste Brasiliens, Nigerias und die Angolas.

Nach der Erschliessung dieser vier grossen Fördergebiete war dann auch schon beinahe wieder Schluss. Die Goldgräberstimmung hat sich verflüchtigt – das grosse Potential des Tiefseeöls wurde überschätzt.

### **3.1.5 Verbesserte Fördertechniken**

Die technischen Möglichkeiten haben sich nicht nur bei der Neuentdeckung der Ölquellen verbessert, auch die Ausbeutung bisheriger Ölquellen kann mit verbesserten Fördertechniken nun stark vergrössert werden. Mit den technischen Möglichkeiten der 50er Jahre schätzte man die mögliche Ausbeutung eines Ölfeldes ungefähr auf 35%. Durch das *Einpumpen von Wasser, Wasserdampf und Leichtbenzin* in die Bohrlöcher oder durch das *horizontale Anbohren* von Öllagerstätten erreicht man heute eine Ausbeutung an die 60% der gesamten Ölreserve.

Durch diese verbesserten Fördertechniken konnten die bisher bekannten Ölereserven stark nach oben korrigiert werden (für die Ölereserven ist nur von Bedeutung, wie viel des Öls man wirklich fördern kann und nicht, wie viel Öl im Boden steckt). In jüngeren Ölfeldern wird aber meistens bereits sofort mithilfe der verbesserten Fördertechniken gefördert. Die Problematik dabei besteht jedoch darin, dass man durch ein zu schnelles Fördern des Erdöls das Ölfeld beschädigen kann. So kann es sein, dass bei manchen Ölquellen weit weniger als die möglichen 60% gefördert werden. Gewisse Experten behaupten zudem, dass eine solche Beschädigung bei den grössten Saudi-Arabischen Ölquellen stattgefunden habe.

Insgesamt können die verbesserten Förderquellen das Erdölproblem nicht langfristig lösen. Trotz aller technischen Erfindungen werden wir nie in der Lage sein, über 60% aus einer Ölquelle zu fördern. Manche Experten halten jedoch 50% schon für übertrieben.



### 3.1.6 Unkonventionelle Ölquellen

Öl lagert nicht nur flüssig und in grosser Tiefe als solches, es existieren auch gewaltige Mengen an ölhaltigen Sanden und Gesteinen. Insgesamt sollen durch diese unkonventionellen Ölvorkommen 2.7 Billionen Barrel Erdöl dazu kommen, was die Menge des jemals geförderten konventionellen Öls übersteigt.

Im Gegensatz zum konventionellen Öl zieht hier der nahe Osten den kürzeren; die grössten Reserven unkonventionellen Öls lagern in Kanada, den USA und in Venezuela.

#### 3.1.6.1 Kanadische Teersande

In Kanada werden derzeit schon mehr als eine Million Barrel täglich aus dem ölhaltigen *Teersand* gefördert. Bis 2015 ist eine Steigerung auf 2.6 Millionen Barrel pro Tag angepeilt. Damit kann jedoch nur ein Bruchteil des weltweiten Erdölbedarfs abgedeckt werden (derzeit verbrauchen wir an die 80 Millionen Barrel pro Tag).

Die Gewinnung von Erdöl aus Teersand ist zudem wesentlich aufwändiger und somit kostspieliger als diejenige aus konventionellen Ölquellen. Um ein Barrel Erdöl aus Teersand zu gewinnen, müssen zunächst zwei Tonnen Sand ausgegraben werden. Dies geschieht derzeit vor allem im Tagbau. Dieser Sand wird dann in riesigen Maschinen vom kostbaren Erdöl getrennt. Dabei entstehen enorme Abfallmengen.

Ein Grossteil des Teersands kann jedoch nicht im Tagbau abgetragen werden und muss somit aus grosser Tiefe gelöst werden. Dazu werden entweder Lösungsmittel oder heisser Dampf (bis zu 200° Celsius) eingeleitet. Um diesen Dampf herzustellen werden einerseits gewaltige Mengen an Wasser und andererseits gewaltige Mengen an Gas verwendet, um ersteres zu erhitzen. Dies führt nicht nur zu sehr hohen Kosten, sondern auch zu ökologischen Problemen. Einerseits wegen den aus der Gasverheizung entstehenden Treibhausgasen, andererseits riskiert man für die ganze Region eine Wasserknappheit.

Zudem kann Kanada das benötigte Gas nicht mehr lange selber fördern und muss so einiges davon importieren. Gas ist wie Erdöl eine begrenzte Ressource, die Förderung von Gas stellt seine eigenen Probleme dar. Aber über die Problematik von „*Peak Gas*“ zu sprechen, wäre an dieser Stelle eindeutig zu weit ausgeholt. Fakt ist, dass Kanada nicht über eine längere Zeit hinweg Gas verbrennen kann, um dadurch Öl aus Teersand zu gewinnen.

Einige Experten sehen die Lösung darin, dass Kanada Atomkraftwerke baut, welche die Stromversorgung für die Ölgewinnung aufrecht erhalten sollen. Aber auch das zieht Probleme mit sich; Atomkraftwerke stellen eine grosse Gefahr dar, denkt man nur an das Unglück von Tschernobyl von 1986 oder an die beiden Zwischenfälle in schwedischen Kraftwerken vor kurzer Zeit. Das zur Gewinnung von Atomstrom notwendige Uran ist ebenfalls eine begrenzte Ressource. Zudem würde der Bau von neuen Atomkraftwerken wohl zu lange dauern, um die ausbleibenden Öllieferungen aus dem nahen Osten rechtzeitig zu kompensieren.

#### 3.1.6.2 Amerikanischer Ölschiefer

Auch die USA besitzen grosse Ölreserven in unkonventioneller Form. In den USA ist die Rede von sogenanntem *Ölschiefer*, welcher vor allem in den Bundesstaaten Colorado, Utah und Wyoming vorkommt. Dieser Ölschiefer enthält jedoch, im Gegensatz zum kanadischen Teersand, nicht etwa reines Erdöl, es handelt sich dabei viel mehr um den Stoff *Kerogen*, welcher unter grosser Hitzeeinwirkung und mithilfe komplexer Verfahren in Erdöl umgewandelt werden muss. Wirtschaftliche Verfahren zur Umwandlung dieses Kerogens in Erdöl sind jedoch bisher noch nicht bekannt. Zudem ist die Ölförderung aus Ölschiefer von den gleichen Problemen wie diejenige aus Teersand geplagt.

Insgesamt ist eine wirtschaftliche Förderung aus Ölschiefer noch unrealistischer, als es mit dem kanadischen Teersand der Fall ist. Die Ölindustrie hat sich trotzdem zum Ziel gesetzt, im Jahre 2020 täglich 2 Millionen Barrel Erdöl aus Ölschiefer zu fördern. Dieses Ziel kann unter der Betrachtung der derzeitigen Probleme durchaus als ehrgeizig bezeichnet werden.



### 3.1.6.3 Venezolanisches Schweröl

Im Gegensatz zu Kanada und den USA ist das unkonventionelle Erdöl in Venezuela flüssig. Hier spricht man von sogenanntem *Schweröl*. Das venezolanische Schweröl ist jedoch sehr dickflüssig, was einen Transport per Pipeline stark erschwert bis verunmöglicht. Hier besteht die Herausforderung darin, wie dieses Öl in grossen Mengen transportiert werden kann. Die Umwandlung in Erdöl erfolgt jedoch verhältnismässig einfach.

Derzeit werden in Venezuela täglich 3.4 Millionen Barrel Erdöl aus dem besagten Schweröl gefördert. Alles in allem hat Venezuela weniger Probleme mit unkonventionellem Erdöl als Kanada und die USA. Um Einfluss auf Peak Oil nehmen zu können, reicht die derzeitige Fördermenge jedoch lange nicht aus.

Insgesamt können wir unsere zukünftigen Erdölengpässe also nur bedingt mit unkonventionellen Ölquellen überstehen. Bis ins Jahr 2030 sollen jedoch täglich etwa zehn Millionen Barrel pro Tag an unkonventionellem Erdöl gefördert werden. Dies entspricht immerhin der derzeitigen täglichen Fördermenge von Saudi-Arabien. Doch bis dahin vergeht noch fast ein Vierteljahrhundert.

### 3.1.7 „Time to Market“

Unter dem Begriff *Time to Market* (zu deutsch etwa: Vorlaufzeit, Produkteinführungszeit) versteht man die Zeitdauer von der Entwicklung bis zur Platzierung eines Produkts am Markt. In diesem Beispiel soll der Begriff *Time to Market* dazu missbraucht werden, die Zeitspanne zwischen der Entdeckung und dem Beginn der produktiven Ausbeutung einer Ölquelle zu beschreiben.

Die Ölindustrie muss sich immer weiter vorwagen, um Erdöl zu finden. Anfangs des 20. Jahrhunderts war das noch ganz einfach. Man bohrte zunächst in Texas und stiess allmählich nach Mexiko und Peru vor. In den 30er und 40er Jahren kam dann der nahe Osten hinzu, die beiden grössten Ölfelder Burgan und Ghawar wurden 1938 in Kuwait bzw. 1948 in Saudi-Arabien entdeckt. Dieses Öl war recht einfach gefördert und auch schnell an seinem Bestimmungsort angelangt. Hier sprechen wir von einer *Time to Market* von wenigen Monaten.

In den 60er Jahren befand sich das neu entdeckte Erdöl jedoch nicht mehr direkt vor der eigenen Haustür. Die neu entdeckten Ölquellen der Nordsee befanden sich nun nicht mehr auf dem Festland, sondern auf einer stürmischen See. Die Ölindustrie war also mit einer komplett neuen Herausforderung konfrontiert. Nicht einfacher gestaltete sich die Ölförderung in der Prudhoe Bay im Norden Alaskas. Hier muss das Erdöl über eine riesige Pipeline (siehe Abschnitt 1.3.3.1, die Trans-Alaska-Pipeline) in den Süden des Bundesstaates befördert werden, ehe das Erdöl von einem grossen Tanker in die übrigen US-Bundesstaaten gelangt. Das Ölfeld der Prudhoe-Bay wurde 1967 entdeckt, zehn Jahre später konnte das erste Erdöl am südlichen Ende der Pipeline entgegengenommen werden. Die *Time to Market* beträgt in diesem Beispiel also schon etwa zehn Jahre.

Das letzte grosse Ölfeld wurde bekanntlich im Jahr 2000 in Kasachstan entdeckt. Um dieses Öl in die Türkei zu befördern, wurde eigens eine Pipeline errichtet (siehe Abschnitt 1.3.3.1, die Baku-Tiflis-Ceyhan-Pipeline). Diese Pipeline wurde zum Schutz vor allfälligen Sabotageakten unterirdisch angelegt. Hier gibt es jedoch nicht nur politische, sondern auch geologische Probleme! So haben sich in der Türkei in den letzten 80 Jahren mehrere hundert Erdbeben ereignet. Die Baku-Tiflis-Ceyhan-Pipeline ist also höchst gefährdet! Auch hier sind von der Entdeckung der Ölquelle bis zur Inbetriebnahme der Pipeline über fünf Jahre vergangen.

### 3.1.8 Wann ist es nun so weit?

Noch immer habe ich die Frage nach dem genauen Eintreten von Peak Oil nicht beantwortet. Dies habe ich bisher bewusst noch nicht getan und werde es auch jetzt nicht tun. Die Beantwortung dieser Frage ist zu komplex, als dass man sich das nötige Wissen dazu in zwei bis drei Monaten erarbeiten könnte.



Die bereits erwähnte *Association for the Study of Peak Oil* (ASPO) beschäftigt sich nun schon seit Jahren mit dieser Frage. Der Begründer der ASPO, Colin Campbell, hat bezüglich Peak Oil bereits eine Prognose gewagt. Als Grundlage dafür wurden teilweise bewiesene, jedoch auch teilweise angenommene Daten verwendet. Die Überlegungen und Schätzungen über zukünftige Entdeckungen, wie ich sie im Abschnitt 3.1.4 beschrieben habe, stammen ebenfalls zu einem grossen Teil von der ASPO.

Laut Campbell soll das konventionelle Öl im Jahr 2005 seine (flache) Förderspitze erreicht haben. Tiefseeöl und unkonventionelles Öl zögern Peak Oil jedoch noch um einige Jahre heraus, sodass wir gemäss Campbells Annahme **noch vor Ablauf dieses Jahrzehnts** mit dem Eintreten von Peak Oil rechnen müssen.

Die ASPO beschäftigt sich zudem auch mit der Gasförderung. Rechnet man die Öl- und die Gasförderung zusammen, so soll die Öl- und Gasförderspitze gemäss Campbell ungefähr im Jahre 2015 eintreten.

Ich möchte diese Angaben über die Ölförderspitze hier keinesfalls als die reine Wahrheit verkaufen! Ich persönlich schenke diesen Schätzungen jedoch meinen Glauben. Die ASPO setzt sich vor allem aus Wissenschaftlern zusammen, die lange für die Ölindustrie tätig waren und sich mit dem Thema somit sehr gut auskennen. Die Verfechter einer späten Förderspitze setzen sich vor allem aus Leuten der Ölindustrie zusammen. Mir persönlich scheint es so (und mit dieser Meinung stehe ich nicht alleine da), als ob die Erdölindustrie hier nicht an der Wahrheit interessiert ist und so weiterhin auf Gewinne in astronomischen Höhen hofft, auch wenn diese Gewinne vielleicht nur noch ein paar wenige Jahre möglich sein werden. Ich selber sehe mich in Zukunft auch eher auf der wissenschaftlichen als auf der wirtschaftlichen Seite. Dies ist ein weiterer Grund, warum ich hier der wissenschaftlichen Seite (der ASPO) und nicht der wirtschaftlichen Seite (den Bossen von ExxonMobil, Shell, BP und Konsorten) vertraue.

## 3.2 Der Ernst der Krise

Die Verfechter einer frühen Förderspitze wurden in den 90er Jahren zunächst nur belächelt. Mittlerweile haben jedoch schon staatliche Behörden erkannt, dass Erdöl in den nächsten Jahren knapp wird, bzw. dass wir unseren stetig wachsenden Durst nach Erdöl bald nicht mehr stillen können.

Das US-Energieministerium veröffentlicht immer wieder Berichte darüber, wie viel Öl wir brauchen und wie viel wir davon noch verbrennen können. Diese Berichte fallen meist recht optimistisch aus. Offenbar liefert man den Auftraggebern (der Regierung) die Zahlen, die sie auch hören wollen. Eine Unterorganisation des US-Energieministeriums mit dem Namen *Office of Naval Petroleum and Oil Shales Reserves* (frei übersetzt: Büro für Tiefseeöl und Ölreserven aus Ölschiefer) veröffentlichte jedoch vor kurzem einen weit pessimistischeren Bericht. So bewirbt die Behörde die Ölförderung aus Ölschiefer, da wir möglicherweise bald an der Förderspitze des konventionellen Erdöls angelangen werden.

### 3.2.1 Expertenmeinungen

Wie ich bereits erwähnt habe, rechnen die Verfechter einer frühen Förderspitze noch in diesem Jahrzehnt mit Peak Oil. Alles ein Haufen Spinner? Das möchte ich nicht behaupten! Diese Gruppe setzt sich vor allem aus Wissenschaftlern zusammen, die lange für die Ölindustrie tätig waren und somit die Mechanismen dieser Industrie kennen.

Im Folgenden möchte ich einige interessante Informationen zu diesen Experten und ihren Arbeiten zusammentragen, um damit deren Glaubwürdigkeit und die Peak Oil Problematik zu unterstreichen.

#### 3.2.1.1 Colin Campbell

Colin Campbell, der Gründer der bereits mehrfach erwähnten ASPO, arbeitete insgesamt 40 Jahre lang für die Ölindustrie. Zuvor studierte er Geologie an der Oxford University. Campbell





war als *Explorator* für Ölfirmen wie BP, Texaco und Amoco (American Oil Company) tätig. Bei Amoco wurde er zum Chef-Geologen für die Ölförderung in Ecuador ernannt. Weiter leitete er die Ölexploration in der Nordsee und war Vizepräsident des finnischen Tankstellenkette Fina.

Nach dieser beeindruckenden Karriere wechselte Campbell die Seiten und sammelte fortan Daten über die weltweiten Ölreserven verschiedener Nationen und Ölfirmen. Diese Daten sind vielerorts Staats- und Unternehmensgeheimnis. Campbell hat jedoch, durch seine 40 jährige Tätigkeit in der Ölindustrie, ein gewaltiges Informantennetzwerk aufgebaut. Diese Informationsbeschaffung wurde vom Genfer Ölinformationsnetzwerk *Petroconsultants* koordiniert und finanziert. Petroconsultants sammelte die Daten von den 18'000 grössten Ölfeldern weltweit und fügte diese in einer einzigen grossen Datenbank zusammen.

Campbell war nicht der einzige „bedeutsame Flüchtling aus der Ölindustrie“. Viele andere Wissenschaftler, die ebenfalls lange für die Ölindustrie tätig waren, stiessen später auch zu Petroconsultants.

1995 verstarb jedoch der Gründer der von Petroconsultants. Die verbliebenen Experten wurden in Pension geschickt und die Datenbank wurde an das Unternehmen IHS verkauft. Wer diese Datenbank einsehen möchte, muss dafür bei der IHS eine Lizenz in der Höhe von einer Million US-Dollar erwerben. Da seit 1995 jedoch so gut wie keine neuen Ölfelder entdeckt wurden, lohnt sich diese Investition jedoch kaum. Ausserdem pflegt Campbell seine eigene Version der Datenbank, welche auf den Daten von 1995 basiert. Diese Datenbank kann kostenlos bei der ASPO eingesehen werden.

Im Jahre 2001 gründete Campbell die ASPO, wo er seine Datenbank über die Ölreserven nachführt und die Problematik von Peak Oil erforscht.

### **3.2.1.2 Chris Skrebowski**

Chris Skrebowski ist Herausgeber der führenden Zeitschrift der Ölbranche, der *Petroleum Review*. In den Jahren zwischen 1995 und 2004 war er der grösste Gegenspieler von Campbell und versuchte wehement, ihn zu widerlegen. Dies ist ihm jedoch nicht gelungen, worauf er die Seiten wechselte. Skrebowski geht heute sogar noch einen Schritt weiter als Campbell und hält dessen Schätzungen für „zu optimistisch“.

2004 listete Skrebowski für seine Zeitschrift alle künftigen „Megaprojekte“ der Erdölindustrie auf. Hierbei handelt es sich um Projekte, die insgesamt an die 500 Millionen Barrel Öl einbringen sollen. Solche Projekte machen 80% der weltweiten Angebots aus. Laut Skrebowski sollen zwischen 2003 und 2007 insgesamt 8 solcher Projekte angezapft werden, im Jahr 2007 nur noch zwei, weitere drei sollen im Jahr 2008 folgen. Diese erweiterte Kapazität soll die steigende Nachfrage bis Ende 2007 decken können.

Später fügte Skrebowski 23 weitere Projekte an, die möglicherweise in der Zukunft erschlossen werden könnten. Diese Projekte liegen, mit Ausnahme von zwei Projekten, auf nahöstlichem oder russischem Boden bzw. auf dem Meer. Aufgrund politischer, technischer und rechtlicher Unsicherheiten sei es jedoch zu bezweifeln, dass diese Projekte alle noch in diesem Jahrzehnt Öl einbringen sollen.

Skrebowski erweiterte seinen Bericht im Jahr 2005 noch um Projekte, welche später weniger als 100'000 Barrel Öl pro Tag bringen sollen. So entstand eine Liste von 73 Projekten, die bis zum Jahr 2012 Öl liefern sollen. Bei einem Grossteil dieser Projekte handelt es sich um Offshore-Projekte, also um Projekte, die sich auf dem offenen Meer befinden und somit mit Bohrtürmen erschlossen werden müssen. Offshore-Projekte erfordern enorme Investitionen. Damit solche Unterfangen möglichst bald Gewinn abwerfen, wird hier das Erdöl sehr schnell gefördert. Offshore-Anlagen haben so ihre Förderspitze meistens schon nach etwa einem Jahr erreicht und pumpen danach nur noch wenig Öl auf den Weltmarkt.

Daraus folgt, dass die Projekte, die in den nächsten Jahren erschlossen werden, Peak Oil nur um eine kurze Zeit hinauszögern können. Aufgrund der aggressiven Förderung bei Offshore-Projekten wird die Förderkurve jedoch schneller und deutlicher abfallen.



### 3.2.2 Mangelnde Investitionen

Gehen wir einen Moment lang davon aus, dass die Verfechter der frühen Förderspitze alle irren und wir Peak Oil erst in 20 bis 30 Jahren erreichen werden. Wir könnten uns so noch einige Zeit länger an günstigem Erdöl erfreuen. Aber auch dieses Szenario stellt uns vor grosse Probleme. Probleme, die bereits vor der späten Förderspitze in 20 bis 30 Jahren auftreten könnten.

Auch wenn wir noch so viel Öl in unseren Ölquellen hätten, wir könnten es wohl nicht schnell genug fördern, um den weltweit steigenden Bedarf danach zu decken. Wächst die Nachfrage weiterhin jährlich um 1.5% an, so werden wir diese bereits im Jahre 2011 nicht mehr befriedigen können. Und das nicht wegen der erreichten frühen Förderspitze, sondern aufgrund der mangelnden Produktionskapazitäten.

Die Nachfrage nach Erdöl basierenden Produkten steigt jährlich an. Grosse Ölfirmen wie Exxon-Mobil und BP zeigen derzeit jedoch keinerlei Anstrengungen ihre Öltankerflotte auszubauen. Dies müsste doch zwingend notwendig sein, schliesslich benötigen wir jedes Jahr 1.5% mehr Transportkapazität. Auch unser Benzindurst wird möglicherweise bald nicht mehr gestillt werden können, da unsere Raffinerien bald keine übrige Kapazität mehr besitzen.

Fazit: Auch wenn Peak Oil noch in weiter Ferne liegt, die Ölindustrie investiert derzeit zu wenig, um die steigende Nachfrage an Erdöl und Erdölprodukten zu befriedigen. Rechnet die Ölindustrie möglicherweise doch mit einer frühen Förderspitze?

### 3.2.3 Geopolitische Risiken

Die Förderspitze, ob sie nun ein paar Jahre früher oder später eintritt, stellt nicht das einzige Problem rund um das Erdöl dar. Auch die globale Erwärmung (welche wohl bald das grösste Problem überhaupt darstellen wird) möchte ich an dieser Stelle einmal ausklammern.

Ein grosses Risiko stellt die bereits angesprochene Baku-Tiflis-Ceyhan-Pipeline dar, welche Erdöl aus Kasachstan, an Russland und Tschetschenien vorbei, in die Türkei befördert (siehe auch Abschnitt 1.3.3.1 - die Baku-Tiflis-Ceyhan-Pipeline). Laut Expertenberichten soll diese Pipeline, wohl unter dem Druck westlicher Firmen und Regierungen, wider sämtlichen westlichen Industriestandards errichtet worden sein. Es sollen mangelhaft verschweisste Rohre eingebaut worden sein, welche angesichts des enormen Erdbebenrisikos in dieser Region, eine hohe Gefahr darstellen.

Neue Ölquellen werden im Moment vor allem in politisch instabilen Regionen erschlossen. Neben den *fünf Grossen* im nahen Osten (Saudi-Arabien, Iran, Irak, Kuwait, VAE) gibt es die *acht Alternativen*, welche sich aus den Ländern Russland, Mexiko, Venezuela, Kolumbien, Aserbaidschan, Kasachstan, Nigeria und Angola zusammensetzen. Diese Länder werden immer wieder mit Bürgerkriegen, Korruption, organisiertem Verbrechen und politischer Instabilität allgemein verbunden.

Das Pentagon gründete 1983 das *Central Command*, welches den expliziten Auftrag hat, den globalen Erdölfluss zu sichern. Die USA verteidigen ihren Zugang zu fremden Erdölquellen immer offensichtlicher. So gilt es als allgemein anerkannt, dass der Irak-Krieg seitens der USA und Grossbritannien aufgrund des grossen irakischen Ölvorkommens geführt wurde.

Nicht sehr unwahrscheinlich ist ein künftiger Militärschlag im benachbartem Iran, welcher ebenfalls über ein grosses Ölvorkommen verfügt. Die USA zeigen jedoch derzeit keinerlei grosse Anstrengungen, das Volk des diktatorisch geführten Nordkoreas zu „befreien“. Meiner Meinung nach stellt Nordkorea derzeit eine grössere Bedrohung für den Westen dar als der Iran. Nordkorea besitzt aber kein Erdöl. Somit unterstelle ich den USA, dass sie eine Aussenpolitik verfolgen, die in erster Linie auf die Sicherung von fremden Ölquellen abzielt. Eine solche Aussenpolitik fördert ja bekanntlich Terrorismus, eine anti-amerikanische Haltung ist selbst im „verbündeten“ Europa bereits salonfähig. Die USA werden somit auf der ganzen Welt immer unsympathischer, Verbündete wie Deutschland und Frankreich verweigerten es bereits, an der Seite der USA den Irak anzugreifen.





China verzeichnet wie die USA auch einen ständig steigenden Ölbedarf. China wird immer mächtiger, viele sprechen schon davon, dass China die USA bald als die Weltmacht Nummer eins ablösen wird. Uns bleibt nur zu hoffen, dass diese „Ablösung“ ohne grössere militärische Konflikte verlaufen wird. China wird seine Ansprüche an den nahöstlichen Ölvorkommen in Zukunft wohl stärker geltend machen als bisher. So wird China sich möglicherweise stärker in den Nahost-Konflikt einmischen, was zu hohen Spannungen mit den USA führen könnte.

Auch die acht Alternativen spielen hier eine grosse Rolle. Die beiden künftigen Weltmächte, USA und China, werden wohl einiges daran setzen, um sich das Erdöl aus diesen politisch instabilen Staaten zu sichern. Eine militärische Konfrontation zwischen diesen beiden Grossmächten wäre nicht auszuschliessen, so könnte sich sogar ein mögliches Horrorszenario eines dritten Weltkriegs bewahrheiten!

### **3.2.4 Wirtschaftliche Auswirkungen**

Die Börse reagiert sehr stark auf Ereignisse rund um Erdöl. Steigt der Erdölpreis, steigt die Verunsicherung der Anleger. Wittern die Anleger eine militärische Auseinandersetzung oder eine Naturkatastrophe, so decken sie sich gerne mit viel Erdöl ein. Diese Reaktion ist ähnlich derer von Konsumenten, welche sich z.B. bei einem angekündigten Wirbelsturm mit Lebensmitteln und anderen Gütern eindecken.

Anleger reagieren insgesamt völlig unverhältnismässig auf jeden noch so kleinen Ausfall in der Erdölproduktion. Das beste Beispiel dafür ist der zweite Golfkrieg. Insgesamt sank die weltweite Ölproduktion im zweiten Golfkrieg nur um etwa 4%. Anleger waren besorgt und bunkerten riesige Mengen an Erdöl, sodass es schon bald keines mehr zu kaufen gab. Die Nachfrage stieg, die Verfügbarkeit des Erdöls sank und somit stiegen die Preise. Insgesamt stiegen die Preise um über 100% an und das nur wegen eines Ausfalls von ungefähr 4% der Weltproduktion.

Was geschieht nun, wenn plötzlich Peak Oil eintreten wird und die Anleger davon erfahren? Wahrscheinlich wird jeder Anleger versuchen, soviel Erdöl zu kaufen, wie es nur irgendwie möglich ist. Der Erdölpreis wird so explosionsartig ansteigen. Konsumenten werden versuchen, möglichst schnell an billiges Benzin heranzukommen. Der Verkehr wird zum Erliegen kommen, Güter können nicht mehr transportiert werden. Die Folge daraus sind Versorgungsengpässe. Handelsfirmen können ihre Güter nicht mehr von A nach B transportieren und bleiben auf ihren Waren sitzen. Dies kostet Arbeitsplätze und treibt die Wirtschaft in den Ruin.

Vielen Wirtschaftsexperten glauben, dass Peak Oil einen Börsencrash wie in den 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts auslösen könnte. Die Folgen wären eine grosse Arbeitslosigkeit und ein Einbruch der Weltwirtschaft. Diese wirtschaftliche Krise und die Unzufriedenheit der Bevölkerung, aufgrund der hohen Arbeitslosigkeit, haben vor gut 70 Jahren den Weg für den Faschismus und den Nationalsozialismus geebnet. Die Folgen daraus kennen wir heute alle.

## **3.3 Der Weg aus der Krise**

Um diese drohende Krise dennoch abwenden zu können, gibt es nur eine einzige Möglichkeit: Wir müssen so schnell von fossilen Brennstoffen wie Erdöl und Erdgas unabhängig werden, wie es nur irgendwie möglich ist. Wir müssen nun damit beginnen, alternative Energien zu nutzen. Wir müssen leichtere und energieeffizientere Autos bauen, um Kraftstoff sparen zu können – sei es nun Benzin und Diesel oder Biotreibstoff und Wasserstoff. Wir müssen unsere Häuser so bauen, dass wir sie mit weniger Energieaufwand beheizen können.

Ich spreche hier nicht von der Zukunft, sondern von der Gegenwart. Schon heute haben wir die Möglichkeit der alternativen Energiequellen. Schon heute kann man sein Haus mit einer Wärmepumpe beheizen, schon heute kann man mit einer Solaranlage auf dem Hausdach oder durch die Verbrennung von Abfällen Strom gewinnen! All dies ist schon heute möglich!

Diese viel versprechenden Alternativen haben jedoch auch ihre Tücken und Probleme. Auf den folgenden Seiten werden einige alternative Energiequellen angesprochen. Dabei wird nicht nur auf die jeweiligen Stärken, sondern auch auf deren Schwächen eingegangen.



## 4 Alternativen

Der Entstehungsprozess von Erdöl verlief über einen langen Zeitraum vor vielen Millionen Jahren. Wir Menschen verbrauchen das Erdöl heute aber viel schneller. Über einen kurzen oder längeren Zeitraum werden wir so den kostbaren Rohstoff Erdöl verbraucht haben.

Um nicht all zu grosse Verluste in den verschiedenen Erdöleinsatzgebieten erfahren zu müssen, bleibt uns nur die Möglichkeit, Alternativen zu finden. Kein uns bekannter Stoff deckt dabei aber die Vielfältigkeit von Erdöl ab. Die Möglichkeit die uns aber bleibt, sind die einzelnen Aspekte des Erdöls mit Alternativen ab zu decken.

### 4.1 Aspekte des Erdöls

Produkte aus Erdöl sind heute an den verschiedensten Stellen anzutreffen. Erdöl deckt folgende wichtige Aspekte ab:

- Treibstoff
- Heizstoff
- Stromerzeugung
- Kunststoffe

### 4.2 Alternative Treibstoffe

In diesem Abschnitt werden mögliche Treibstoffalternativen betrachtet.

#### 4.2.1 Wasserstoff

Wasserstoff ist das leichteste chemische Element und ist Bestandteil der meisten organischen Verbindungen. Wasserstoff, der als Treibstoff verwendet wird, liegt in Form eines farb- und geruchslosen Gases vor. Dieses kann zum Beispiel durch eine Elektrolyse von Wasser gewonnen werden.

Wasserstoff in Gasform ist leichter als Luft und leicht entzündbar. Autos lassen sich recht einfach auf Wasserstoffbetrieb umrüsten. Wasserstoff wird bereits seit längerer Zeit in der Weltraumfahrt eingesetzt.

Neben den Vorteilen, die Wasserstoff bringt, gibt es aber auch einige Nachteile. Wasserstoff ist keine Energiequelle! Es wird mehr Energie zur Erzeugung benötigt, als beim Verbrennen freigesetzt wird. Daneben gibt es einige technische Probleme. Wasserstoff ist hochexplosiv, extrem flüchtig und wird erst bei sehr tiefen Temperaturen flüssig. Es können durch die erneuerbaren Energiequellen nicht genügend Energie erzeugt werden, um genügend Wasserstoff für die riesigen Fahrzeugflotten herzustellen.

#### 4.2.2 Bio-Treibstoffe

Unter Bio-Treibstoff oder Biokraftstoff werden Treibstoffe für Motoren bezeichnet, die aus Biomasse hergestellt sind. Diese Biomasse muss vor der Fertigstellung mit Ethanol angereichert werden.

Bio-Treibstoff besitzt nach seiner Herstellung die gleichen Eigenschaften, wie die erdölbasierenden Treibstoffe. Diese werden vermischt und in das gleiche Tankstellennetz gespiesen.

Bio-Treibstoff ist ein erneuerbarer Treibstoff, der klimafreundlich ist. Beim Wachsen der biologischen Ressourcen, die zur Herstellung von Bio-Treibstoffen verwendet werden, wird gleiche Menge CO<sub>2</sub> gebunden, wie bei dessen Verbrennung emissioniert wird. Um komplett auf Bio-Treibstoff um zu steigen, müssten riesige neue Ackergebiete entstehen. Schon das für 2020 anvisierte Ziel der europäischen Union von 20 Prozent Biokraftstoff verschlänge jegliches



Acker- und Weideland in Grossbritannien. Um alle Fahrzeuge der Welt mit Bio-Treibstoffen zu betreiben, müsste man die heutige Ackerfläche verdoppeln. Daneben wäre die Monokultur schlecht für den Boden und die Ernteerträge würden jährlich sinken.

#### 4.2.3 Problem: Tanknetz

Neben den unterschiedlichen Problemen der alternativen Treibstoffe, gibt es ein weiteres, das alle alternativen Treibstoffe betrifft. Auch der umweltfreundlichste, billigste und leistungsfähigste Treibstoff kann von den Kunden nicht verwendet werden, wenn keine Tanksellennetze dafür vorhanden sind. Der Ausbau von Tankstellennetzwerken ist enorm kostspielig.

### 4.3 Alternative Heizungen

In diesem Abschnitt werden mögliche Heizungstechnologien betrachtet.

#### 4.3.1 Erdwärme

Die Erdwärme, auch Geothermie genannt, steht für die, in der obersten Erdkruste gespeicherte Wärme. Es handelt sich dabei um eine erneuerbare Wärmequelle, da sich die Erdkruste immer wieder erwärmt.

Erdwärme wird, in Verbindung mit Wärmepumpen, zum Heizen und Kühlen von Gebäuden und zur Aufbereitung von Warmwasser genutzt. Zu diesem Zweck wird Wasser in ein Bohrloch gepumpt. Dieses erwärmt sich dabei, wird wieder hoch gepumpt und zum Wärmen oder Kühlen des Gebäudes benutzt.

Heizen mit einer Wärmepumpe ist aus ökologischer Sicht eine lohnende Heizvariante und für menschliches Ermessen unerschöpflich. Allein in den obersten drei Kilometern der Erdkruste befindet sich genügend Wärmeenergie, um die Welt für etwa 100'000 Jahre mit Energie zu versorgen. Als Nachteil ist aber zu Erwähnen, dass die Wärmepumpe zur Betreibung Strom benötigt.

Abbildung 18 zeigt eine schematische Darstellung eines mit einer Wärmepumpe beheizten Hauses.

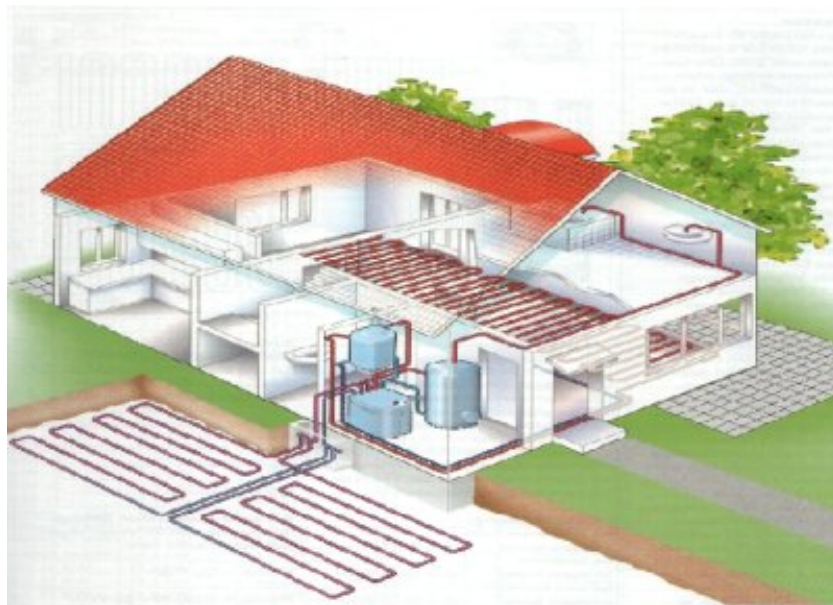


Abbildung 18: Heizen mittels Wärmepumpe



## **4.4 Alternative Stromerzeugung**

In den folgenden Abschnitten werden mögliche alternative Stromerzeugungsverfahren betrachtet.

### **4.4.1 Brennstoffzellen**

Brennstoffzellen sind Zellen, die durch kontinuierliches Zuführen eines Brennstoffes und eines Oxidationsmittels elektrische Energie erzeugen. Die Brennstoffzelle wandelt also den Brennstoff und ein Zugabemittel in Strom um.

Brennstoffzellen sind leichter und effizienter als Akkus und zuverlässiger und leiser als Generatoren. Um Brennstoffzellen betreiben zu können, brauchen diese, ähnlich den heutigen Kraftstoffmotoren, einen Kraftstoff. Am besten eignet sich dafür Wasserstoff. Aber auch andere Kraftstoffe wie Methanol (Alkoholmoleküle) oder Glukoselösung (Zuckermoleküle) eignen sich zum Betreiben. Verschiedene Autohersteller experimentieren mit Brennstoffzellen und Elektromotoren um Fahrzeuge schadstofffrei betreiben zu können. Essenzielle Nachteile der Brennstoffzellen sind aber die kostenintensive Produktion, das Befüllen des Brennstoffzellentanks mit Wasserstoff oder anderen Kraftstoffen und die hohen Energiekosten bei der Herstellung von Wasserstoff oder anderen Kraftstoffen.

Kleine Brennstoffzellen, die in Zukunft Akkus und Batterien ersetzen sollen, sind bereits geplant. Grössere und leistungsstärkere Brennstoffzellen herzustellen, ist noch immer ein kostspieliges Unterfangen. Mobile Brennstoffzellen an Elektromotoren gekoppelt, bieten eine gute Alternative zu den heutigen Benzinverbrennungsmotoren. Brennstoffzellen leisten bereits heute in der Raumfahrt und für das Militär gute Dienste und ökologisch betrachtet sind Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle sehr saubere Energieumwandler. Dies ist aber abhängig von der Art der Wasserstoffherstellung.

### **4.4.2 Solarzellen**

Solarzellen sind Zellen, die Lichtenergie in elektrische Energie umwandeln. Sonnenstrahlen können so mittels photovoltaischem Effekt in Strom umgewandelt werden. Der photovoltaische Effekt beschreibt dabei, dass Sonnenstrahlen, die auf bestimmte Metalle treffen, Elektronen aus dem Metall lösen. So kann daraus Strom gewonnen werden.

Solarzellen eignen sich besonders an Punkten, die durch ihre Mobilität oder Lage nicht an die herkömmliche Stromversorgung angeschlossen werden können und eine möglichst grosse, direkte Sonneneinstrahlung besitzen. Ideales Einsatzgebiet für Solarzellen sind Weltraumsonden oder mobile Geräte mit wenig Energiebedarf. Zur kommerziellen Stromerzeugung eignen sich Solarzellen nur bedingt, da dieses abhängig von Sonneneinstrahlung sind.

Solarzellen sind nicht versiegende Energiequellen. Die Möglichkeit, mit Solarzellen Energie zu gewinnen, ist bereits seit Anfang des 19. Jahrhunderts bekannt. Bis heute wird jedoch mehr Energie bei der Produktion der Solarzellen aufgewendet, als diese während ihrer Lebensdauer auf der Erde abgeben können. Zu beachten ist dabei die Schlechtwetter- und die Nacht-Ausfallzeit. Die Lebensdauer der Solarzellen liegt zwischen 20 und 30 Jahren. In dieser Zeit nimmt ihr Wirkungsgrad stetig ab.

### **4.4.3 Nuklearenergie**

Ein Kernkraftwerk, auch Atomkraftwerk genannt, ist ein Elektrizitätskraftwerk, das elektrische Energie durch Kernspaltung erzeugt. In diesem wird die Wärme, die bei der Kernspaltung entsteht, genutzt, um grosse Stromgeneratoren anzutreiben.

Kernkraftwerke eignen sich, um eine gleich bleibende, grosse Menge an Strom zu erzeugen. Auf der gesamten Welt sind bereits über 440 Kernkraftwerke in Betrieb. Diese sind speziell abgesichert gegen äussere Einflüsse, da Kernreaktoren eine grosse Gefahrenquelle für die Öffentlichkeit darstellen.



Beim Betreiben der Kernkraftwerke entstehen riesige Mengen an elektrischer Energie. Diese wären heute kaum mehr mit erneuerbaren Alternativen zu decken. Als Brennstoff in diesen Kernkraftwerken wird angereichertes Uran verwendet. Wenn das Uran „ausgebrannt“ ist, ist es hochgradig radioaktiv verseucht und muss in Atommüll-Endlagern gelagert werden. Abgebrannte Uran-Brennstäbe strahlen dort noch 100'000 Jahre weiter. Ausserdem ist Uran, wie Erdöl und Erdgas, ebenfalls eine Ressource, die uns nur beschränkt zur Verfügung steht.

#### 4.4.4 Kalte Fusion

Kalte Fusion bezeichnet die Verfahren, um kontrollierte Kernfusionen herbeizuführen, ohne dabei die hohen Temperaturen von *plasmabasierten Fusionsreaktoren* einzusetzen. Bei diesem Verfahren sollen zwei Atomkerne, bei nicht überdurchschnittlich hohen Temperaturen, miteinander verschmelzen. Dieses Verfahren wird seit Milliarden von Jahren in der Sonne vollzogen. Dabei entstehen sehr hohe Temperaturen, die in der kalten Fusion vermieden werden sollen.

Verschiedenste Verfahren zur Herbeiführung einer kalten Fusion sind noch in der Entwicklungsphase. Die Entwickler hoffen, das Verfahren in einigen Jahrzehnten soweit ausgereift zu haben, dass es sich zur kommerziellen Stromerzeugung eignet.

Bei der kalten Fusion besteht die Aussicht, durch die freiwerdende Energie eine unerschöpfliche Energiequelle zu erschliessen. Bisher war jedoch keines der vorgeschlagenen Verfahren in der Lage, das gewünschte Ergebnis herbeizuführen.

### 4.5 Alternativen für Kunststoffe

In diesem Abschnitt werden mögliche Alternativen des Erdöls für Kunststoff betrachtet. Kunststoff hat sehr grosse, verschiedene Anwendungsgebiete. Diese mit einem einzelnen Material abzudecken, würde spezifische Anforderungen stellen. Es gibt heute keinen alternativen Stoff, der alle diese Anforderungen erfüllt.

#### 4.5.1 Herstellung ohne Erdöl

Es ist heute möglich, die benötigten Moleküle zur Erstellung von Kunststoffen synthetisch herzustellen. Dabei werden die Moleküle einzeln durch Polymerisation aufgebaut.

Nach dem synthetischen Herstellen der Kunststoffmoleküle lässt sich das Material wie gewöhnlicher Kunststoff bearbeiten. Es gibt dabei keine Unterschiede zum Erdöl-Kunststoff.

Dieses Verfahren benötigt mehrere Durchläufe der einzelnen Molekülverbindungen und deshalb auch ein vielfaches mehr an Energie, als die Extrahierung der Kunststoffmoleküle aus dem Erdöl. Da die Kunststoffmoleküle komplett aufgebaut werden müssen, wird eine Grosse Menge an elementarem Wasserstoff und Kohlenstoff benötigt. Dieser muss ebenfalls zuvor durch Aufwendung von Energie gewonnen werden.

#### 4.5.2 Metall

Metall wurde, bevor es Kunststoff gab, bereits für verschiedenste Aufgaben verwendet. Diese würden sich noch immer für einige Anwendungsgebiete von Kunststoff eignen.

Da Kunststoff auf einigen Gebieten bessere Eigenschaften als Metall bietet, wird ersterer eingesetzt. Sollten die Kosten für Kunststoff aber massiv steigen, kann wieder auf Metall zurückgegriffen werden. Durch Verbindungen, so genannte Legierungen, lassen sich die Eigenschaften von Metall bis zu einem gewissen Punkt ebenfalls variabel gestalten.

Metall ist ein recyclebares Material, dass langlebige Eigenschaften besitzt. Es ist ein natürliches, widerstandsfähiges Produkt, das aber mit hohem Energieaufwand aufbereitet werden muss. Durch die erhöhte Nachfrage an Metall, würden die Preise für Metall auf allen Anwendungsgebieten steigen.



### 4.5.3 Biologische Stoffe

Biologische Stoffe sind verschiedene Materiale, die auf natürlichem Weg entstehen. Einer der bekanntesten biologischen Stoffe ist Holz.

Holz ist ein weit verbreiteter Rohstoff, der in den unterschiedlichsten Klimaregionen entsteht. Biologische Rohstoffe regenerieren sich recht schnell, wenn ihnen diese Möglichkeit geboten wird. Diese verfallen aber auch schneller wieder.

Biologische Stoffe wie Holz haben gegenüber Kunststoff und Metall den Nachteil, dass sie schnell vergänglich sind. Wenn das Bedürfnis nach Holz rasch ansteigen würde, könnte der Bedarf über einen längeren Zeitraum nicht mehr gedeckt werden. Daneben bieten Wälder einen grossen Lebensraum für Tiere und Pflanzen, die sich durch Rodungen in Gefahr befinden würden.





## Kommentar von Kilian

In diesem Text möchte ich meine Erfahrungen, Schwierigkeiten und Selbstanalysen zur Selbstvertiefungsarbeit im Fach Allgemeinbildung festhalten.

Zu Beginn der Arbeit haben wir in unserem Team eine Arbeitsverteilung vorgenommen. Patrick hat sich dabei zur Verfügung gestellt, das Dokument für die gesamte Arbeit zu führen. Danach haben wir uns auf die zu behandelnden Themen festgelegt und diese an die Teammitglieder verteilt. Wir haben dabei darauf geachtet, dass die Menge der Arbeiten gerecht auf beide Teammitglieder verteilt wurde. Wir haben uns ebenfalls darauf geeinigt, dass wir die Arbeit an den einzelnen, zugewiesenen Bereichen einzeln vollziehen und am Ende der Arbeit diese in einem Dokument vereinen. Für diese Arbeit haben wir in unserer Planung ebenfalls ein gewisses Zeitpensum eingerechnet.

Nach dem Start der Selbstvertiefungsarbeit begann ich mich in das Thema einzulesen. Schon früh entdeckte ich dabei, dass das Thema Erdöl facettenreicher ist, als ich es zuerst erwartete. Weiter war ich über die unglaublich hohen Verbrauchswerte erstaunt und investierte beinahe eine Stunde auf der Suche nach einem niedrigeren Gesamtverbrauch.

Während dem Durchlesen der Aufgabenstellungen für den schriftlichen Teil der Selbstvertiefungsarbeit, stiess ich auf die schriftlichen Zielformulierungen. Die Zielformulierungen empfand ich eher als hinderlich. Diese mussten genau nach einem bestimmten Raster aufgebaut sein und erlaubten darum nur wenige Freiheiten. Ausserdem erfüllten sie während der ganzen Arbeit nur den Zweck, ein wenig die Richtung der Tätigkeiten zu bestimmen.

Ein weiterer negativer Punkt war die zeitweise Abwesenheit der Lehrperson. Durch das Zusammentreffen der militärischen Aushebung mit dem Allgemeinbildungsunterricht verlor ich eine weitere Woche, um Fragen zu stellen. Durch diese Vorkommnisse schob sich der grösste Teil meiner Schreibaktivitäten auf die letzten zwei Wochenenden vor der Abgabe. Bei einer zukünftigen Arbeit werde ich auf jeden Fall frühzeitig mit den Schreibarbeiten beginnen, um am Ende mehr Zeit für weitere, nicht unwichtige Teile der Arbeit zu haben.

Etwas verwirrend war die Änderung einiger Anforderungen zwei Wochen vor Abgabe der schriftlichen Arbeit. Die Erhöhung der geforderten Seitenzahl auf 40 Seiten schien am Anfang einen Mehraufwand zu bedeuten. Während den letzten Arbeitsschritten kristallisierte sich aber heraus, dass unser Team mühelos auf die geforderte Anzahl der Seiten kommen würde. Die Formatierungen der Kopf- und Fusszeilen gelang uns dank freier Office-Software recht einfach, während die beschriebenen Lösungen für die Office-Software der Berufsschule nicht wirklich benutzerfreundlich gewesen waren.

Über die gesamte Arbeit hinweg begleitete mich Patrick Bucher als kompetenter und methodisch vorgehender Teampartner. Er stand jederzeit für eventuelle Fragen bereit und unterstützte mich bei zwei, drei kleinen Unklarheiten. Er selbst erarbeitete seine Beiträge termingerecht und in sehr guter Qualität.

Rückblicken auf die gesamte Arbeit, fällt diese positiv aus. Es traten nur wenige unvorhergesehene Probleme auf, die alle gelöst werden konnten. Durch die Einbringung verschiedenster unbekannter Aspekte der Arbeit, durch verschiedenste Varianten der Informationsgewinnung wie Sachfilme, lesen von Fachliteratur, durch Umfragen und massive Nachforschung im Internet entstand ein gutes, interessantes und umfangreiches Endprodukt. Während der gesamten Vertiefungsarbeit konnte ich so meine Fachkompetenzen, Methodik und Erfahrung deutlich erweitern.



## Kommentar von Patrick

Zu Beginn der Arbeit war ich sehr froh darüber, dass wir unsere Teams frei zusammenstellen konnten. Auf diese Weise konnte man sich einen Partner suchen, mit dem man gut zusammenarbeiten kann. Auch die freie Themenwahl habe ich als positiv empfunden, so kann man über ein Thema schreiben, das einem wirklich interessiert. Die Arbeit wurde somit interessanter.

Mit der Themenwahl bin ich auch jetzt nach der verrichteten Arbeit noch zufrieden, ich interessiere mich nun sogar noch mehr für das Thema als zuvor. Somit habe ich auch eine meiner persönlichen Zielsetzungen erreicht, sodass ich neben technischem Wissen auch Informationen über Wirtschaft und Politik erlangt habe.

Die Arbeitsteilung hat bei unserem Team sehr gut funktioniert. Wir definierten am Anfang der Arbeit, wer welche Teile übernehmen wird und konnten unsere Beiträge so recht unabhängig voneinander erarbeiten. Dies hatte jedoch den Nachteil, dass wir am Schluss eine grössere Arbeit zusammenfügen mussten. Dies haben wir in unserer Planung jedoch berücksichtigt, sodass wir genug Zeit hatten, alles sauber zusammenzufügen und uns intensiver mit den Beiträgen des Teampartners auseinander zu setzen.

Insgesamt war die Zeit jedoch etwas zu knapp bemessen. Hätten wir etwas früher mit der Arbeit beginnen können, so wären uns zusätzlich die beiden Wochen der Herbstferien zur Verfügung gestanden. Auch eine Abgabe nach den Festtagen hätte uns einige zusätzliche Zeit eingebracht. Zudem sind noch einige Nachmittage ausgefallen, sodass wir am Anfang lange Zeit nicht vorwärts gekommen sind.

Die Dokumentvorlage mit der ganzen Gliederung haben wir bereits zu Beginn der Arbeit erstellt. So hatten wir bereits etwas, worauf wir aufbauen konnten. Das erste Kapitel habe ich dann gegen Ende November und Anfangs Dezember verfasst, die Arbeit daran war aufgrund des umfassenden Themas sehr abwechslungsreich. Da ich im Moment dreimal wöchentlich die Abendschule besuche, musste ich mir für das Erstellen meines zweiten Kapitels einige Tage frei nehmen. Ansonsten wäre ich wohl nicht damit fertig geworden. Mein zweites Kapitel habe ich dann hauptsächlich anhand des Buches „Peak Oil“ in diesen freien Tagen verfasst. Auch das war sehr interessant.

Was mich an der ganzen Arbeit gestört hat, waren die ständig ändernde Rahmenbedingungen. So wurde die Gestaltung der Kopf- und Fusszeile erst etwa einen Monat vor dem Abgabetermin definiert. So musste ich dies alles noch einmal neu gestalten. Auch die Gestaltung der Quellenangabe wurde erst zwei Wochen vor der Abgabe vorgegeben. Ansonsten waren wir in der Gestaltung jedoch relativ frei, worüber ich sehr froh bin.

Da wir unseren eigentlichen Arbeitsauftrag nicht schriftlich bekommen haben, waren viele Rahmenbedingungen unzureichend definiert. So passierte es, dass wir uns zunächst auf eine Arbeit von mindestens 30 Seiten einstellten, der Umfang jedoch nachträglich auf ungefähr 40 Seiten nach oben korrigiert wurde. Dies sollte man gleich zu Beginn der Arbeit mit einem schriftlichen Arbeitsauftrag definieren, so erübrigt sich jegliche Diskussion darüber. Unser Team hat den Umfang von 40 Seiten jedoch locker erreicht. Zu diesem Arbeitsauftrag hätte man bereits am Anfang die Bewertungskriterien bekannt geben können. So hätte man gezielter darauf hin arbeiten können.

Die Formulierung der Arbeitsziele wurde meiner Meinung nach übertrieben stark vorgegeben. So wurden die Ziele mit Sätzen formuliert, die erstens stark aufgesetzt wirken und sich somit zweitens nicht angenehm lesen lassen.

Insgesamt blicke ich auf eine interessante Arbeit zurück, mit deren Endergebnis ich sehr zufrieden bin. Auch jenseits der schulischen Ziele habe ich bei dieser Arbeit sehr viel dazugelernt. Einerseits über das Erdöl selber, jedoch auch über Wirtschaft und Politik und nicht zuletzt habe ich Fortschritte in meiner Arbeitsmethodik und meinem Schreibstil gemacht.

Sehr froh bin ich über unsere Entscheidung, als Werkzeug nicht Microsoft Office Word, sondern OpenOffice.org Writer eingesetzt zu haben. Dies hat uns offenbar einige Probleme erspart, mit welchen die anderen Teams zu kämpfen hatten.



# Literatur- und Quellenangabe

## ***Buchquellen***

- Titel: „Kohle Erdöl Erdgas“
  - Autor: Karl-Heinz Schmidt, Ingo Romey, Fritz Mensch
  - Verlag: Vogel-Verlag
  - ISBN: 3-8023-0684-8
  - Erscheinungsjahr: 1981
- Titel: „Peak Oil“
  - Autor: Jeremy Legget
  - Verlag: Kiepenheuer & Witsch
  - ISBN: 3-462-03351-4
  - Erscheinungsjahr: 2006
- Titel: „Wie funktioniert das? - Energie“
  - Autor: Karl-Heinz Ahlheim
  - Verlag: Meyers Lexikonverlag
  - ISBN: 3-411-02375-9
  - Erscheinungsjahr: 1983

## ***Internetquellen***

- Wikipedia (letztes Abrufdatum: 10.12.2006)
  - Erdöl: <http://de.wikipedia.org/wiki/Erd%C3%B6l>
  - Daten zum Erdöl: [http://de.wikipedia.org/wiki/Erd%C3%B6l/Tabellen\\_und\\_Grafiken](http://de.wikipedia.org/wiki/Erd%C3%B6l/Tabellen_und_Grafiken)
  - Pipelines: <http://de.wikipedia.org/wiki/Pipeline>
  - Öltanker: <http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96ltanker>
  - OPEC: <http://de.wikipedia.org/wiki/OPEC>
  - Mineralölunternehmen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Mineral%C3%B6lunternehmen>
  - ExxonMobil: <http://de.wikipedia.org/wiki/ExxonMobil>
  - ARAMCO: <http://de.wikipedia.org/wiki/Aramco>
  - Peak Oil, Ölpreis: <http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96lf%C3%B6rderung>
  - weitere: <http://de.wikipedia.org/>
- „Seilnacht“-Lexikon (letztes Abrufdatum: 10.12.2006)
  - Erdöl-Veredelung: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/erdoel.html>



## Arbeitsrapport Kilian

Datum	Tätigkeit	Ort	Pendenz	Start	Ende	Zeit
18.10.2006	Gross- und Unterthemen besprechen	BBZS	MindMap erstellen	13:30	15:30	2 h
25.10.2006	Begründung der Themenwahl	BBZS	Themenwahl begründen	13:15	15:15	2 h
08.11.2006	Erarbeiten der Gross- und Unterthemen, Zielformulierung	BBZS		13:30	15:30	2 h
26.11.2006	Einlesen in verschiedene Fachbücher	zu Hause	Teilthemen überarbeiten	13:30	18:30	5 h
28.11.2006	Verfassen des Kapitel „Verwendung des Erdöls“	zu Hause	Kapitel fertigstellen	18:00	20:00	2 h
29.11.2006	Umfrage „Bewusstsein der Bevölkerung“ erstellen	zu Hause	Auswerten der Umfrage	18:00	20:00	2 h
01.12.2006	„Rohöl- Veredelung“ Teil 1	zu Hause		18:00	20:00	2 h
02.12.2006	„Rohöl- Veredelung“ Teil 2	zu Hause		09:00	13:00	4 h
02.12.2006	„Verwendung der Rohstoffe Erdöl“ Teil 1	zu Hause		13:30	19:30	6 h
03.12.2006	„Verwendung der Rohstoffe Erdöl“ Teil 2	zu Hause		10:30	14:30	4 h
03.12.2006	Review des gesamten Dokuments	zu Hause		20:00	22:00	2 h
06.12.2006	Auswertung der Umfrage	BBZS		14:00	15:00	1 h
08.12.2006	„Alternativen zum Erdöl“ Teil 1	zu Hause		09:30	11:30	2 h
08.12.2006	„Alternativen zum Erdöl“ Teil 2	zu Hause		14:30	19:30	5 h
09.12.2006	Bilder gesucht und editiert	zu Hause		09:00	11:00	2 h
09.12.2006	„Alternativen zum Erdöl“ Teil 3	zu Hause		12:30	16:30	4 h
09.12.2006	Kommentar verfassen Teil 1	zu Hause		18:30	19:30	1 h
10.12.2006	Kommentar verfassen Teil 2	zu Hause		10:00	11:00	1 h
10.12.2006	Zusammenfügen der Arbeit	bei Patrick	Ausdruck	13:00	21:00	8 h
	<b>Total</b>					<b>57 h</b>



## Arbeitsrapport Patrick

Datum	Tätigkeit	Ort	Pendenz	Start	Ende	Zeit
18.10.2006	Gross- und Unterthemen besprechen	BBZS	MindMap erstellen	13:30	15:30	2 h
25.10.2006	Begründung der Themenwahl	BBZS	Themenwahl begründen	13:15	15:15	2 h
28.10.2006	SVA-Gesamtdokument aufsetzen	zu Hause	Besprechung mit Kilian	10:00	13:00	3 h
08.11.2006	Erarbeiten der Gross- und Unterthemen, Zielformulierung	BBZS	Besprechung mit Kilian	13:30	15:30	2 h
19.11.2006	Anfangen mit dem Verfassen des ersten Kapitels	zu Hause	Kapitel fertigstellen	17:00	20:00	3 h
22.11.2006	Überarbeitung des Dokuments gemäss Besprechung	BBZS	Besprechung mit Kilian	13:00	15:00	2 h
25.11.2006	Am ersten Kapitel weiter gearbeitet	zu Hause	Kapitel fertigstellen	14:00	17:00	3 h
03.12.2006	Am ersten Kapitel weiter gearbeitet	zu Hause	Kapitel fertigstellen	16:00	19:00	3 h
04.12.2006	Erstes Kapitel fertiggestellt und überarbeitet	zu Hause	Besprechung des Kapitels	09:00	13:00	4 h
06.12.2006	Anpassungen am Layout, Besprechung mit Kilian	BBZS		13:00	15:00	2 h
06.12.2006	Einlesen in das Buch „Peak Oil“	unterwegs	Durchlesen der Lektüre	21:00	23:00	2 h
07.12.2006	Im Buch „Peak Oil“ weiter gelesen	zu Hause	Durchlesen der Lektüre	08:00	12:00	4 h
07.12.2006	Gliederung des Kapitels „Peak Oil“	zu Hause	Gliederung abschliessen	13:00	14:00	1 h
07.12.2006	Ergänzung des ersten Kapitels um den Abschnitt „Der Erdölpreis“	zu Hause	Besprechung	15:00	16:00	1 h
07.12.2006	Im Buch „Peak Oil“ weiter gelesen	zu Hause	Durchlesen der Lektüre	17:30	21:30	4 h
08.12.2006	Verfassen des Kapitels „Peak Oil“	zu Hause	Fertigstellung des Kapitels	13:00	21:00	8 h
09.12.2006	Arbeit am Kapitel „Peak Oil“ weitergeführt	zu Hause	Fertigstellung des Kapitels	08:30	11:30	3 h
09.12.2006	Lektüre beendet, Kapitel „Peak Oil“ abschliessen, Titelseite gestalten	zu Hause	Dokument durchgehen	12:30	17:30	5 h
10.12.2006	Ganzes Dokument noch einmal durchgehen und Fehler korrigieren	zu Hause	Zusammenfügen mit Kilian	10:00	11:00	1 h
10.12.2006	Zusammenfügen der Arbeit	zu Hause	Ausdruck	13:00	21:00	8 h
	<b>Total</b>					<b>63 h</b>