

Inhalt

Vorwort	6
Gefahrenhinweise	7
Abkürzungen und Maßeinheiten	8
A Abgrenzung und Bedeutung der organischen Chemie	9
B Kohlenwasserstoffverbindungen	11
1. Alkane	11
1.1 Wichtige Vertreter	11
Methan (CH_4), Ethan (C_2H_6)	11
1.2 Nomenklatur der Alkane	13
1.3 Eigenschaften der Alkane	16
Siede- und Schmelztemperaturen, Löslichkeit	16
1.4 Reaktionsverhalten	19
Brennbarkeit, Substitution	19
1.5 Halogenalkane	21
Wichtige Vertreter der Halogenalkane, Umweltprobleme durch Halogenalkane	22
1.6 Cycloalkane	23
2. Alkene	25
2.1 Homologe Reihe der Alkene	25
Ethen (C_2H_4)	26
2.2 Reaktionsverhalten	26
Addition	26
3. Alkine	27
3.1 Ethin (C_2H_2)	28
4. Aromatische Verbindungen	29
4.1 Benzol (C_6H_6)	29
Strukturformel des Benzols, Bindungsverhältnisse, Reaktionen	29
4.2 Andere aromatische Verbindungen	33
Anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$), Toluol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$), Phenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), Kondensierte Ringsysteme	33
5. Kohlenwasserstoffe als Energieträger	37
5.1 Erdöl	38
Entstehung, Vorkommen und Förderung, Fraktionierte Destillation, Entschwefelung, Cracken, Benzinveredelung	38
5.2 Erdgas	44
5.3 Kohle	45
Entstehung, Kohleveredelung	45
5.4 Umweltprobleme durch fossile Brennstoffe	49
Treibhauseffekt, Schwefeldioxid und saurer Regen, Stickoxide in Autoabgasen	49

C	Sauerstoffhaltige organische Verbindungen	55
1.	Alkohole	55
1.1	Systematik und Nomenklatur	55
	Ein- und mehrwertige Alkohole, Primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole	56
1.2	Wichtige Vertreter	57
	Ethanol (C ₂ H ₅ OH), Methanol (CH ₃ OH), Glykol (1,2-Ethandiol – C ₂ H ₄ (OH) ₂), Glycerin (1,2,3-Propantriol) – C ₃ H ₅ (OH) ₃)	57
1.3	Eigenschaften	61
	Schmelz- und Siedetemperaturen, Wasserlöslichkeit, Brennbarkeit	61
1.4	Reaktionsverhalten	63
	Oxidierbarkeit, Alcotest, Alkoholatbildung	63
2.	Aldehyde und Ketone	65
2.1	Aldehyde	65
	Eigenschaften, Wichtige Vertreter, Reaktionen	66
2.2	Ketone	68
	Wichtige Vertreter, Reaktionen	69
3.	Carbonsäuren	70
3.1	Charakterisierung der Carbonsäuren	70
	Nomenklatur, Löslichkeit, Säurestärke	70
3.2	Wichtige Vertreter	73
	Monocarbonsäuren, Dicarbonsäuren, Aromatische Carbonsäuren	73
	Hydroxycarbonsäuren, Fettsäuren	73
4.	Ester	79
4.1	Esterbildung und Esterspaltung	79
	Verbesserung der Ausbeute, Nomenklatur, Nitroglycerin – ein gefährlicher Sprengstoff	80
4.2	Charakterisierung von Estern	82
D	Chemie der Biomoleküle	84
1.	Fette	84
1.1	Bedeutung der Fette	84
1.2	Charakterisierung von Fetten	85
	Schmelztemperaturen, Löslichkeit, Brennbarkeit, Fettspaltung, Iodzahl	85
1.3	Gewinnung und Verarbeitung	87
	Margarineherstellung	87
2.	Kohlenhydrate	88
2.1	Vorkommen und Bedeutung	88
2.2	Monosaccharide (Einfachzucker)	89
	Glucose (Traubenzucker), Fructose (Fruchtzucker)	89
2.3	Disaccharide (Zweifachzucker)	91
	Saccarose, Maltose (Malzzucker)	91
2.4	Polysaccharide	93
	Stärke, Cellulose	94

3. Aminocarbonsäuren und Eiweiße	96
3.1 Aminocarbonsäuren	96
Bedeutung, Benennung, Eigenschaften	98
3.2 Proteine	99
Bedeutung, Struktur, Nachweisreaktionen, Untersuchungsmethoden	100
<i>E Maßgeschneiderte Stoffe in Alltag und Technik</i>	106
1. Waschmittel	106
1.1 Herstellung von Seifen	106
1.2 Waschwirkung von Seifen	108
1.2.1 Waschvorgang	109
1.3 Nachteile der Seifen	109
1.4 Tenside – Synthetische Seifen	110
1.5 Umweltprobleme durch Spülmittel	112
2. Kunststoffe	114
2.1 Eigenschaften und Struktur	114
2.2 Synthesen	115
2.2.1 Polymerisation	115
2.2.2 Polykondensation	118
2.2.3 Polyaddition	119
<i>Stoffklassen und ihre funktionellen Gruppen im Überblick</i>	121
<i>Glossar</i>	122
<i>Lösungen</i>	125
<i>Register</i>	139
<i>Literaturverzeichnis</i>	144

5. Kohlenwasserstoffe als Energieträger

Erdöl, Erdgas und Kohle gehören zu den wichtigsten Energieträgern. Weil sie im Laufe von Jahrtausenden aus Pflanzen und Kleinlebewesen entstanden, nennt man sie auch **fossile* Energieträger**. Diese Stoffe setzen bei der Verbrennung direkt Energie frei; sie gehören deshalb zu den **Primärenergieträgern**. Aber nur das Erdgas – und teilweise auch Kohle – wird unmittelbar in größeren Mengen verbrannt.

**Primärenergie-
träger**

Erdöl und Kohle werden in andere, veredelte Produkte wie Koks, Kokereigas, Benzin, Heizöl und Synthesegas überführt. Diese werden dann als **Sekundärenergieträger** bezeichnet.

**Sekundärenergie-
träger**

Trotz vieler negativer ökologischer Folgen sind die fossilen Energieträger nach wie vor unsere Hauptenergiequelle. Mehr als ein Drittel des momentanen Primärenergieverbrauchs wird durch Erdöl gedeckt. An zweiter und dritter Stelle folgen Kohle und Erdgas.

Anteil der verschiedenen Energieträger am Welt-Primärenergieverbrauch (in Prozent)

Energieträger	1971	1991	2000	2010
Mineralöl	47,9	39,2	38,6	37,2
Kohle	30,9	29,0	28,7	29,1
Erdgas	18,4	22,0	22,1	23,5
Kernenergie	0,6	7,0	6,9	6,1
Wasserkraft und sonstige	2,2	2,8	3,7	4,1
Insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0
Mio. t ÖE¹⁾	4859,0	7845,0	9144,0	11 560,0

¹⁾ Umrechnung aller Energieträger in Öleinheiten (ÖE)

Daneben ist Erdöl der wichtigste Grundstoff für die chemische Industrie (Petrochemie), in der fast 10 % des Erdöls verbraucht werden. Fast alle Kunststoffe und ein Drittel aller Textilfasern gehen auf Erdöl als Ausgangsstoff zurück.

5.1 Erdöl

Erdöl ist ein Gemisch, das vorwiegend aus flüssigen Kohlenwasserstoffen besteht.

5.1.1 Entstehung

Erdöl ist im Verlauf von Millionen von Jahren aus toten Organismen unter dem Einfluss von hohem Druck, hoher Temperatur und der Mitwirkung von Bakterien entstanden. Eine Unmenge von Lebewesen, vor allem Kleinlebewesen wie Algen, Bakterien und Pilzen, sanken nach ihrem Absterben auf den Grund des Meeresbodens. Schlamm-, Sand- und Tonmassen, die von den Flüssen aus dem Landesinneren herangeführt wurden, überlagerten die abgestorbenen Lebewesen. Unter Luftabschluss fand eine Zersetzung zu Faulschlamm statt. Durch Überlagerung mit Gesteinsmassen und durch Hebungen und Senkungen der Erdkruste kam es zu einer Verdichtung des Materials. Schließlich entstand aus dem Faulschlamm allmählich Erdöl.

5.1.2 Vorkommen und Förderung

Erdöl lagert in porösen Gesteinsschichten, zwischen undurchlässigen Ablagerungen, wo es sich im Laufe von Jahrtausenden angesammelt hat. Die Erdöl führenden Schichten, die sogenannten „Ölfallen“, befinden sich oft in großer Tiefe.

Ölfallen

Die durchschnittliche Bohrtiefe beträgt heute etwa 2000 Meter. Auf der Suche nach dem knapper werdenden Erdöl hat man aber schon Bohrlöcher bis in eine Tiefe von 8000 Metern getrieben. Die Lagerstätten des Erdöls stehen häufig unter einem natürlichen Druck (zum Beispiel durch gleichzeitig vorhandenes Erdgas). Deshalb dringt anfangs das Öl durch

das Bohrloch von selbst an die Oberfläche. Durch Einpressen von Wasser oder Erdgas kann der nachlassende Druck ausgeglichen werden. Bei nicht ausreichendem oder zu stark abgesunkenem Druck muss das Erdöl durch Pumpen gefördert werden. Vor dem Abtransport wird das Erdöl entgast (gelöstes Erdgas) und entwässert. Außerdem müssen darin schwebende Feststoffe (zum Beispiel Sand) abgetrennt werden.

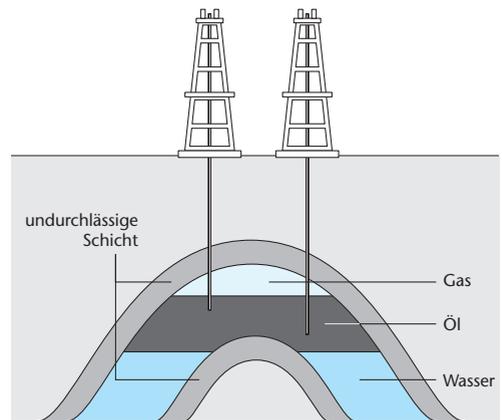


Abb. 27
Ölfalle

Das Erdöl kann in den allermeisten Fällen nicht dort verarbeitet werden, wo es gefördert wird. Deshalb wird es entweder in riesigen Tankschiffen über die Meere zu den Verbraucherländern transportiert oder auf dem Festland in großen Rohrleitungen (Pipelines) befördert.

Der Öltransport stellt eine erhebliche Gefährdung der Umwelt dar: Das Leben in den Ozeanen wird durch auslaufendes Öl aus verunglückten Tankern schwer bedroht. Auch das Grundwasser und damit die Trinkwasserversorgung wird durch Ölnfälle auf dem Festland, vor allem durch undichte Pipelines, gefährdet. Ein einziger Liter Öl reicht aus, um mehrere Millionen Liter Trinkwasser zu verunreinigen.

5.1.3 Fraktionierte Destillation

Erdöl setzt sich aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Kohlenwasserstoffverbindungen zusammen, von denen jede eine andere Siedetemperatur besitzt. Durch Destillation* wird es in die unterschiedlichen Fraktionen* aufgeteilt.

Fraktionierte Destillation ist die stufenweise Auftrennung eines Stoffgemisches aufgrund der verschiedenen Siedetemperaturen seiner Bestandteile.



In Fraktioniertürmen der Raffinerien wird die fraktionierte Destillation durchgeführt. Die bis zu 60 Meter hohen Türme sind oft schon von weitem als Wahrzeichen einer Erdölraffinerie* zu sehen. In Abständen von knapp einem Meter ist jeder Fraktionierturm von zahlreichen Böden unterteilt. Jeder Boden ist mehrmals durch Öffnungen durchbrochen, über die sich glockenförmige Gehäuse stülpen (Glockenböden). Von unten nach oben wird so der Dampf durch die Glockenböden geleitet.

Fraktioniertürme

Das Erdöl wird zunächst im Röhrenofen auf 350 bis 400 °C erhitzt und dann von unten her in den Fraktionierturm, der auch Destillationsturm genannt wird, geleitet.

Die verdampften Bestandteile des Erdöls durchströmen in jedem Boden das

sich dort ansammelnde Kondensat*. Dabei werden die Dämpfe abgekühlt. Die Fraktionen mit hohen Siedetemperaturen sammeln sich in den unteren Böden an. Je flüchtiger* ein Stoff ist, desto weiter oben kondensiert er. Auf

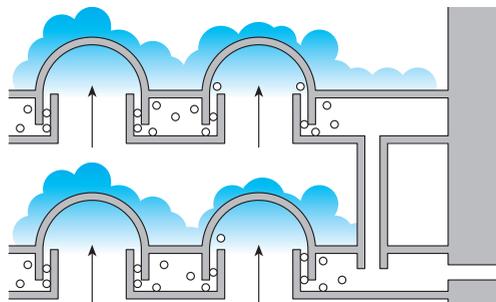


Abb. 28
Glockenböden

jedem Boden sammeln sich also diejenigen Verbindungen an, die bei der dort herrschenden Temperatur gerade kondensieren.

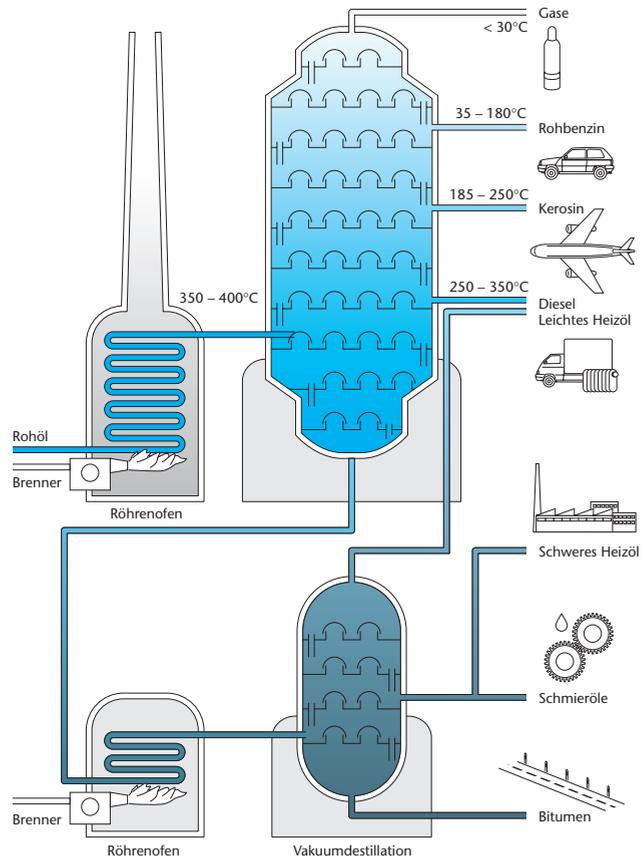


Abb. 29
Destillierturm mit Anwendungsbereichen der Fraktionen

atmosphärische Destillation

Kohlenwasserstoffe mit Siedetemperaturen unter 30 °C verlassen den Fraktionierturm ganz oben als Gas. Diese erste Verarbeitungsstufe des Erdöls erfolgt unter Atmosphärendruck* (**atmosphärische Destillation**).

Vakuum- Destillation

Bei der atmosphärischen Destillation bleibt ein Rückstand aus höher siedenden und zähflüssigen Anteilen, die ohne Zersetzung bei Atmosphärendruck nicht verdampfen. Man destilliert diese anschließend bei vermindertem Druck (**Vakuum-Destillation**). Dabei entstehen Schmieröle und schwere Heizöle. Der schwarze Rückstand, Bitumen genannt, wird als Straßenteer und zur Herstellung von Dachpappe verwendet.

Die bei der fraktionierten Destillation gewonnenen Erdölprodukte müssen noch durch verschiedene Veredelungsverfahren den Ansprüchen des Marktes und den Forderungen des Umweltschutzes angepasst werden.

5.1.4 Entschwefelung

Die Fraktionen enthalten bis zu 7% chemisch gebundenen Schwefel, der bei der Verbrennung als Schwefeldioxid (SO_2) entweicht. Dies ist ein Reizgas, das besonders die Schleimhäute der Atemwege angreift. Auch Pflanzen, besonders Nadelbäume, werden dadurch geschädigt (siehe Kap. B 5.4.2). Aus diesem Grund werden die Erdölfraktionen unter Verwendung von Katalysatoren* bei hohem Druck mit elementarem Wasserstoff erhitzt. Dabei entsteht Schwefelwasserstoff (H_2S), der durch Oxidation in ungefährlichen elementaren Schwefel überführt wird. Dieser als Nebenprodukt anfallende Schwefel wird von den Erdölraffinerien an die chemische Industrie verkauft.

Vereinfachtes Prinzip der Reaktion von schwefelhaltiger Kohlenwasserstoffverbindung mit Wasserstoff:



5.1.5 Cracken

Durch die stete Weiterentwicklung der Kraftfahrzeugindustrie und der Flugtechnik steigt der Bedarf an Benzin ständig an. Die bei der Destillation anfallenden Benzinfraktionen reichen bei weitem nicht aus, die erforderlichen Kraftstoffe zu liefern. Der Anteil an niedrig siedenden (also kurzkettigen) Kohlenwasserstoffen, die direkt als Kraftstoffe für Otto-Motoren verwendet werden können, liegt durchschnittlich bei 20%, manchmal auch unter 10%. Andererseits ist der Gehalt an langkettigen Kohlenwasserstoffen weit größer als deren Bedarf. Deshalb wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem im Prinzip länger-kettige Kohlenwasserstoffe in kürzerkettige, niedrig siedende aufgespalten werden. Dabei entstehen teilweise auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Dieser Prozess wird **Cracken** genannt (engl.: to crack = zerbrechen).

Das älteste und einfachste Verfahren ist das thermische Cracken: Durch hohe Temperaturen (ca. 500°C) geraten große Kohlenwasserstoffmoleküle in

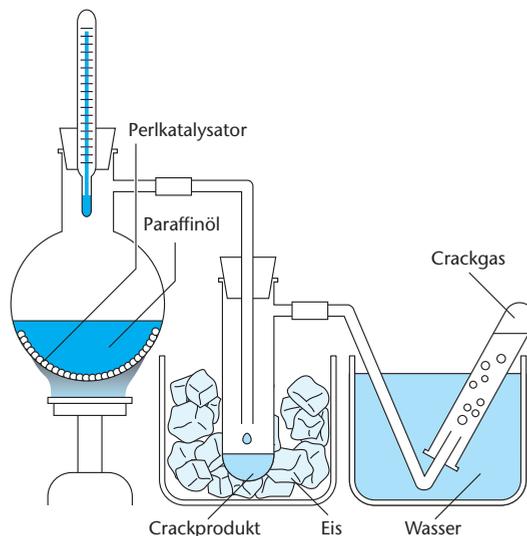


Abb. 30
Modellversuch zum Cracken

thermisches
Cracken

katalytisches Cracken

Schwingungen und zerreißen dabei, sodass kleinere Moleküle entstehen. Heute hat sich das katalytische Cracken durchgesetzt. Mithilfe von geeigneten Katalysatoren kann bei niedrigen Temperaturen gecrackt werden.

Im dargestellten Modellversuch (vgl. Abb. 30) wird Paraffinöl in Gegenwart eines Perlkatalysators stark erhitzt. Die gasförmigen Crackprodukte kondensieren teilweise in einem mit Eis gekühlten Reagenzglas. Die entstehenden Crackgase, die einen sehr niedrigen Siedepunkt haben, werden in einem mit Wasser gefüllten Reagenzglas aufgefangen.

5.1.6 Benzinveredelung

Die bei der fraktionierten Destillation anfallenden Produkte können in verschiedener Hinsicht die Ansprüche der Verbraucher nicht mehr erfüllen. Besonders die Entwicklung von besseren Otto-Motoren erfordert ein qualitativ hochwertiges Benzin mit hoher Klopfestigkeit.

Was versteht man unter Klopfestigkeit?

In den Zylindern der Otto-Motoren wird durch einen Kolben, der sich nach oben bewegt, ein Benzin-Luft-Gemisch verdichtet. Am Punkt der maximalen Verdichtung entzündet der Funke der Zündkerze das Gemisch. Ein Klopfen des Motors ist dann zu hören, wenn gegen Ende des Kolbenhubs im Zylinder des Otto-Motors das komprimierte Benzin-Luft-Gemisch sich von selbst entzündet. Diese Reaktion erzeugt eine Druckwelle, die der eigentlichen Flammenfront vorausseilt, ein Vorgang, der das Klopfen bzw. Klingeln verursacht. Dies mindert nicht nur die Leistung des Motors, sondern führt auch zu einem erhöhten Verschleiß.

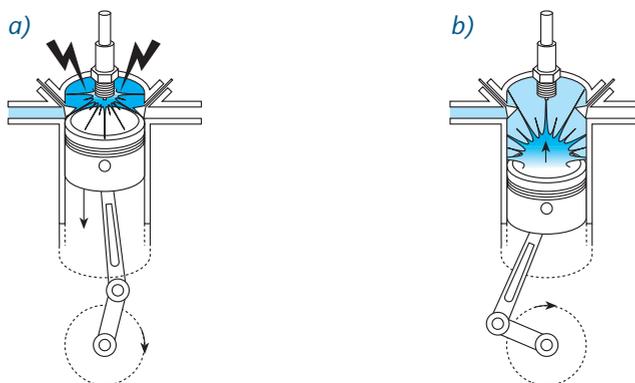


Abb. 31

a) Vorgänge im Kolben bei der Zündung durch den Funken der Zündkerze

b) Vorgänge im Kolben bei der vorfrühen Zündung vor der maximalen Verdichtung