



Förderung, Verarbeitung und Verwendung

# Mineralöl

Energy lives here™

**ExxonMobil**



# Erdöl – Energie, die aus der Tiefe kommt

Benzin, Diesel, Heizöl, aber auch Frischhaltefolien, Fahrradhelme, Waschmittel und Zahnbürsten haben eines gemeinsam: Erdöl. Der Rohstoff dient nicht nur als Energielieferant, sondern ist auch Bestandteil in zahlreichen Alltagsgegenständen.

Um Erdöl zu fördern, müssen die Lagerstätten, die vorwiegend in 700 bis 2.000 Metern Tiefe liegen, aber überhaupt erst gefunden werden. Dafür sind zahlreiche Spezialisten, wie Geologen, Seismologen und Petrografen, notwendig. Ist der Bohrturm installiert, arbeitet sich das tonnenschwere Bohrgestänge mit dem Meißel durch die Gesteinsschichten. Je nach Beschaffenheit der Lagerstätte kommen anschließend verschiedene Förderverfahren zum Einsatz.

## Primärverfahren

Erster Schritt ist die Primärförderung. Aufgrund des natürlichen Lagerstättendrucks, der beispielsweise in 2.500 Metern Tiefe etwa 250 bar beträgt, steigt das Öl zunächst selbständig an die Erdoberfläche. Zu den Fördermitteln in dieser Phase der Erdölproduktion zählen Tiefpumpen, von denen oberirdisch nur der Antrieb, der sogenannte Pferdekopf, sichtbar ist. Ebenso werden aber auch Hochdruckkreiselpumpen benutzt, die in das Bohrloch eingesetzt werden. In Deutschland liegt der durchschnittliche Grad der Ausförderung durch Primärverfahren bei rund 20 Prozent. Das bedeutet, dass auf diese Weise 20 Prozent des in einer Lagerstätte befindlichen Erdöls gewonnen werden können. Durch die stetige Ölentnahme lässt der Lagerstättendruck mit der Zeit nach, sodass zusätzliche Produktionstechniken erforderlich sind.

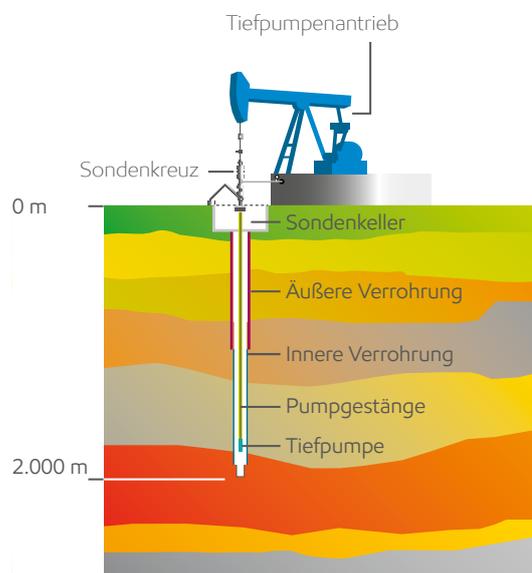
## Sekundärverfahren

Zu den Sekundärverfahren der Erdölproduktion gehören hauptsächlich das Wasserfluten und die Gasinjektion. Bei der gebräuchlichsten Methode, dem Wasserfluten, wird fortlaufend Wasser in das

Speichergestein gepresst, um den Lagerstättendruck zu erhöhen oder aufrecht zu erhalten. Dadurch kann der Entölungsgrad im Durchschnitt auf rund 35 Prozent gesteigert werden.

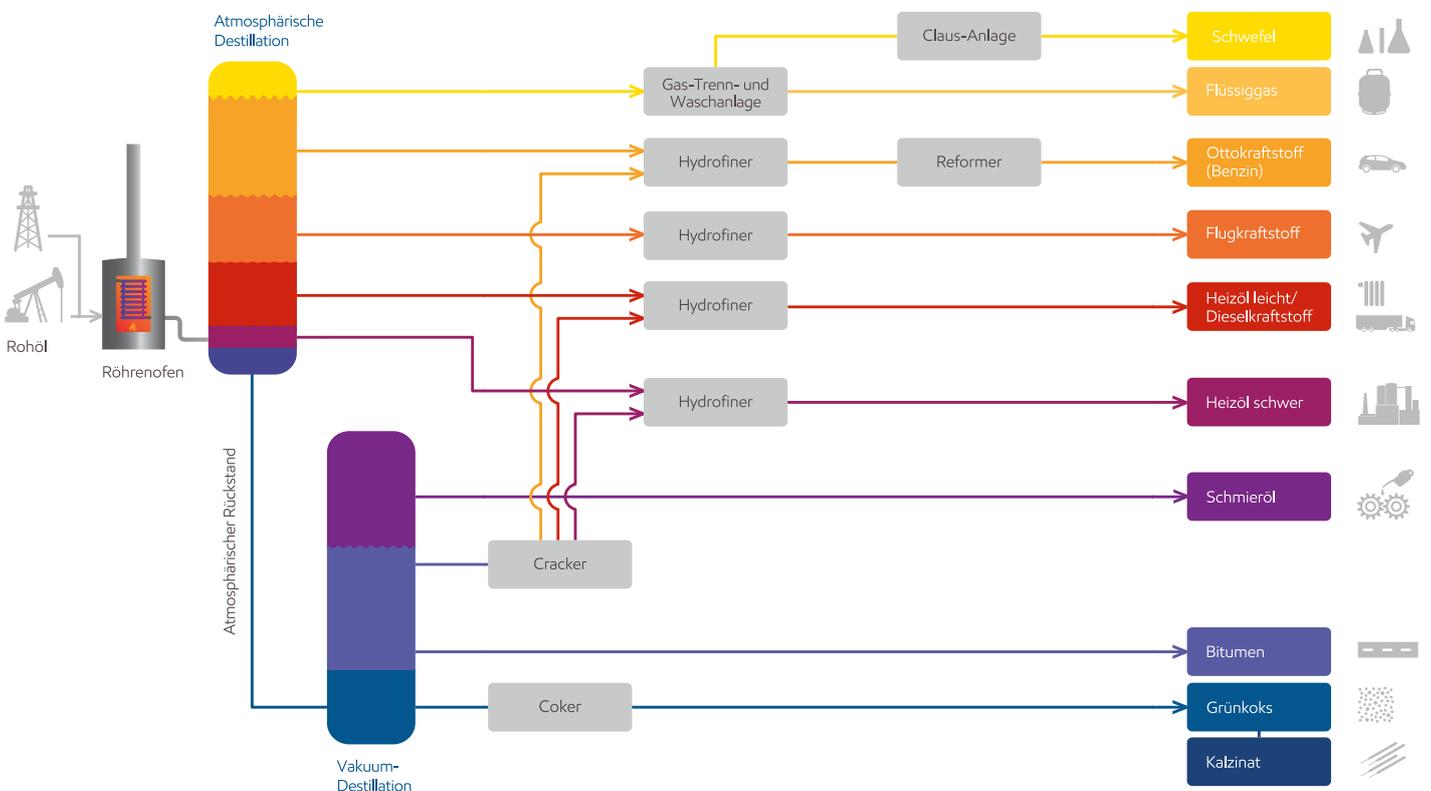
## Tertiärverfahren

Mit Tertiärverfahren kann der Nutzungsgrad von Erdöllagerstätten auf etwa 45 Prozent erhöht werden. Da seine Zähflüssigkeit (hohe Viskosität) das Erdöl oft im Speichergestein zurückhält, werden thermische Verfahren angewendet. Durch Einpressen von heißem Wasser und Dampf wird die Viskosität des Öls verringert und somit der Fluss erhöht. Für den Transport zur Verarbeitung in Raffinerien muss das Öl von leichten Gasen befreit werden. Nach dieser sogenannten Stabilisierung wird es als Rohöl bezeichnet.



Die Grafik zeigt Erdölförderung mittels Tiefpumpenantrieb, der als „Pferdekopf“ bezeichnet wird. In dieser Förderphase (Primärförderung) ist der Druck in der Lagerstätte ohne künstliche Maßnahmen noch hoch genug, um Erdöl zu fördern.

# Schema einer Raffinerie



Für den Weg vom Rohstoff zum Endprodukt sind verschiedene Verarbeitungsschritte erforderlich. Die Destillation separiert die Kohlenwasserstoffe nach Molekülgröße (Fraktionen), das Cracken spaltet größere in kleinere, das Reformieren baut Moleküle um und die Raffination reinigt Kohlenwasserstoffe von unerwünschten Bestandteilen.

# Rohöl-Verarbeitung – von der Raffinerie zur Produktvielfalt

Rohöl ist ein Gemisch aus vielen Kohlenwasserstoffen, aus dem in Raffinerien verschiedene Mineralölprodukte hergestellt werden. So entstehen Kraftstoffe für Autos, Flugzeuge und Schiffe oder Materialien, die zum Beispiel in der Bauindustrie Verwendung finden. Außerdem werden Brennstoffe für die industrielle und private Wärmeerzeugung produziert.

## **Verarbeitung**

Am Anfang jeder Mineralölverarbeitung werden die verschiedenen Kohlenwasserstoffe geordnet. Dies bedeutet das Auftrennen der im Rohöl enthaltenen Kohlenwasserstoffe nach ihren Molekülgrößen in Gruppen ungefähr gleicher Größe, die man „Fraktionen“ nennt. Weiter gehört dazu das Reformieren und Cracken unerwünschter Molekülgruppen in solche Produkte, die im Markt nachgefragt werden. Danach ist eine Reinigung aller dieser Fraktionen von unerwünschten Bestandteilen (z. B. Schwefel) erforderlich, um die Qualität und Umweltverträglichkeit der Mineralölprodukte zu erhöhen.

Zu den Mineralölprodukten, die in Raffinerien erzeugt werden, gehören z. B.: Gas, Flüssiggase (Propan, Propylen, Butan, Butylen), Otto-, Flug-, Dieselmotorenkraftstoff, leichtes und schweres Heizöl, Bitumen, Grünkoks, Kalzinat und Einsatzstoffe für die chemische Industrie.

## **Rohöl ist nicht gleich Rohöl**

Unterschiedliche Ölfelder der Erde liefern unterschiedliche Rohölsorten. Manche sind dünnflüssig und von strohgelber Farbe, manche dickflüssig, beinahe schon fest und tiefschwarz, einige enthalten viel Schwefel, andere sind fast schwefelfrei. Dennoch haben sie eines gemeinsam: Sie bestehen fast ausschließlich aus Kohlen- und Wasserstoff in chemischer Verbindung. In ihre Elemente zerlegt, enthalten Rohöle 83 bis 87 Gewichtsprozent Kohlenstoff, 11 bis 15 Gewichtsprozent Wasserstoff, 0 bis 6 Gewichtsprozent Schwefel sowie Spuren von Sauerstoff, Stickstoff und Metallen. Diese chemische Zusammensetzung, vor allem die Kohlenstoff-/Wasserstoff-Verbindungen, ermöglicht theoretisch Millionen verschiedenartiger Molekülstrukturen.

# Destillation – das Rohöl am Siedepunkt

## Destillation

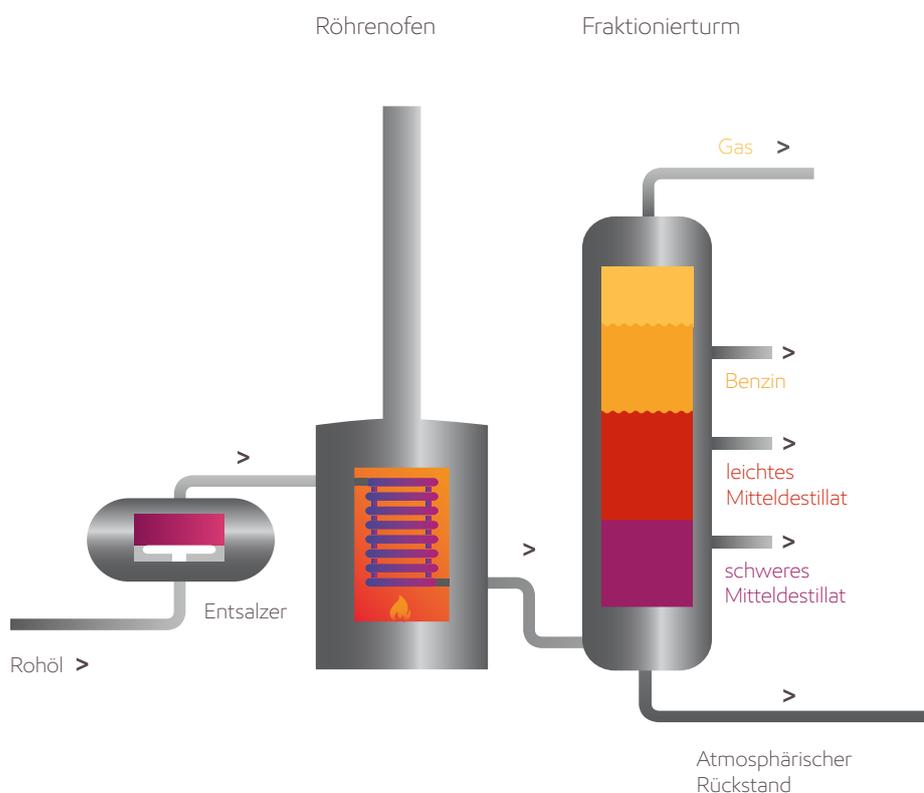
Am Anfang der Rohölverarbeitung steht die Destillation. Das Rohöl wird aus Lagertanks über einen Entsalzer und anschließende Wärmetauscher in einen Röhrenofen gepumpt, wo es auf etwa 350 bis 400 °C erhitzt wird. Anschließend gelangt es als Dampf-Flüssigkeits-Gemisch in den ersten Destillationsturm mit atmosphärischem Druck.

Der Turm ist in verschiedene Böden unterteilt. Dort herrschen jeweils unterschiedliche Temperaturen – unten heiß, nach oben immer kälter. Die leichteren Kohlenwasserstoffe steigen als Dampf auf, kühlen sich ab und gehen etwas unterhalb ihrer Siedetemperatur auf den verschiedenen Böden des Turms wieder in flüssigen Zustand über. Sie werden als sogenannte Fraktionen von den jeweiligen Ebenen abgeleitet. Die schweren Kohlenwasserstoffe bleiben flüssig am untersten Boden des Turmes zurück. Dieser Produktanteil, der unter Normaldruck nicht destilliert werden kann, wird als atmosphärischer Rückstand bezeichnet und in einen Vakuumturm geleitet, in dem ein verminderter Druck herrscht.

Die Destillation im Vakuumturm funktioniert genauso wie die im Arbeitsschritt zuvor, macht sich aber die Tatsache zu Nutze, dass Flüssigkeiten bei geringerem Druck früher sieden. Daher verdampfen die schweren Kohlenwasserstoffe nun, kühlen sich auf den verschiedenen Böden ab und werden wieder flüssig.

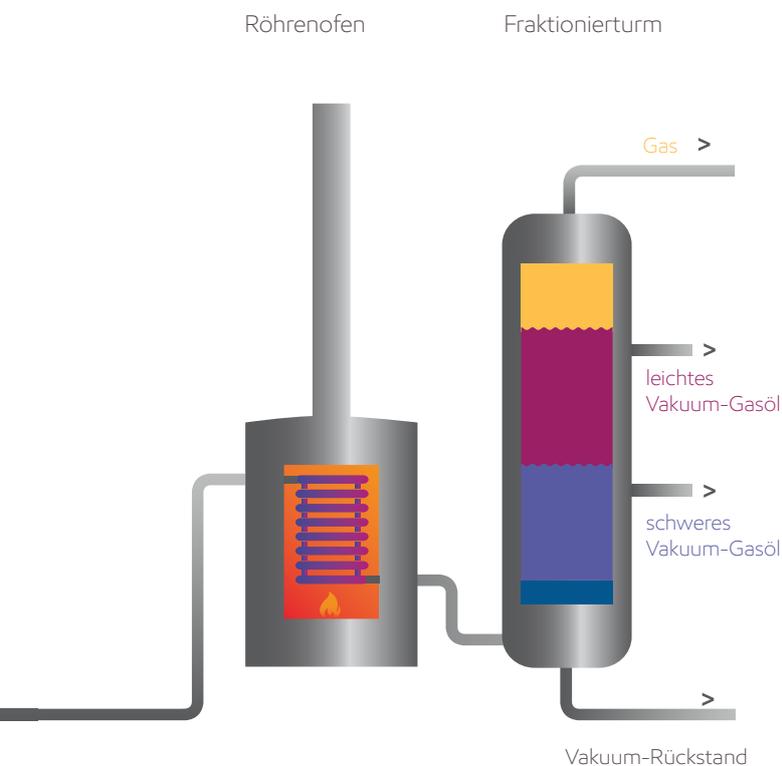
Eine einfache Raffinerie kann aus Rohöl mittlerer Qualität durchschnittlich etwa 15 Prozent Benzin, 35 Prozent Dieselkraftstoff und leichtes Heizöl sowie 45 Prozent schweres Heizöl produzieren. Will man diese Verteilung ändern, bleiben im

## Atmosphärische Destillation



Die Destillation trennt die Kohlenwasserstoffe des Rohöls nach Molekülgröße auf. Bei der atmosphärischen Destillation unter Normaldruck entstehen Gas, Flüssiggas sowie Rohbenzin und Mitteldestillat.

## Vakuum-Destillation



Die Vakuum-Destillation erzeugt unterschiedliche Gasöle als Ausgangsstoff für die Schmierstoffherstellung oder Einsatzstoff für Konversionsanlagen (Cracker). Der Rückstand dient als Vorprodukt zur Herstellung von Bitumen (Straßenbau, Dachpappe, Isolierung etc.) oder als Komponente des schweren Heizöls.

Wesentlichen zwei Wege: die Verarbeitung anderer Rohölsorten oder eine Verschiebung der Siedegrenzen. Für die Verarbeitung anderer Rohölsorten müssen diese verfügbar sein. Außerdem muss die Wirtschaftlichkeit bedacht werden, denn leichte Rohölsorten sind teurer als schwere. Die Verschiebung der Siedegrenzen ist möglich, da die Trennung der einzelnen Kohlenwasserstoffgruppen während der Destillation gewisse Spielräume bietet.

In den Grenzbereichen zwischen den verschiedenen Kohlenwasserstoffgruppen, den sogenannten Schnitten, gibt es Bestandteile, die sowohl dem einen als auch dem anderen Bereich zugeordnet werden können. So können z. B. 3 bis 5 Prozent des Diesels und leichten Heizöls dem Benzin zugeschlagen werden. Das Gleiche ist beim Übergang vom Gasöl (Diesel und leichtes Heizöl) zum schweren Heizöl möglich. Die Qualitätsanforderungen an die einzelnen Produkte setzen diesem Vorgehen allerdings enge Grenzen. Vergrößert man den Anteil eines Produktes, so geht dies immer auf Kosten der übrigen; dies ist das Wesen der Koppelproduktion.

Wenn die in der Destillation erzeugte Produktpalette die Nachfrage auf dem Markt nicht mehr decken kann, bedarf es anderer Anlagen, in denen etwa die schweren Bestandteile des Rohöls in leichtere umgewandelt werden. Sie vermindern also die Erzeugung schweren Heizöls und vergrößern gleichzeitig die Produktion von Benzin, Dieselkraftstoff und leichtem Heizöl, ohne zusätzliches Rohöl verarbeiten zu müssen. Solche Anlagen werden Konversionsanlagen oder Cracker genannt.

# Cracken – von der Spaltung zur Umwandlung

## Konversion

Während bei der Destillation nur die natürlich im Rohöl vorkommenden Kohlenwasserstoffe voneinander getrennt werden können, verwandeln Crackverfahren lange, schwere Kohlenwasserstoffmoleküle in kürzere. Dazu werden sie in Konversionsanlagen gespalten (engl. to crack). Man unterscheidet drei Verfahren: das thermische, das katalytische und das Hydrocracken.

## Thermisches Cracken

Das älteste und einfachste Crack-Verfahren ist das thermische Cracken. Hohe Temperaturen bringen die großen Moleküle in so starke Schwingungen, dass ab etwa 360 °C die Bindungen zwischen den Kohlenstoffatomen zerbrechen. Dieser Vorgang spielt sich in den Röhren eines Spaltofens ab. Die Temperatur – sie kann bis zu 900 °C erreichen – und die Verweilzeit der Kohlenwasserstoffe im Crack-Ofen richten sich nach dem Ausgangsstoff und den gewünschten Produkten.

## Katalytisches Fließbett-Cracken

Ein wesentlich besseres Umwandlungsergebnis wird mit katalytischem Cracken erreicht. Als Einsatzprodukt werden dabei Vakuum-Gasöl und Rückstände mit niedrigem Metallgehalt verwendet, die, fein zerstäubt, in einen circa 700 °C heißen Katalysatorstrom eingedüst werden. Katalysatoren sind Stoffe, die allein durch ihre Anwesenheit chemische Reaktionen fördern, beschleunigen oder in eine bestimmte Richtung lenken, ohne sich dabei selbst zu verändern. Der Spaltprozess läuft in Kontakt mit dem heißen Katalysator in Sekundenbruchteilen ab. Noch im Reaktor werden Katalysator und Öldämpfe getrennt. Diese verlassen den Reaktor und werden in einem Trennturm in die

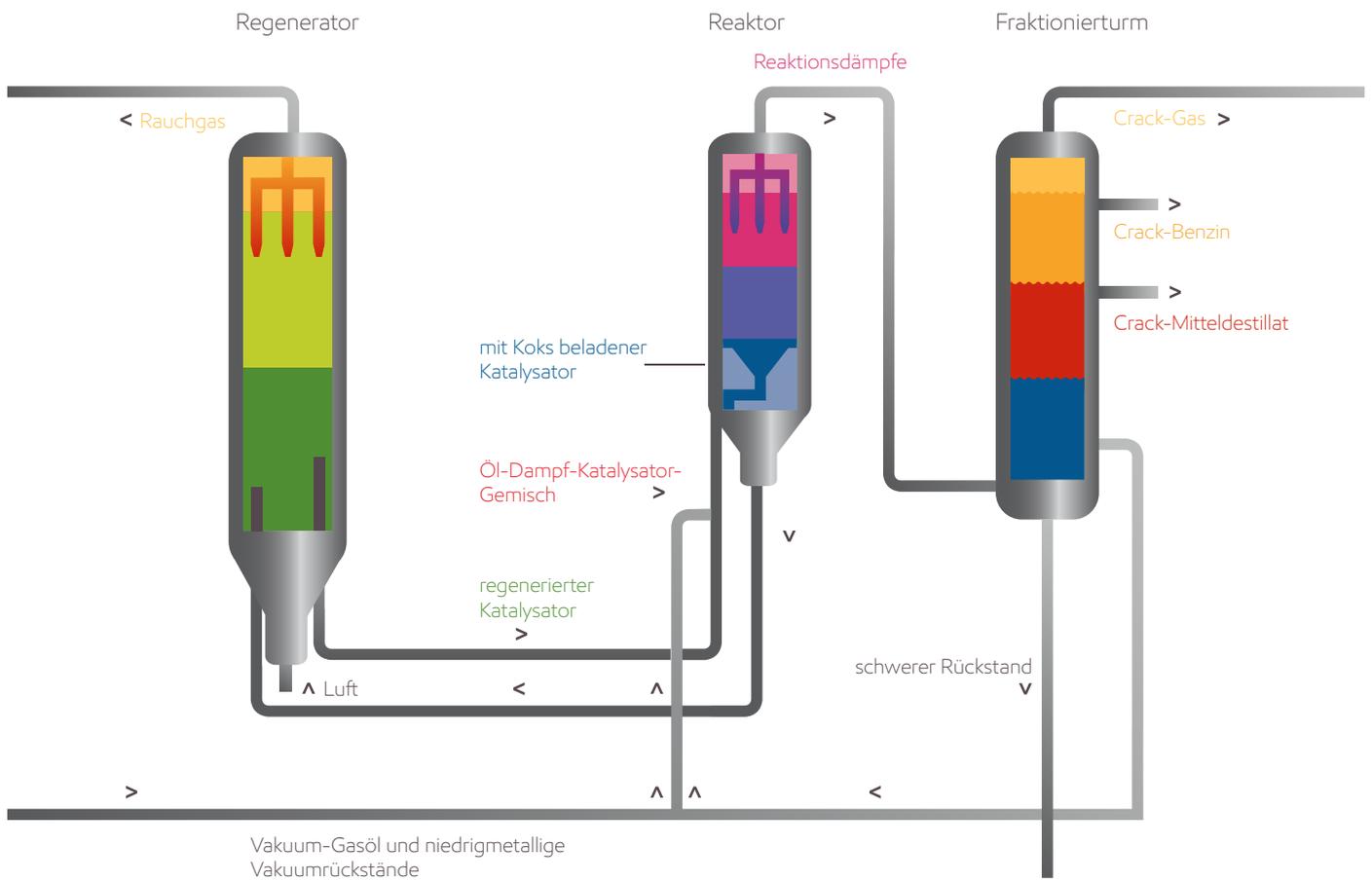
einzelnen Produkte zerlegt. Während des Crack-Vorgangs setzt sich auf dem Katalysator Kohlenstoff als Koks ab und nimmt dem Katalysator seine Wirkung. Er fällt im Reaktor nach unten. Der Koks wird im nachgeschalteten Regenerator abgebrannt, sodass der Katalysator wieder verwendet werden kann.

## Hydrocracken

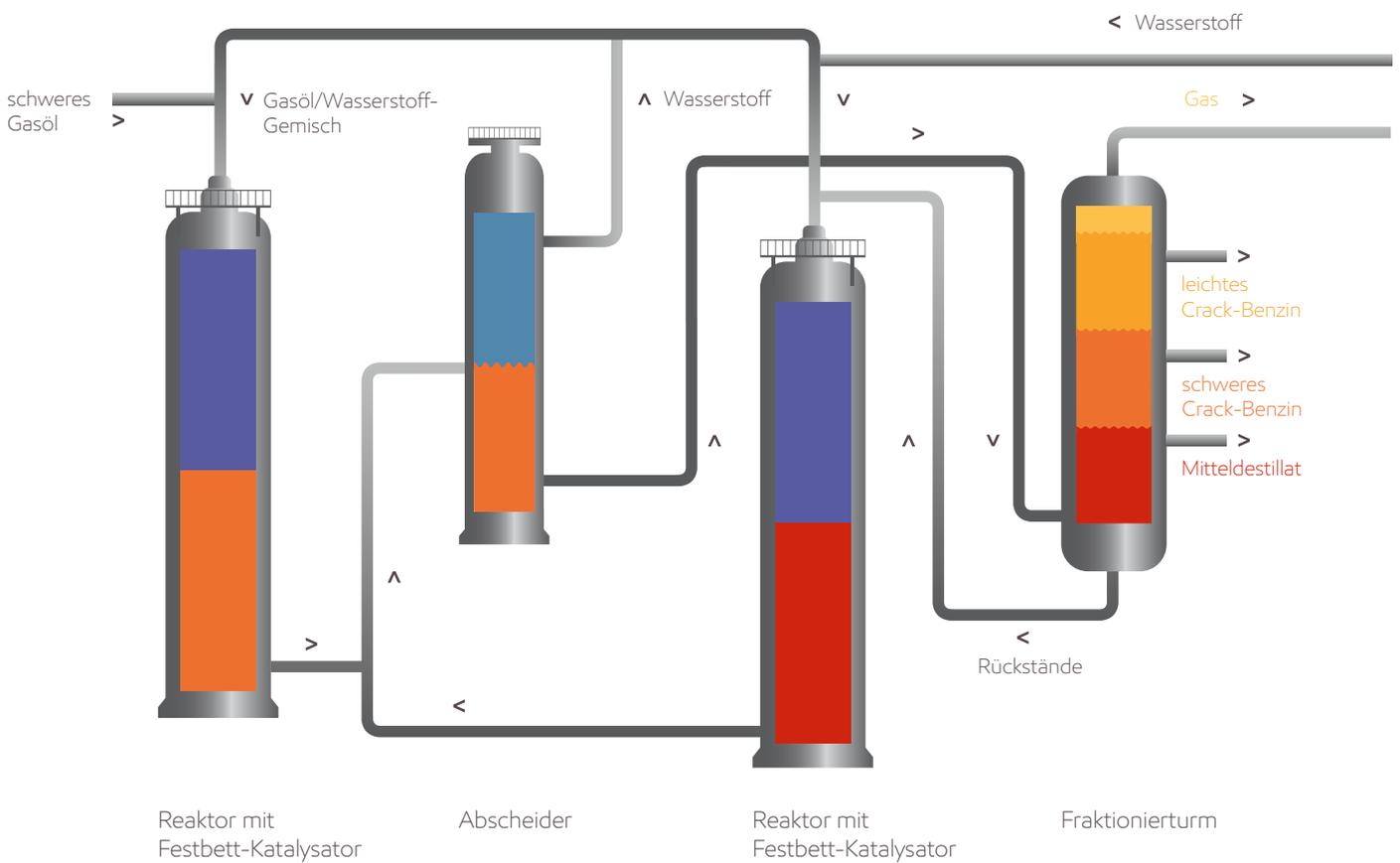
Das technisch eleganteste und flexibelste, zugleich aber auch teuerste Verfahren ist das Hydrocracken. Vakuum-Gasöl wird unter hohem Druck von etwa 100 bar mit Wasserstoff vermischt, erhitzt und durch einen mit einem Festbettkatalysator versehenen Reaktor geschickt. Danach gelangen die Kohlenwasserstoffe in den Abscheider, wo der überflüssige Wasserstoff abgetrennt und in den Kreislauf zurückgeführt wird, während die verbleibenden Moleküle im Fraktionierturm aufgeteilt werden. Die schweren Rückstände, die nach der Fraktionierung verbleiben, werden zu einer weiteren Behandlung in einen zweiten Reaktor gegeben. Das Hydrocracken hat den Vorteil, dass sich je nach Katalysator und Betriebsbedingungen die gewünschte Ausbeute steuern lässt. So können im Hydrocracker entweder fast ausschließlich Benzin oder vorwiegend Dieselkraftstoff und leichtes Heizöl bei einem geringen Benzinanteil gewonnen werden.

In Konversionsanlagen werden lange Kohlenwasserstoffmoleküle in kleinere gespalten.

## Katalytisches Fließbett-Cracken



## Hydrocracken

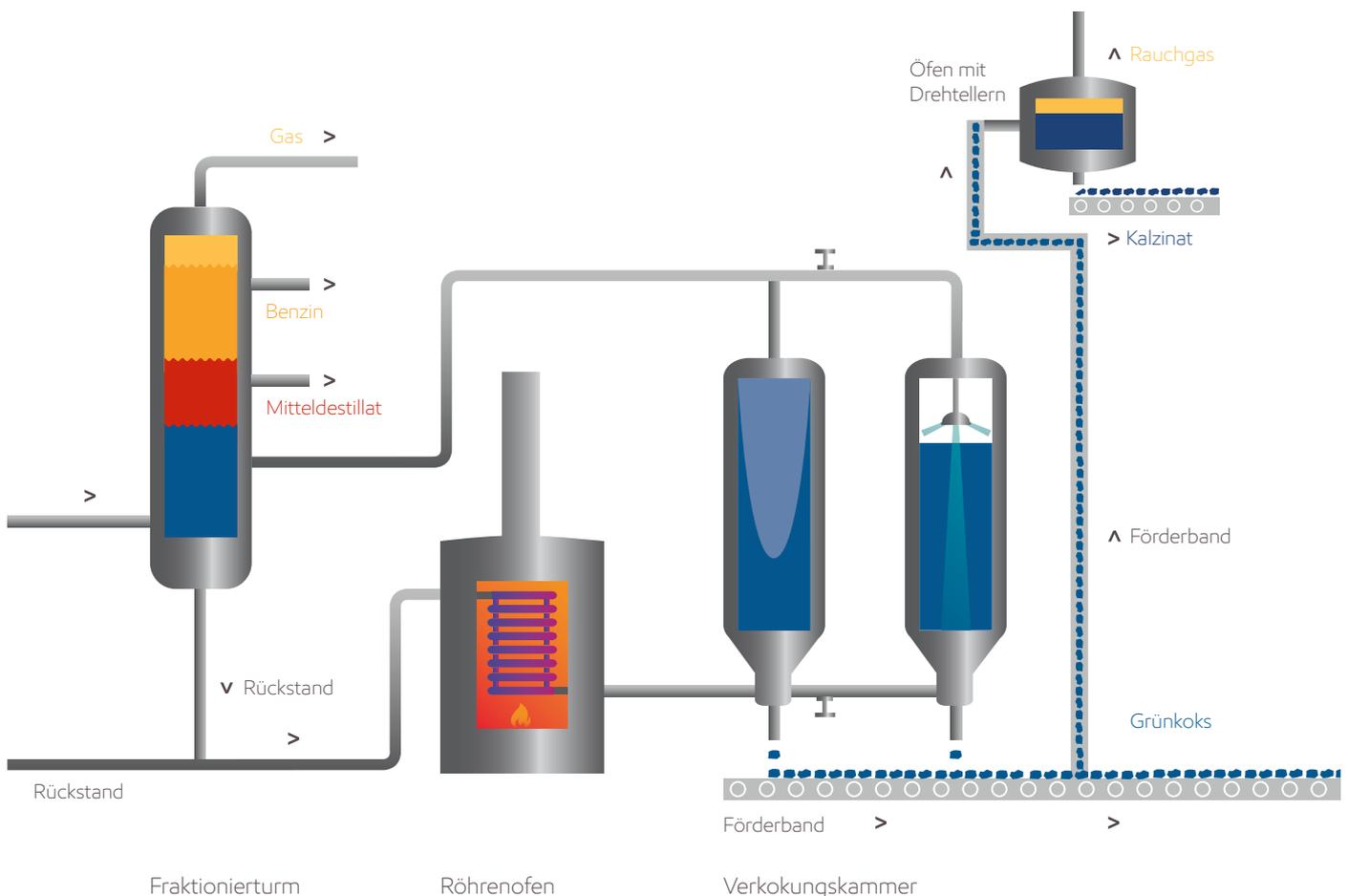


# Coker und Hydrofiner – hoher Druck und heiße Prozesse

## Coker

Coker machen auch aus sehr schweren Rückständen noch verwendbare Produkte. Benannt ist die Anlage nach dem Produkt, das während des Prozesses überwiegend entsteht, dem Petrolkoks. Um jedes Molekül des Rohöls verwenden zu können, werden Verfahren angewandt, die einen hohen Energiebedarf haben. Dieser wird unter anderem aus dem Raffineriegas gedeckt. Eines dieser Verfahren ist das Delayed Coking. Mit einem Druck von etwa 30 bar wird das Einsatzprodukt – zum Beispiel der Rückstand aus der Vakuumdestillation – in einen Ofen geleitet und auf etwa 500 °C erhitzt. Unter diesen Bedingungen durchströmt es den Ofen beinahe mit Schallgeschwindigkeit und verkockt beim Eintritt in die

Verkokungskammer, in der nur noch ein Druck von gut 4 bar herrscht. Jeweils eine dieser Kammern befindet sich in Betrieb, während aus der anderen der Koks mittels Wasser unter hohem Druck herausgeschnitten wird. Die leichten Kohlenwasserstoffe werden in einen Fraktionierturm geleitet. Der entstehende Petrolkoks wird Grünkoks genannt und kann nach dem Zerkleinern verkauft oder weiter veredelt werden. Letzteres geschieht in einem Kalzinierungsprozess, in dem bei Temperaturen von 1.200 °C in Öfen mit Drehrohren oder Drehtellern noch vorhandene Ölbestandteile abgebrannt und verkockt werden.

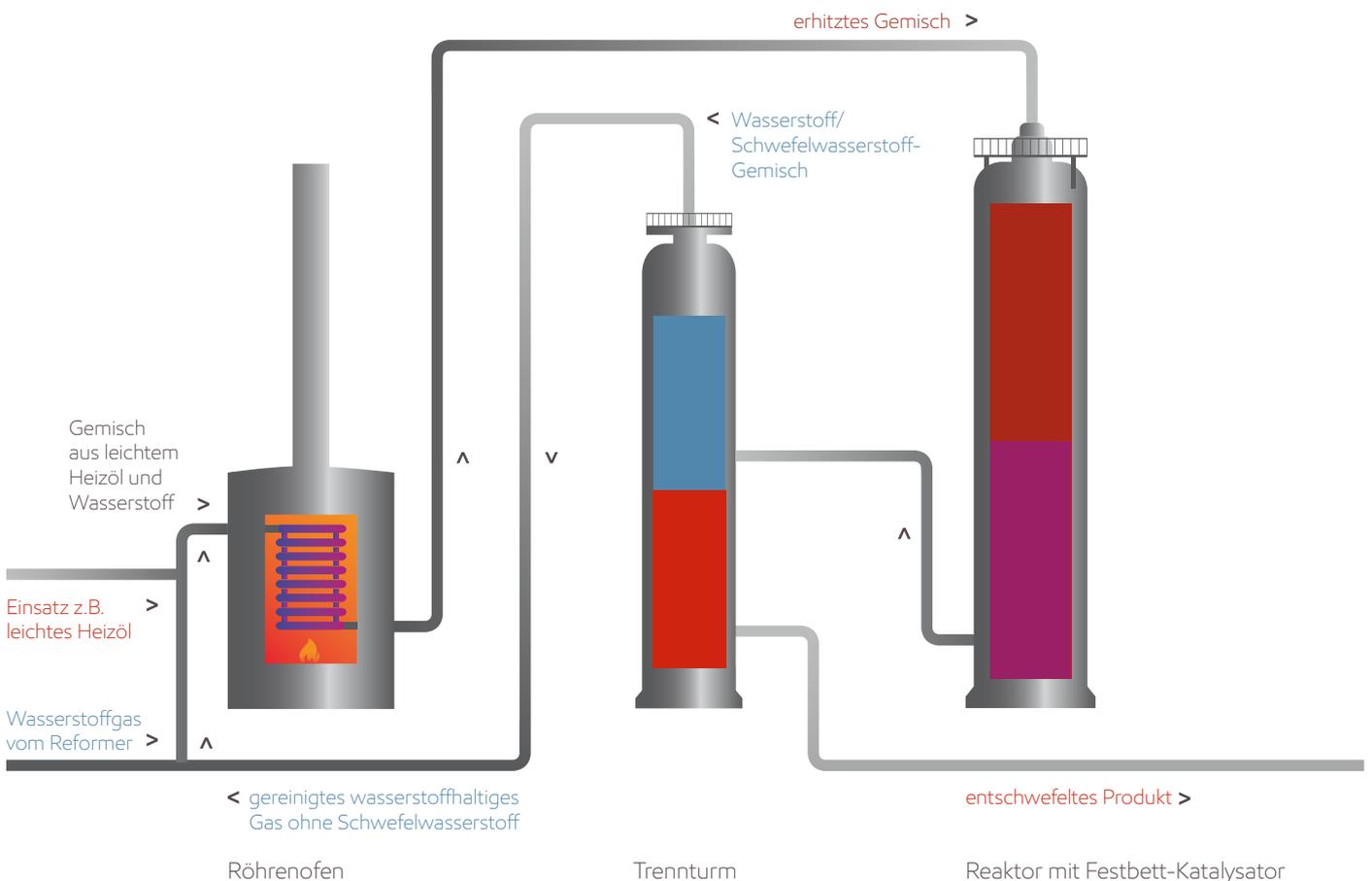


## Hydrofiner

Die Entschwefelung im Hydrofiner ist eines der wichtigsten Verfahren zur Beseitigung unerwünschter Bestandteile in Mineralölprodukten. Dies geschieht, da in den Endprodukten aus Umweltschutzgründen nur noch sehr wenig Schwefel enthalten sein darf. Die Produktströme werden dazu zunächst mit Wasserstoff vermischt, erhitzt und in einen Reaktor geleitet, der mit einem Katalysator gefüllt ist. Dort verbindet sich bei einer Temperatur zwischen 300 und 350 °C über dem Katalysator der Schwefel aus den schwefelhaltigen Produktmolekülen mit dem Wasserstoff zu Schwefelwasserstoff. Das Produkt, der Schwefelwasserstoff sowie der übrig gebliebene Wasser-

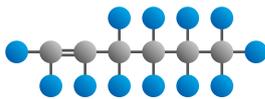
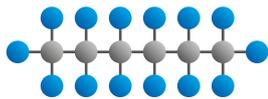
Im Hydrofiner, einer der wichtigsten Raffinerieanlagen, wird Benzin, Kerosin und Mitteldestillaten Schwefel entzogen.

stoff durchlaufen dann einen Trennturm. Die entschwefelten Produkte werden abgezogen und der Wasserstoff kehrt wieder an den Ausgangspunkt des Verfahrens zurück. Der Schwefelwasserstoff wird in einer weiteren Anlage, dem Clausofen, in elementarem Schwefel umgewandelt, der als Rohstoff von der chemischen Industrie genutzt wird.



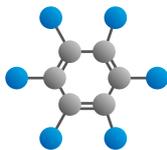
# Strukturbilder einiger Kohlenwasserstoffmoleküle

Normal-Paraffin  
HEXAN  $C_6H_{14}$



Mono-Olefin  
HEXEN  $C_6H_{12}$

Cycloparaffin  
CYCLOHEXAN  $C_6H_{12}$



Aromat  
BENZOL  $C_6H_6$

● Wasserstoffatom  
● Kohlenstoffatom



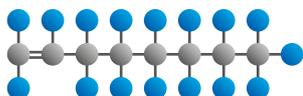
Vakuum-Gasöl, z.B. Pentaeikosan  $C_{25}H_{52}$  wird im katalytischen Cracker ge crackt



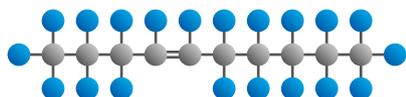
Propen  $C_3H_6$   
ungesättigtes Flüssiggas



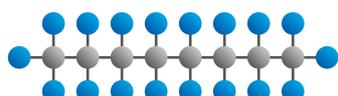
Butan  $C_4H_{10}$   
gesättigtes Flüssiggas



Okten-(1)  $C_8H_{16}$   
hochoktanige Benzinkomponente



Deken-(4)  $C_{10}H_{20}$   
hochoktanige Benzinkomponente



niederoktanige Benzinkomponente  
z.B. n-Okten  $C_8H_{18}$

●● Wasserstoff  $H_2$  zur Gasölschwefelung u.a.

Benzol  $C_6H_6$  hochoktanige  
Benzinkomponente



Ethan  $C_2H_6$   
Raffineriegas

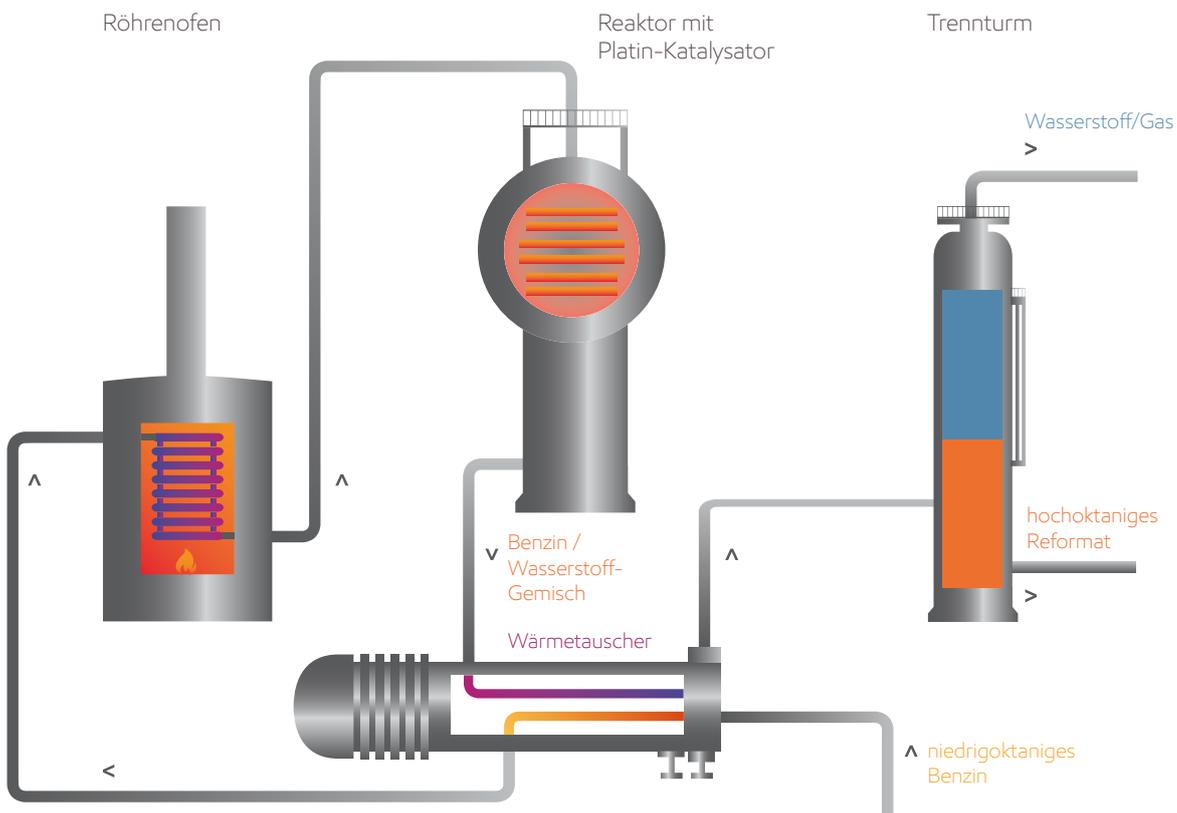
Strukturbilder einiger Kohlenwasserstoffmoleküle: Rohöl besteht hauptsächlich aus Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Der Kohlenstoff als „vierwertiges“ Element kann vier Verbindungen eingehen. Wasserstoff dagegen ist „einwertig“, er hat nur eine Bindungsmöglichkeit. Die Fähigkeit, Ringe und Ketten zu bilden, ermöglicht es beispielsweise, dass die acht Kohlenstoffatome, die in dem Kohlenwasserstoff Oktan in gerader Kette stehen, sich so unterschiedlich zu verzweigten Ketten verbinden können, dass sich 17 weitere verschieden aufgebaute Kohlenwasserstoff-Verbindungen mit je acht Kohlenstoffatomen ergeben. Bei einem Kohlenwasserstoffmolekül mit 25 Kohlenstoffatomen bieten sich theoretisch mehr als 36 Millionen Möglichkeiten. Daher gibt es viele tausend verschiedene Kohlenwasserstoffe: von den gasförmigen über die flüssigen bis hin zu den unter normalen Temperaturen festen Kohlenwasserstoffen, wie Bitumen. Nach ihrem Aufbau werden Kohlenwasserstoffe in vier Gruppen eingeteilt: Paraffine, Olefine, Naphtene und Aromaten.

# Reformer – Tuning fürs Benzin

## Reformer

Um Benzin als Kraftstoff für den Antrieb eines Autos verwenden zu können, müssen Mindest-Oktanzahlen eingehalten werden. Das wird durch die Zumischung hochoktaniger Komponenten erreicht. Dazu kommt der sogenannte Reformer zum Einsatz. In ihm wird Rohbenzin aus der Destillation erneut erhitzt. Die heißen Gase gelangen unter Druck in mehrere hintereinanderstehende Reaktoren. Die niedrigoktanigen Moleküle verlieren in Gegenwart eines Platinkatalysators einige ihrer Wasserstoffatome und werden zu hochoktanigen Benzinmolekülen, die man „Reformat“ nennt. Bei diesem Verfahren entsteht Wasserstoff. Er wird nach dem letzten Reaktor in einem Trennbehälter (Abscheider) von den Benzinmolekülen befreit und beispielsweise im Hydrofiner eingesetzt.

Das Reformieren ist ein wichtiger katalytischer Raffinerieprozess mit dem Ziel, die Oktanzahl des Benzins zu erhöhen.



# Produkte – für Haushalt und Industrie

Aufwändige Raffinerie-Prozesse sind erforderlich, damit aus Rohöl unterschiedliche Mineralölprodukte entstehen können. Sie stecken in Sportschuhen ebenso wie im Smartphone, im Rucksack und in der Bratpfanne und erleichtern damit unseren Alltag. Als Kraftstoffe garantieren sie die Mobilität und sorgen als Brennstoff in der Heizung für ein warmes Zuhause.

	Produkt	Verwendungszweck
	Propen (Propylen) Buten (Butylen)	Rohstoff für chemische Industrie (z. B. Weich- und Hartschaumstoffe, Acrylfasern, Synthesekautschuk, schlagfeste Kunststoffe)
	Flüssiggas (Propan, Butan)	Heizung in Haushalt, Freizeit (z. B. in Campinggasflaschen) und Gewerbe
	Autogas	Gemisch aus Propan und Butan für Kraftfahrzeuge
	Gas	Raffinerieeigenverbrauch
	Leichtbenzin	Rohstoff für chemische Industrie
	Super E10	Kraftstoff mit einer Oktanzahl von 95 (ROZ) und bis zu 10 % Bioethanol für Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren
	Super E5	Kraftstoff mit einer Oktanzahl von 95 (ROZ) und bis zu 5 % Bioethanol für Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren
	Superplus	Kraftstoff mit einer Oktanzahl von 98 (ROZ) für Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren
	Flugkraftstoff	Kraftstoff für Düsenflugzeuge
	Dieselmotorkraftstoff	Kraftstoff für Schiffe und Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren
	Leichtes Heizöl	Heizung in Haushalt und Gewerbe
	Schweres Heizöl	Strom- und Wärmeerzeugung im industriellen Bereich
	Schmieröl	Schmierstoffe für Industrie und Fahrzeuge
	Bitumen	Straßenbau (Asphalt), Dichtungsmaterial (z. B. Dachdichtungsbahnen), Isoliermaterial, Korrosionsschutz (z. B. Schutzanstriche für Kfz-Unterböden)
	Grünkoks	Brennstoff für die Industrie (z. B. Zementindustrie)
	Kalzinat	Elektroden für die Aluminiumindustrie
	Schwefel	Rohstoff für chemische Industrie (z. B. Autoreifen)

# Raffineriestandorte und Pipelines in Deutschland



Die Karte zeigt Standorte von Raffinerien und Pipelines in Deutschland. Aus allen Rohölsorten lassen sich die meisten Mineralölprodukte herstellen, wobei Kraft- und Brennstoffe zu den Hauptprodukten gehören.

Rohöl verarbeitende Raffinerien mit atmosphärischer Destillation (nach Jahresdurchsatzkapazität)



Kapazität: > 10 Mio. t/a



Kapazität: 5 - 10 Mio. t/a

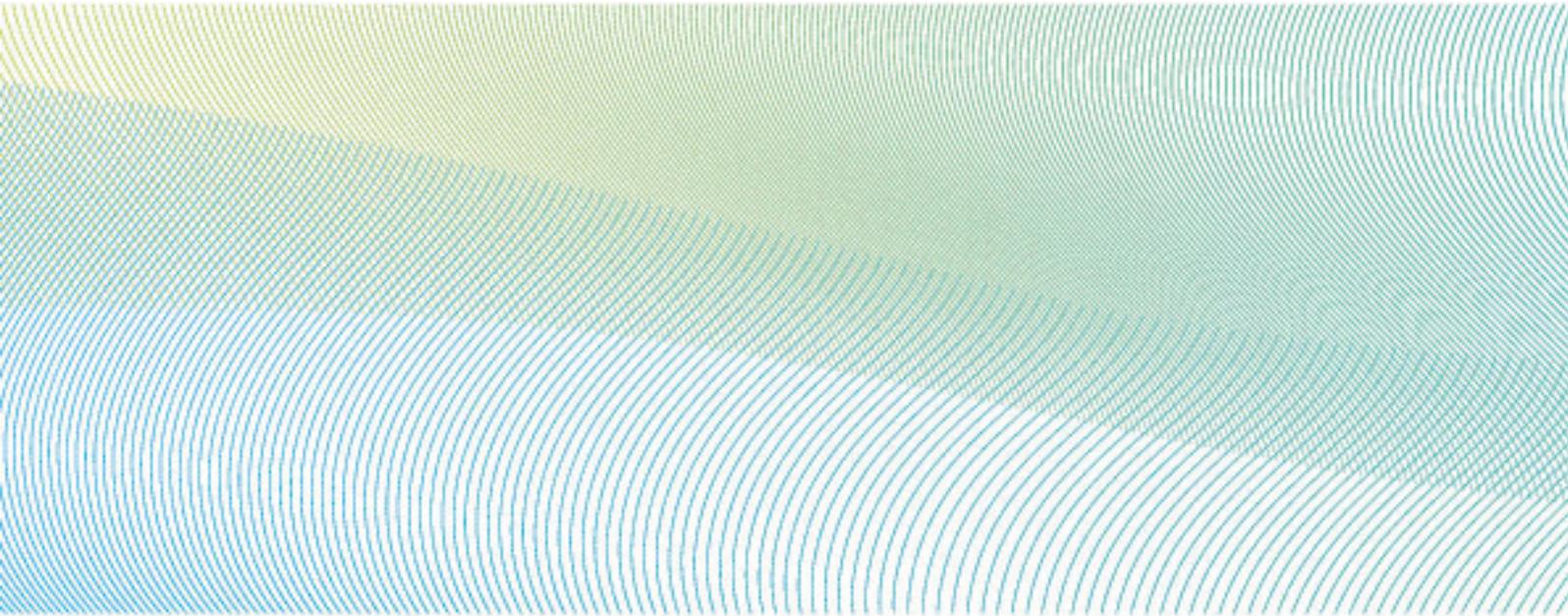


Kapazität: < 5 Mio. t/a

Rohölleitungen

Produktenleitungen

Stand: 31.12.2013  
Quelle: MWV



# ExxonMobil

**ExxonMobil Central Europe Holding GmbH**  
Caffamacherreihe 5  
D-20355 Hamburg  
Telefon: +49 (0) 40 63 93-0

© 2016 ExxonMobil Central Europe Holding GmbH.  
Nachdruck nur mit Genehmigung des Herausgebers.

**Herausgeber:**

ExxonMobil Central Europe Holding GmbH  
Caffamacherreihe 5, D-20355 Hamburg  
Dr. Heinrich Herm Stapelberg,  
Public and Government Affairs Manager  
Ann-Christin Meier, Advisor Communications Public  
and Government Affairs, Telefon: +49 (0) 40 63 93-0

[www.exxonmobil.de](http://www.exxonmobil.de)



[twitter.com/ExxonMobil\\_GER](https://twitter.com/ExxonMobil_GER)