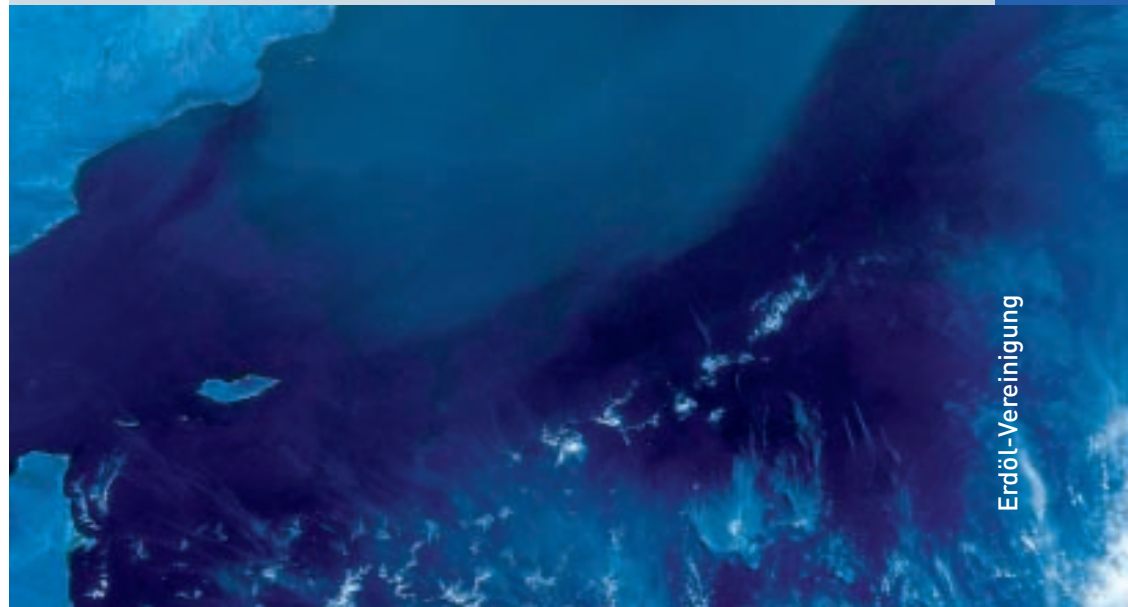
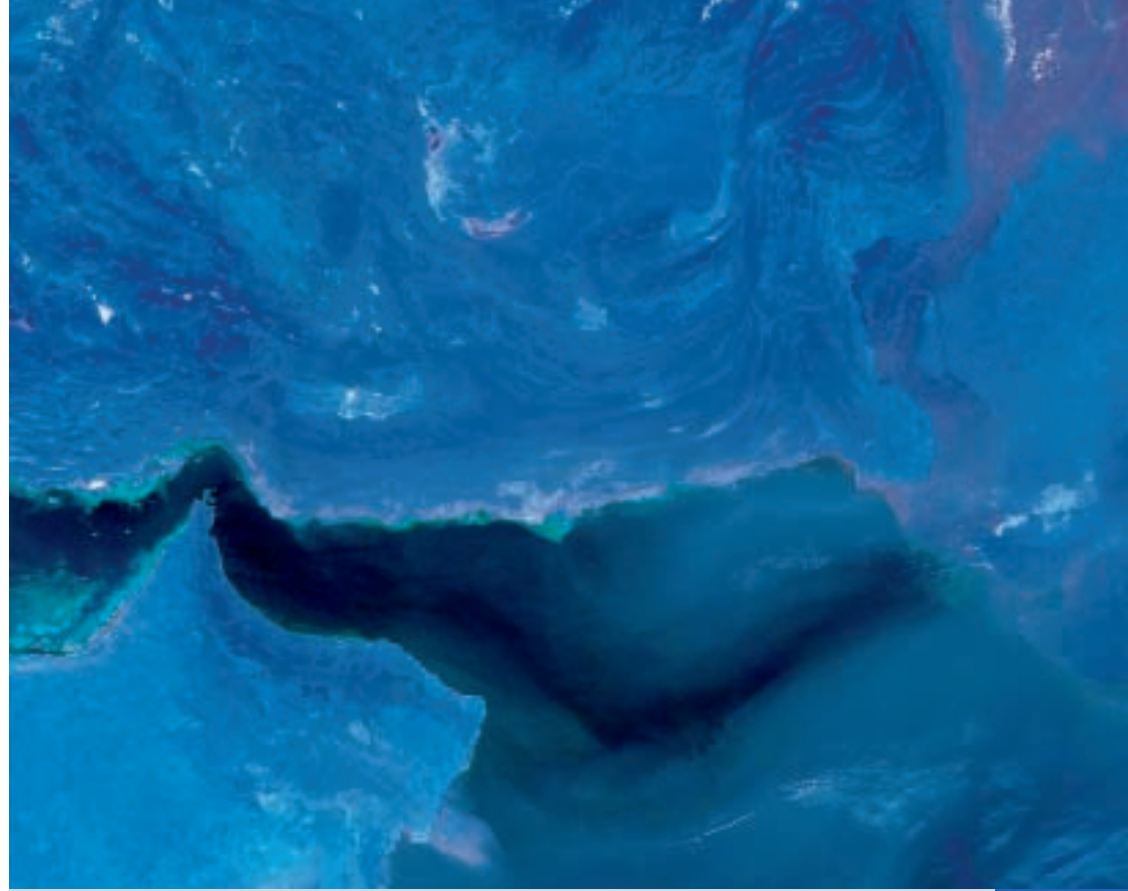


Erdöl – Entstehung, Förderung und Verarbeitung

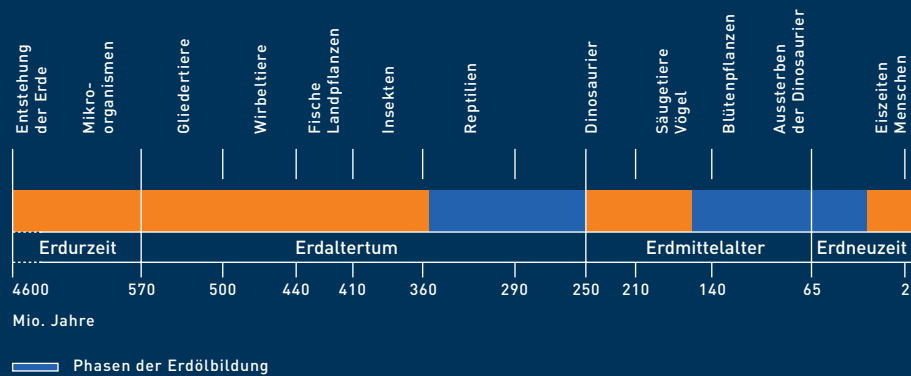


Ein langer Weg

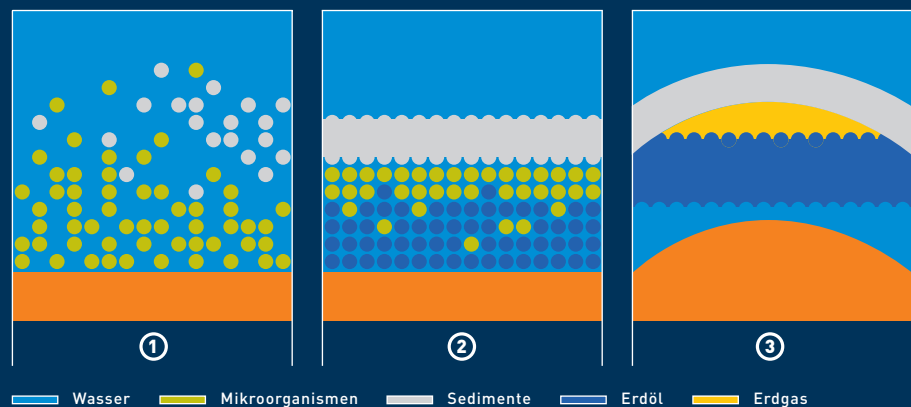
- Bis das Erdöl in Form der uns bekannten Endprodukte in unserem Alltag angelangt ist, hat es nicht nur eine Jahrtausende dauernde Geschichte, sondern auch einen langen Weg hinter sich gebracht. Diese Broschüre gibt Auskunft darüber, wie das Erdöl entstand, wie es gefördert, verarbeitet und transportiert wird.

Die Anfänge	4
Im Innern der Erde	6
Die weltweiten Erdölreserven	8
Erdöl finden und fördern	10
Transport rund um die Welt	16
Raffination: Trennung und Veredelung	18

Perioden der Erdölbildung



Die Entstehung von Erdöl



Die Anfänge

Die Erdölreserven, die heute unseren Alltag entscheidend mitgestalten, entstanden vor 20 bis 350 Millionen Jahren in den flachen Sedimentbecken urzeitlicher Meere. Die ältesten bekannten Erdölvorkommen sind rund 500 Millionen, die jüngsten nur gerade 4000 Jahre alt. Die obersten, vom Sonnenlicht durchfluteten Wasserschichten der Weltmeere waren damals wie heute von mikroskopisch kleinen Tieren und Pflanzen, dem Plankton, bevölkert. Nach ihrem Tod sanken diese Lebewesen in die Tiefe, wobei die meisten von ihnen nach und nach verweseten. Ein Teil gelangte jedoch bis auf den Meeresgrund und bildete dort zusammen mit abgesunkenen Sedimenten eine Schicht aus Tiefseeschlamm.

Komplexes Gemisch

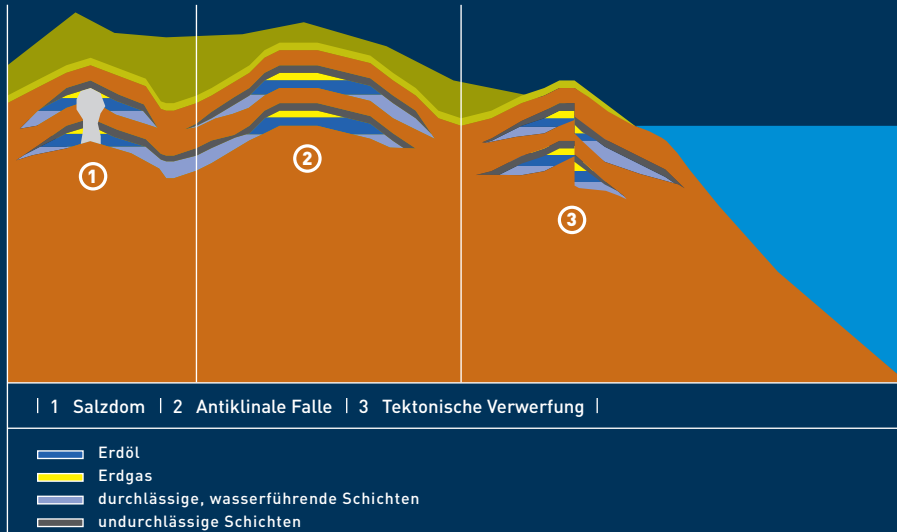
In der sauerstoffarmen Umgebung des Meeresgrunds konnten die Planktonreste nicht mehr abgebaut werden. Stimmten die Umweltbedingungen, verwandelte sich der Tiefseeschlamm stattdessen in Jahrtausende dauernden chemischen und biologischen Prozessen in ein komplexes Gemisch aus verschiedensten Kohlenwasserstoffen, das Erdöl. Möglich war eine solche Umwandlung nur bei Temperaturen von etwa 65 bis 120 °C und einem hohen Druck.

Gestein als Speicher

Die Mineralien des Tiefseeschlammes verfestigten sich dabei zu einer Gesteinsschicht, in deren Poren die Umwandlung des Planktons in Erdöl stattfinden konnte. Erdöl wird daher immer im Gestein gespeichert vorgefunden und niemals in Form von freien unterirdischen Ölseen.

- 1** Ablagerung von Mikroorganismen und Überlagerung mit wasserundurchlässigem Material. Umwandlung durch anaerobe Bakterien
- 2** Verfestigung der Sedimentschichten. Weitere Umwandlung durch Druck und erhöhte Temperatur
- 3** Faltung der Sedimentschichten. Migration und Schichtung von Gas, Öl und Wasser

Erdölfallen

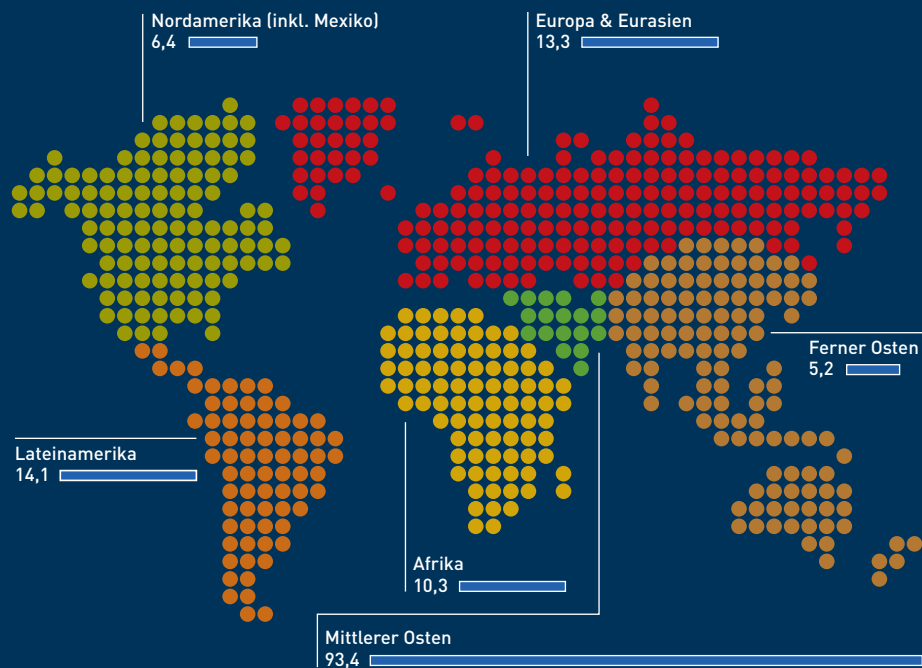


Im Innern der Erde

- Das neu gebildete Erdöl hat eine geringere Dichte als das umliegende Gestein und sucht sich durch die Gesteinsporen einen Weg nach oben. Mitunter dringt es auf diese Weise bis an die Erdoberfläche vor und tritt in Form von Teerseen aus dem Boden aus. Solche oberirdischen Ölvorkommen wurden von unseren Vorfahren schon in frühgeschichtlicher Zeit genutzt.
- Erdölfallen**
Vielorts verhindern aber undurchlässige Gesteinsschichten den weiteren Aufstieg des Öls. Kann es auch seitlich nicht entweichen, sammelt sich das Erdöl unterhalb dieser Schicht an. Man spricht bei solchen geologischen Formationen von Ölfallen.
- Bildung von Antiklinalen**
Ölfallen entstehen im Verlauf der Gebirgsbildung, bei der riesige Gesteinsschichten auseinander gerissen, gefaltet und gehoben werden. Dabei werden Aufwölbungen im Untergrund, die so genannten Antiklinalen, gebildet. Antiklinalen stellen die typischste und häufigste Form von Ölfallen dar. Auch in Verwerfungen, die durch Brüche in der Erdkruste entstehen, oder an den Rändern von unterirdischen Salzstöcken kann sich Erdöl ansammeln. Viele dieser Ölvorkommen werden von Erdgas überlagert.



Erdölreserven



in 1000 Mio. Tonnen (Stand 2003)

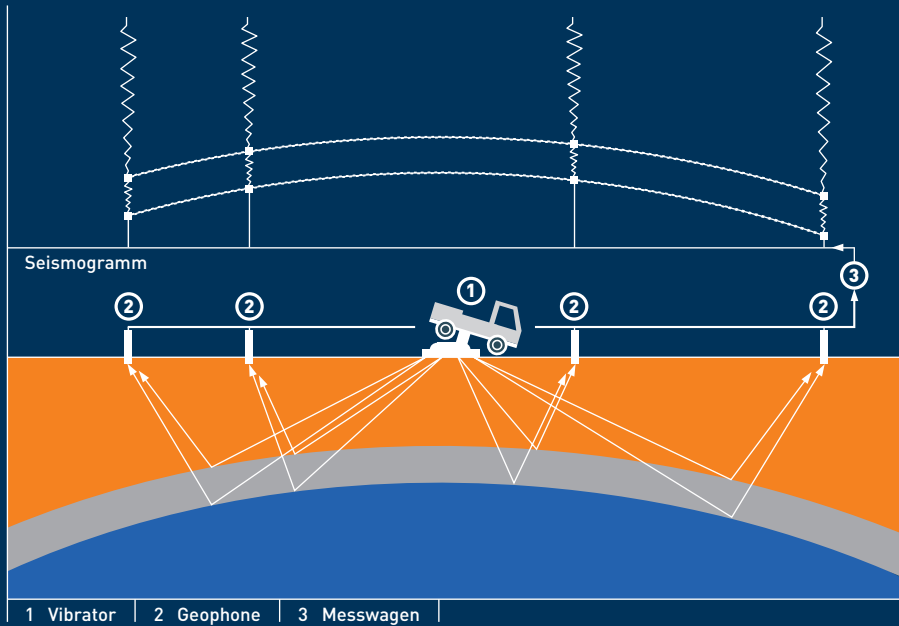


Die weltweiten Erdölreserven

- Die günstigsten geologischen Bedingungen für die Bildung von Erdöl herrschten vor Jahrmillionen im heutigen Mittleren Osten. Zwei Drittel der heute bekannten Erdölreserven liegen in der Region der arabischen Halbinsel. Saudi-Arabien allein verfügt mit Erdölreserven von rund 36 Milliarden Tonnen über rund ein Viertel der weltweiten Vorräte.
- Rund um den Globus**
Weitere bedeutende Ölvorkommen befinden sich im Irak, in den Vereinigten Arabischen Emiraten, Kuwait und Iran. Riesige Ölmengen lagern auch im Untergrund von Mittel- und Südamerika (Venezuela und Mexiko), der Gegend rund ums Kaspische Meer und im nördlichen Afrika (insbesondere in Libyen und Nigeria). Zahlreiche kleinere Ölfelder liegen weit verstreut rund um den Globus. Die europäischen Reserven sind vor allem in der Nordsee zu finden.
- Konventionelle und nichtkonventionelle Reserven**
Die Erdölreserven werden in zwei Gruppen aufgeteilt. Als konventionelle Reserven bezeichnet man jene Vorkommen, die mit heutiger Technik in grossem Massstab wirtschaftlich nutzbar sind. Dazu zählt die Mehrheit der Lagerstätten im Mittleren Osten. In nichtkonventionellen Öllagerstätten ist das Erdöl zähflüssig oder fest im Gestein gebunden und lässt sich nur mit grossem Aufwand gewinnen. Vor allem der amerikanische Kontinent verfügt über riesige nichtkonventionelle Ölreserven in Form von Teersand, Ölschiefer und Schweröl.



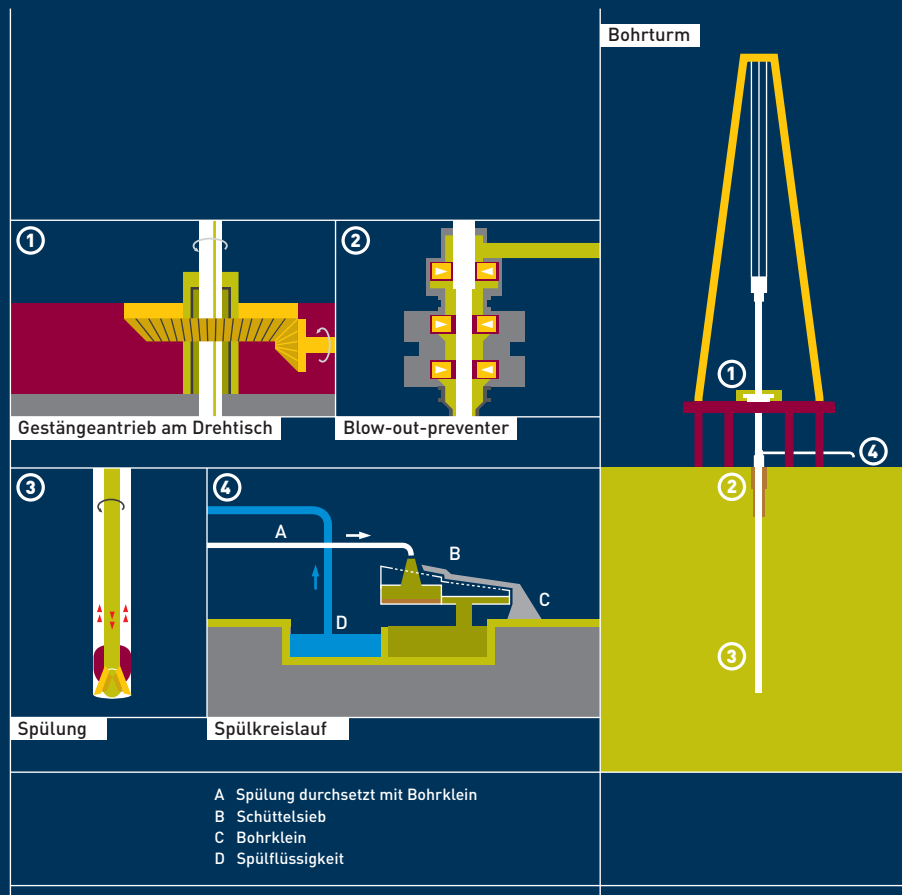
Seismische Messung



Erdöl finden und fördern

- Die Suche nach Erdöl wird im Fachjargon «Exploration» genannt. Moderne Techniken unterstützen die Geologen beim Aufspüren von Gesteinsformationen im Untergrund, die möglicherweise Erdöl enthalten.
- Reflexionsseismik**
Die weitaus wichtigste Methode bei der Suche nach Öl ist heute die Reflexionsseismik. Dabei macht man sich die Tatsache zunutze, dass Erschütterungswellen sich je nach der Beschaffenheit des Untergrundes mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fortpflanzen und an den Grenzflächen zwischen verschiedenen Gesteinsschichten genau wie Schall- oder Lichtwellen gebeugt oder reflektiert werden.
- Bei seismischen Untersuchungen werden zahlreiche Erschütterungen in Form von winzigen künstlichen Erdbeben ausgelöst. Die abgelenkten und zurückgeworfenen Erschütterungswellen werden von hochempfindlichen Messgeräten, so genannten Geophonen, registriert. Die Daten werden von leistungsfähigen Computern verarbeitet und liefern ein aussagekräftiges dreidimensionales Bild des geologischen Untergrundes.
- Versuchsbohrungen**
Moderne geologische Untersuchungsmethoden haben die Chancen, bei der Suche nach neuen Öllagerstätten fündig zu werden, in den letzten 50 Jahren ständig verbessert. Doch erst eine Versuchsbohrung zeigt, ob eine so entdeckte «verdächtige» Gesteinsformation tatsächlich Erdöl enthält.
- Ist die Probebohrung erfolgreich, müssen Grösse, Qualität und Ergiebigkeit der neu entdeckten Lagerstätte untersucht werden. Erst wenn feststeht, dass die Ausbeutung des Vorkommens kommerziell lohnend ist, werden die ersten Produktionsbohrungen angelegt.

Bohrtechnik



Erdöl finden und fördern

Die Bohrtechnik

- Die meisten Bohrungen werden senkrecht in die Tiefe getrieben. Beim dabei am häufigsten angewendeten so genannten Rotary-Verfahren wird der Bohrmeissel über ein drehendes Bohrgestänge angetrieben. Mit zunehmender Tiefe wird die Bohrung jeweils mit Futterrohren ausgekleidet und damit stabilisiert.
- Um den Ausbruch einer unter Druck stehenden Lagerstätte zu verhindern, wird die Bohrung mit einer selbsttätigen Abschlussvorrichtung (Blow-out-preventer) versehen.
- Das vom Meissel zertrümmerte Gestein, das sog. Bohrklein, wird mittels einer Spülflüssigkeit abtransportiert. Diese Flüssigkeit übernimmt dabei gleichzeitig die Aufgabe, die Bohrwerkzeuge kontinuierlich zu schmieren, zu kühlen und durch ihren Druck Wassereintritte in die Bohrung sowie Ölaustritte aus der Lagerstätte zu verhindern.
- Die austretende Spülflüssigkeit wird vom Bohrklein gereinigt und wieder zurück in das Bohrloch gepumpt.

Mit schrägen oder abgelenkten Bohrungen lassen sich auch schwer zugängliche Erdölvorkommen erreichen.

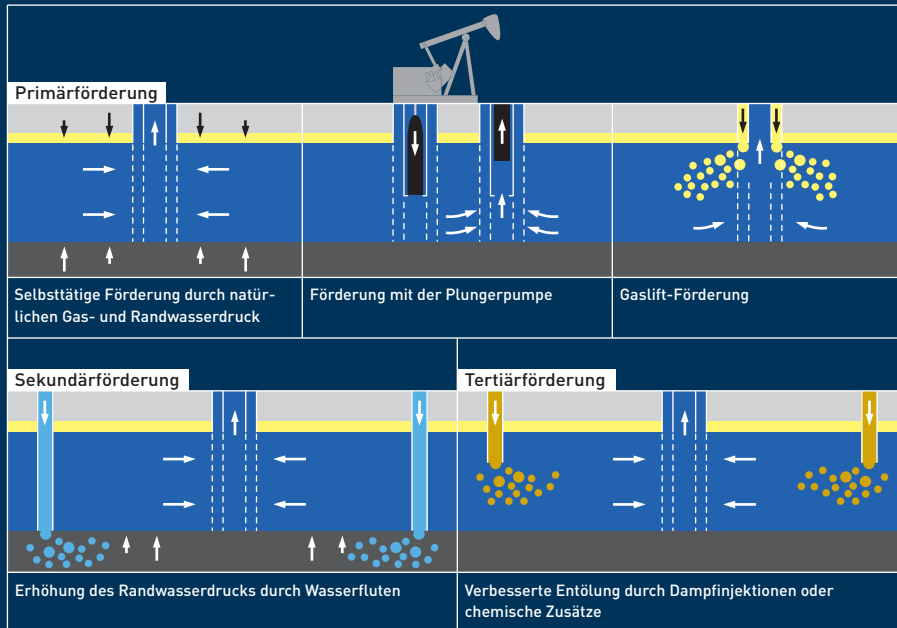
On- und Offshore

Ein grosser Teil der konventionellen Erdölvorkommen liegt nicht auf dem Festland («onshore»), sondern «offshore» unter den flachen Meeren der Kontinentalschelfe, etwa in der Nordsee oder im Golf von Mexiko. «Offshore»-Bohrungen erfolgen von schwimmenden oder am Meeresboden verankerten Bohrplattformen aus und verwenden grundsätzlich dieselben Techniken wie Bohrungen am Festland. Aufgrund der schwierigeren Umweltbedingungen sind sie jedoch wesentlich aufwändiger und kostspieliger. Bei der Suche nach neuen Ölvorkommen stossen die Bohrequispen immer weiter in Extrembereiche vor. Heute wird in der Arktis ebenso nach Erdöl gebohrt wie im tiefen Wasser des Golfs von Mexiko.

Erdöl in der Schweiz?

Auch in der Schweiz wurde schon nach Erdöl gebohrt. Vor allem im Gebiet des Mittellandes gab es rund dreissig Bohrungen, von denen jedoch keine auf wirtschaftlich nutzbare Ölvorkommen stiess. Seit den frühen achtziger Jahren ist die Suche nach inländischem Erdöl kein Thema mehr.

Fördermethoden



- Erdöl
- Erdgas
- durchlässige, wasserführende Schichten
- undurchlässige Schicht

Erdöl finden und fördern

Förderung mit natürlichem Druck

Nicht jedes Ölvorkommen lässt sich gleich gut nutzen. Dünnflüssiges Öl, das unter hohem Druck steht und grosse Mengen an gelöstem Gas enthält, steigt ohne weiteres von allein im Bohrloch auf. In den Ölfeldern des Mittleren Ostens reicht der natürliche Druck oft aus, um das Öl über Jahre hinweg ohne zusätzliche Massnahmen an die Oberfläche sprudeln zu lassen.

Förderung mit Pumpen

Mit der Zeit lässt der Druck in der Lagerstätte jedoch nach. Sobald das Öl nicht mehr von selbst zur Oberfläche fliesst, kommen so genannte Plungerpumpen zum Einsatz. Das vertraute Bild der langsam auf- und abwippenden «Pferdeköpfe» prägt Ölbohrungen rund um die Welt.

Förderung mit Gasdruck

Viele Lagerstätten enthalten neben Erdöl auch Erdgas. Vor allem in abgelegenen Förderorten kann das Gas nicht vermarktet werden, da die nötige Infrastruktur zu kostspielig ist. Man kann sich das vorhandene Erdgas jedoch für die Ölförderung zunutze machen. Wird es ins Gestein rund um das Förderrohr gepresst, vermischt sich das Gas mit dem im Untergrund vorhandenen Öl zu einem leichten Schaum, der ohne weitere Unterstützung im Bohrloch aufsteigt.

Förderung mit Wasserdruck

Lässt der Druck im Inneren der Lagerstätte weiter nach, wird Wasser eingepresst, welches das noch vorhandene Öl nach oben ins Förderrohr drückt.

Förderung mit Dampf und Chemikalien

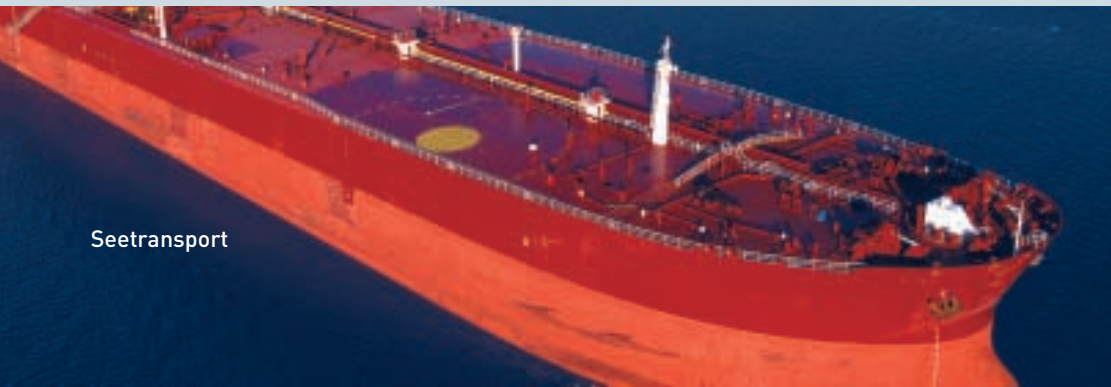
Durch Dampfinjektionen und unter Zugabe von Chemikalien kann die Oberflächenspannung des Erdöls gesenkt werden, so dass es sich leichter vom Gestein löst und die Ausbeute weiter steigt.

Versiegen der Quelle

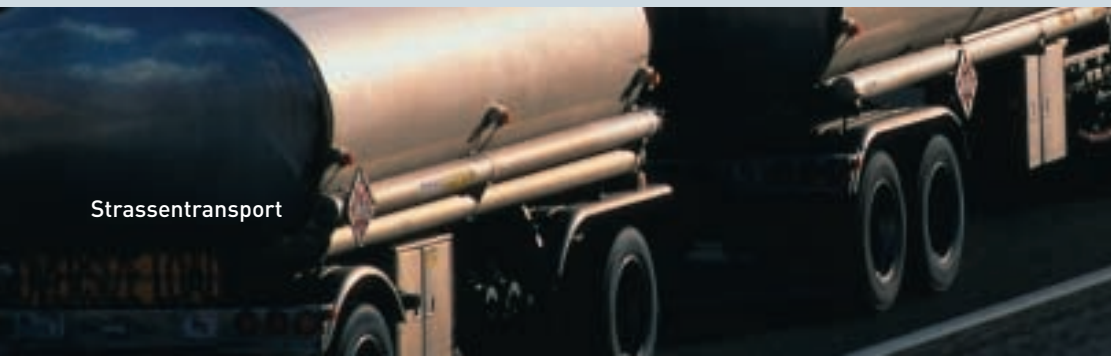
Irgendwann versiegt die Ölquelle trotz aller Tricks, auch wenn noch längst nicht alles Öl an die Oberfläche gepumpt worden ist. In den feinsten Poren des Gesteins wird ein grosser Teil des Erdöls von starken Kräften zurückgehalten. Allen Hilfsmitteln zum Trotz lassen sich selten mehr als 50% des im Gestein gespeicherten Erdöls gewinnen. Das ist jedoch schon deutlich mehr als noch vor 20 Jahren, als man sich noch mit einer Ausbeute von 25% zufrieden geben musste.



Pipeline



Seetransport



Strassentransport

Transport rund um die Welt

- Vom Bohrloch führt noch ein weiter Weg an die Tankstelle oder in den Heizöltank. Von den wichtigsten Förder- zu den grössten Verbraucherländern müssen Transportdistanzen rund um die halbe Welt zurückgelegt werden. Eine durchschnittliche Bohrung fördert jährlich etwa 4000 Tonnen Erdöl. Bevor dieses Öl überhaupt transportiert und weiterverarbeitet werden kann, muss es von Gas, Salzwasser und anderen Verunreinigungen befreit werden.
- **Der erste Transport**
Anschliessend wird es in der Regel per Pipeline zur Raffinerie oder zum nächsten Erdölhafen geleitet. Entgegen einer verbreiteten Meinung sind Pipelines sicherer als jedes andere Transportmittel für Erdöl. Ein Nachteil sind allerdings ihre hohen Baukosten und ihre geringe Flexibilität.
- **Der Seetransport**
Für den Weitertransport über die Weltmeere steht eine Flotte von weltweit rund 7'400 Mineralöltankern bereit. «Ultra large crude carriers» mit einem Ladegewicht von bis zu 400'000 Tonnen verkehren zwischen den grossen Ölhäfen auf der arabischen Halbinsel und den Hauptabnehmern in den USA und Ostasien. «Very large crude carriers» mit einem Fassungsvermögen von bis zu 300'000 Tonnen sowie eine Vielzahl von kleineren Schiffen beliefern den Rest der Welt. Dabei wird streng unterschieden zwischen Schiffen, die Rohöl («crude»), und solchen, die Produkte wie Benzin, Gasöl (Heizöl und Diesel) oder Schweröl transportieren.
- **Sicherheit des Transports**
Die Gewährleistung sicherer Transporte ist eine der grössten Herausforderungen für die Mineralölindustrie. Wenn Tanker auch immer wieder mit spektakulären Unfällen für Schlagzeilen sorgen, ist doch die Unfallrate gemessen an den riesigen Transportmengen äusserst klein. Strenge Standards für Bau, Unterhalt und Betrieb von Öltankern sind notwendig, um die Sicherheit auch zukünftig zu wahren und weiter zu verbessern. Zuständig für die Sicherheitsstandards der Tankerfahrt ist die International Maritime Organization (IMO), eine Unterorganisation der UNO.
- **Der Transport innerhalb Europas**
Der wichtigste Ölumschlaghafen und -handelsplatz Europas ist der Hafen von Rotterdam. Von dort aus erfolgt der Weitertransport zur Raffinerie per Pipeline oder Binnenschifffahrt; zum Verbraucher gelangen die fertigen Produkte schliesslich über Schiene oder Strasse.



Bestandteile des Rohöls

Normal-Alkane = Normal-Paraffine	
Beispiel Oktan (C_8H_{18})	$ \begin{array}{cccccccc} H & H & H & H & H & H & H & H \\ & & & & & & & \\ H - C - C - C - C - C - C - C - C - H \\ & & & & & & & \\ H & H & H & H & H & H & H & H \end{array} $
Iso-Alkane = verzweigte Paraffine	
Beispiel Isooktan (C_8H_{18})	$ \begin{array}{cccccccc} & & & & & & H & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & H - C - H & \\ & & & & & & & \\ H & H & H & H & H & H & H & H \\ & & & & & & & \\ H - C - C - C - C - C - C - C - H \\ & & & & & & & \\ H & H & H & H & H & H & H & H \end{array} $
Cyclo-Alkane = Cyclo-Paraffine	
Beispiel Cyclohexan (C_6H_{12})	$ \begin{array}{cccccc} & H & & H & & \\ & & & & & \\ H & - C & - & C & - & H \\ & & & & & \\ H & - C & - & C & - & H \\ & & & & & \\ H & - C & - & C & - & H \\ & & & & & \\ & H & & H & & \end{array} $
Alkene = Olefine	
Beispiel Penten (C_5H_{10})	$ \begin{array}{ccccccc} & H & H & H & H & & \\ & & & & & & \\ H & - C = C - C - C - C - H \\ & & & & & & \\ & & & H & H & & \end{array} $
Aromaten	
Beispiel Benzol (C_6H_6)	$ \begin{array}{cccccc} & H & & & & \\ & & & & & \\ H & - C & = C & - C & - H \\ & & & & & \\ H & - C & = C & = C & - H \\ & & & & & \\ & & & & & H \end{array} $

Raffination: Trennung und Veredelung

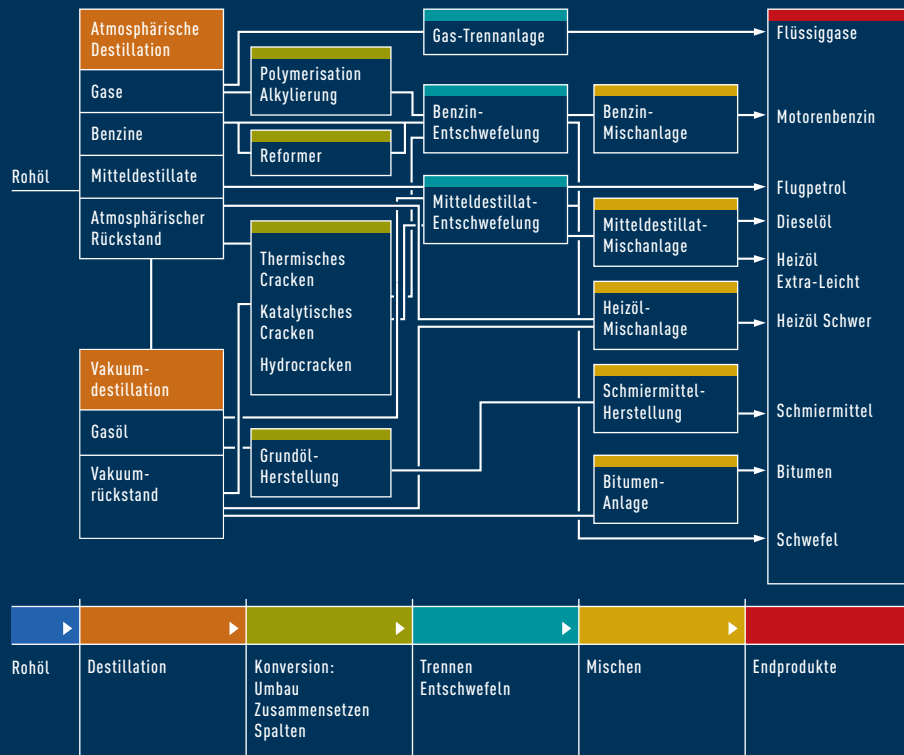
- Bevor aus Erdöl die riesige Produktpalette entsteht, die unseren Alltag bestimmt, muss der Rohstoff in seine Bestandteile zerlegt und weiterverarbeitet werden. Das Rohöl selbst ist kein einheitliches Produkt, sondern ein komplexes Gemisch aus verschiedensten Kohlenwasserstoffen, geringen Schwefelmengen und Spuren von Sauerstoff, Stickstoff und Metallen.
- Destillation in der Raffinerie**

In der Raffinerie wird dieses Gemisch stark erhitzt und durch Destillation aufgetrennt – derselbe physikalische Prozess, mit dem zum Beispiel Schnaps aus vergorenen Früchten gewonnen wird. Bei der Destillation macht man sich die unterschiedlichen Siedetemperaturen der verschiedenen im Erdöl enthaltenen Kohlenwasserstoffverbindungen zunutze. Flüssiggas, Benzin, Petrol, Mitteldestillate (Heizöl und Diesel), Schweröl und Bitumen können auf diese Weise sauber voneinander getrennt werden. Da bei der Destillation keine neuen chemischen Verbindungen hergestellt, sondern lediglich vorhandene Stoffe voneinander getrennt werden, fällt bei der Gewinnung eines bestimmten Produkts stets auch eine bestimmte Menge der anderen Produkte an. Diese so genannte Koppelproduktion ist ein typisches Kennzeichen für die Herstellung von Mineralölprodukten.
- Die atmosphärische Destillation**

In einer ersten Stufe, der atmosphärischen Destillation, wird das Rohöl erhitzt und in einen ersten Destillationsturm geleitet. Die Temperatur darf 350 °C nicht übersteigen, sonst beginnen sich die Kohlenwasserstoffverbindungen zu zersetzen. Die Mischung verdampft, steigt im Destillationsturm auf und kühlt dabei allmählich ab. Je tiefer die Siedetemperatur einer Verbindung, desto höher steigt sie, ehe sie sich wieder verflüssigt. Zwischenböden im Innern des Destillationsturms fangen die so getrennten Verbindungen einzeln auf. Gase durchströmen den ganzen Turm und werden zuoberst gesammelt. Benzin, Petrol und Gasöl werden auf verschiedenen Zwischenböden aufgefangen. Die schwersten Bestandteile des Rohöls bleiben jedoch auch bei den höchsten Temperaturen flüssig und sammeln sich am Boden des Destillationsturms an.
- Die Vakuumdestillation**

Dieser Rückstand wird abermals erhitzt und zur Vakuumdestillation geführt. In diesem zweiten Destillationsturm herrscht, wie der Name sagt, ein Teilvakuum. Dadurch werden die Siedetemperaturen um etwa 100 °C erniedrigt, so dass sich

Schema einer Raffinerie



Raffination: Trennung und Veredelung

die Rückstände aus der atmosphärischen Destillation weiter auftrennen lassen. Doch auch im Vakuum lassen sich nicht alle Bestandteile des Rohöls verdampfen. Die verbleibenden Rückstände werden je nach Qualität des Rohöls als schweres Heizöl verwendet oder zu Bitumen weiterverarbeitet und im Strassenbau eingesetzt.

Das Cracking

Unser westlicher Lebensstil führt zu einem grossen Bedarf an leichten und mittelschweren Erdölprodukten wie Benzin oder Heizöl Extra-Leicht. Dagegen sinkt die Nachfrage nach schwerem Heizöl in der Schweiz mit jedem Jahr. Es lohnt sich also für die Raffinerien, die Ausbeute an leichten Produkten weiter zu steigern. Viele moderne Raffinerien sind zu diesem Zweck mit einem Cracker ausgerüstet. Beim Cracking werden die komplexen und schweren Kohlenwasserstoffketten aus den Destillationsrückständen in kürzere Molekülketten gespalten. In modernen Raffinerien sind drei Verfahren anzutreffen: das thermische Cracken, das katalytische Cracken und das Hydrocracken.

Die Raffination

Auf die Destillation und das Cracking folgt die eigentliche Raffination, die Veredelung der bisher gewonnenen Produkte. Dazu zählen einerseits die chemische Umwandlung von Kohlenwasserstoffen in höherwertige Verbindungen (Konversion) und andererseits die Entfernung unerwünschter Inhaltsstoffe (z.B. Schwefel). Bei Reforming und Isomerisation werden bestimmte Kohlenwasserstoffmoleküle chemisch umgebaut. Verwendet werden diese Verfahren beispielsweise zur Erhöhung der Oktanzahl (und damit der Klopfestigkeit) von Benzin.

Die Entschwefelung

Die Entschwefelung von Brenn- und Treibstoffen dient letztlich dem Schutz von Mensch und Umwelt. Der Schwefelgehalt von Benzin, Diesel, Heizöl und Flugtreibstoffen wird in der Schweiz durch die Luftreinhalteverordnung (LRV) begrenzt. Schwefel ist ein natürlicher Bestandteil des Erdöls und je nach Herkunft des Rohöls in unterschiedlicher Menge vorhanden. Um die stetig sinkenden Grenzwerte einzuhalten, muss er in der Raffinerie aus den Produkten entfernt werden. Die Produkte werden zu diesem Zweck unter hohem Druck und hoher Temperatur mit Wasserstoff vermischt und über einen Katalysator geleitet. Der dort gebildete Schwefelwasserstoff wird aufgefangen und zu reinem Schwefel umgewandelt, der als Rohstoff in der chemischen Industrie Verwendung findet. Die heute in der Schweiz erhältlichen Benzin- und Dieselqualitäten sind alle praktisch schwefelfrei.

Die Welt des Erdöls – eine Schriftenreihe der Erdöl-Vereinigung

- Die Erdöl-Vereinigung (EV) als Branchenverband der Schweizer Mineralölindustrie bietet Informationen zu allen Fragen rund um Transport, Verarbeitung und Einsatz von Erdölprodukten.

Zusätzliche Exemplare dieser Broschüre, Broschüren zu weiteren Themen sowie das Verzeichnis der gesamten Schriftenreihe können bei der Erdöl-Vereinigung bezogen werden.

■ Herausgeber

Erdöl-Vereinigung, Löwenstrasse 25, 8001 Zürich
Tel. 01 218 50 10, Fax 01 218 50 11, info@swissoil.ch, www.swissoil.ch
1. Auflage 2003

Copyright

Der Inhalt dieser Broschüre darf unter Quellenangabe weiterverwendet werden.