Die Chemie des Erdöls

Grellert Hauschild Ziemann



Die Chemie des Erdöls

Rosemarie Grellert · Günter Hauschild · Joachim Ziemann

Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1984

Autoren:

Dr. paed. Rosemarie Grellert (Kapitel 1. bis 5.)
Oberlehrer Günter Hauschild (Kapitel 6.)
Dr. paed. Joachim Ziemann (Kapitel 1. bis 5.)

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Lehrmaterial für den fakultativen Kurs „Chemie des Erdöls" in den Klassen 9 und 10 bestätigt.

©Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin 1980
3. Auflage
Ausgabe 1980
Lizenz Nr. 203 · 1000/84 (UN 031714-3)
LSV 0645
Redaktion: Dieter Hron, Edward Gutmacher
Zeichnungen: Heinrich Linkwitz
Einband und typografische Gestaltung: Atelier vwv, Wolfgang Lorenz
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Schrift: 10/12 Gill Monotype
Redaktionsschluß: 1. Juni 1984
Bestell-Nr. 7071674
00340

Inhalt

Zur Benutzung des Buches 7

1. **Erdöl und Erdgas in der Volkswirtschaft der DDR** 9
1.1. Zusammensetzung und Eigenschaften von Erdöl und Erdgas . . . 10
1.2. Bedeutung und Verwendung von Erdöl und Erdgas in der Industrie 16
1.3. Die Zusammenarbeit der sozialistischen Staaten bei der Erschließung und Nutzung von Erdöl- und Erdgasvorkommen 19
1.4. Machtkämpfe der kapitalistischen Erdölmonopole 21

2. **Entstehung, Vorkommen, Förderung und Transport von Erdöl und Erdgas** 24
2.1. Entstehung und Vorkommen von Erdöl und Erdgas 24
2.2. Erkundung und Förderung von Erdöl und Erdgas 27
2.3. Transport von Erdöl und Erdgas 30

3. **Aufarbeitung des Erdöls** 34
3.1. Destillation 34
3.1.1. Einfache Destillation 34
3.1.2. Fraktionierte Destillation 35
3.1.3. Vakuumdestillation 37
3.1.4. Rektifikation 38
3.1.5. Technische Durchführung der Erdöldestillation 40
3.2. Kracken und Reformieren von Erdölfraktionen 44
3.3. Raffination von Erdölfraktionen 49

4. **Hauptprodukte der Erdölaufarbeitung** 53
4.1. Benzine 53
4.2. Dieselkraftstoffe 60
4.3. Schmieröle 62
4.4. Paraffin 66

5.	**Petrolchemie**	71
5.1.	Entwicklung der Petrolchemie in der DDR	71
5.2.	Nutzung der Rohstoffe Erdöl und Erdgas für die Herstellung petrolchemischer Grundstoffe	74
5.3.	Herstellung, Eigenschaften und Verwendung petrolchemischer Grundstoffe	76
5.3.1.	Alkane	76
5.3.2.	Alkene	76
5.3.3.	Aromaten	81
5.4.	Technische Herstellung petrolchemischer Grundstoffe	84
5.4.1.	Technische Herstellung von Normalparaffinen nach dem Parex-Verfahren	84
5.4.2.	Technische Herstellung von Alkenen (Olefinen) durch Pyrolyse-Prozesse	86
5.4.3.	Technische Herstellung von Aromaten nach dem Arex-Verfahren	86
5.5.	Wichtige Reaktionen petrolchemischer Grundstoffe	87
5.5.1.	Reaktionen der Alkane	87
5.5.2.	Reaktionen der Alkene	90
5.5.3.	Reaktionen der Aromaten	95
6.	**Plaste und Chemiefaserstoffe**	98
6.1.	Bedeutung der Plaste und Chemiefaserstoffe	99
6.2.	Eigenschaften wichtiger Plaste und Chemiefaserstoffe	102
6.3.	Chemische Grundlagen der Herstellung von Plasten und Chemiefaserstoffen	111
6.3.1.	Polymerisation	111
6.3.2.	Polykondensation	113
6.4.	Technische Herstellung einiger Plaste	119
6.4.1.	Polyvinylchlorid (PVC)	119
6.4.2.	Polyäthylen (Polyäthen)	122
6.4.3.	Phenoplaste	123
6.5.	Technische Herstellung der Polyakrylnitrilfaser	127
6.6.	Spinnverfahren zur Herstellung von Chemiefaserstoffen	128
Anhang		135
Literaturverzeichnis		140
Register		141

Zur Benutzung des Buches

Das Buch ist in 6 Kapitel gegliedert. Innerhalb der Kapitel folgen kurzen textlichen Erläuterungen, die durch eine Vielzahl von Beispielen, Übersichten und Tabellen ergänzt werden, experimentelle Aufgaben.

Die in einzelne Arbeitsschritte unterteilten Durchführungshinweise zu den Experimenten und die Angaben der benötigten Geräte und Chemikalien ermöglichen ein weitgehend selbständiges Experimentieren. Das Wort „Vorsicht" weist darauf hin, daß gesundheitsgefährdende Stoffe verwendet werden oder im Verlauf des Experimentierens Gefahren auftreten können. Durch „Gift 2" sind Stoffe gekennzeichnet, die laut Giftgesetz zu den Giften der Abteilung 2 gehören.

In der Auswertung der Experimente sind Beispiele für Berechnungen enthalten. Bei einigen Experimenten müssen vom Experimentierenden aus der experimentellen Aufgabenstellung die zur Durchführung des Experiments benötigten Geräte und die apparative Anordnung selbständig erarbeitet werden. Die vom Experimentierenden vorgeschlagenen Experimentieranordnungen werden vom Lehrer bestätigt beziehungsweise mit ausführlichen Experimentieranleitungen im Anhang des Buches verglichen und, wenn erforderlich, korrigiert.

In den Text sind Aufgabensymbole eingefügt. Die entsprechenden Aufgaben stehen jeweils am Ende eines Kapitels. Ein Literaturanhang weist auf weiterführende Literatur hin. Das Register am Ende des Buches ermöglicht eine schnelle Information über wichtige Begriffe.

In diesem Buch verwendete Symbole und Kurzzeichen:

- ▼ (1) Experimentelle Aufgaben und Anleitungen zum Experimentieren
- ① Aufgaben
- ▶ Zusammenfassungen und Merkstoff
- ■ Beispiele zur Erläuterung des Textes

↗	Hinweise auf andere Seiten des Buches und auf andere Schulbücher
LB	Lehrbuch
TW 7—10	Tafelwerk Mathematik-Physik-Chemie Klassen 7 bis 10
ChiÜb	Chemie in Übersichten
PhiÜb	Physik in Übersichten
WCh	Wissensspeicher Chemie
ChW	Die Chemie des Wassers
TCh	Tabellenbuch Chemie

1. Erdöl und Erdgas in der Volkswirtschaft der DDR

Unser Leben wird durch vielfältige Erzeugnisse der chemischen Produktion bereichert und verschönert. Dazu gehören zum Beispiel Plaste, Chemiefasern, Waschmittel, kosmetische Artikel, Pharmazeutika, Farben und Lacke, Lösungsmittel, Benzin, Dieselöl, Schmieröle sowie synthetischer Kautschuk. Viele dieser Produkte benutzen wir täglich, ohne daran zu denken, daß die Rohstoffe, aus denen sie hergestellt wurden, Erdöl beziehungsweise Erdgas waren (Abb. 1).
Es ist interessant, den Weg von der Gewinnung dieser Rohstoffe bis zu den genannten Produkten kennenzulernen. Ein Teil dieser Produkte wird direkt aus dem Erdöl durch einfache Trennverfahren gewonnen **(Erdölchemie).**
Zur Gewinnung anderer Produkte ist es erforderlich, die aus dem Erdöl gewonnenen Stoffe durch chemische Reaktionen weiter zu verändern **(Petrolchemie).** ① ↗ S. 22
Neben Kohle, Kalk, Wasser, Luft, Steinsalz, Anhydrit und anderen Rohstoffen werden in der chemischen Produktion **Erdöl** und **Erdgas** als Ausgangsstoffe verwendet. ② ③ ↗ S. 22
Noch im Jahre 1965 arbeitete nahezu die gesamte organisch-chemische Indu-



Abb. 1 Diese Produkte werden aus Erdöl oder Erdgas hergestellt.

strie der Deutschen Demokratischen Republik auf der Basis von Kohle. In der Folgezeit wurden, durch umfangreiche Importe aus der Sowjetunion ermöglicht, verstärkt Erdöl und Erdgas eingesetzt.

- Der Import von Erdöl in die DDR stieg von 1 Mill. t Erdöl im Jahre 1957 auf mehr als 19 Mill. t Erdöl 1980. Das bedeutet, daß durchschnittlich je Bürger der DDR jährlich etwa eine Tonne Erdöl importiert wird.

- Aus einer Tonne Erdöl können hergestellt werden:
  410 kg Kraftstoff
  410 kg Heizöl
  60 kg Bitumen und Schmierstoffe
  55 kg *organische Grundstoffe* (Ausgangsstoffe für die petrolchemische Industrie)

Aus 55 kg organischen Grundstoffen können folgende petrolchemische Produkte hergestellt werden:
30 kg Waschmittel
25 Dederonhemden oder 1000 Paar Damenstrümpfe
10 Polyesterpullover
90 Plasteeimer oder Verpackungsfolie für 10000 l Milch

Die etwa gleichbleibenden Importe an Erdöl und Erdgas und die angestrebte jährliche Förderung von etwa 300 Mill. t Rohbraunkohle reichen in den nächsten Jahren zur Deckung des Bedarfs der chemischen Industrie und der Energiewirtschaft an Rohstoffen nur aus, wenn mit diesen Stoffen sparsam umgegangen wird, ihr Einsatz sinnvoll erfolgt und der Verbrauch als Energieträger gesenkt wird. Darüber hinaus müssen neue Energiequellen erschlossen werden.
④ ↗ S. 22

1.1. Zusammensetzung und Eigenschaften von Erdöl und Erdgas

Erdöl und Erdgas sind natürlich vorkommende Stoffgemische, die im wesentlichen aus Kohlenwasserstoffen bestehen. Zu den Bestandteilen gehören sowohl kettenförmige Kohlenwasserstoffe (Alkane, Alkene) als auch ringförmige Kohlenwasserstoffe. ⑤ ↗ S. 22
Die Zusammensetzung von Erdöl und Erdgas ist in den einzelnen Lagerstätten sehr unterschiedlich. Die Hauptbestandteile von Erdölen sind gesättigte Kohlenwasserstoffe vom Pentan bis zu den langkettigen Alkanen, daneben ringförmige (zyklische) Verbindungen und in geringem Maße auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe (↗ Tab. 1).
Häufig im Erdöl vorhandene Kohlenwasserstoffe sind:
n-Hexan, 2.3-Dimethylbutan, 2.2.4-Trimethylpentan, Propan, Zyklohexan, Benzol und andere. ⑥ ↗ S. 22

Tabelle 1 Zusammensetzung des Erdöls ausgewählter Fördergebiete [11]

Fördergebiet	Dichte	Anteil in %		
	in g · cm^{-3}	C_6H_{14} ... C_8H_{18}	C_9H_{20} ... $C_{14}H_{30}$	ab $C_{15}H_{32}$
Baku (UdSSR)	0,86 ... 0,90	2 ... 10	25 ... 35	50 ... 65
Westukraine (UdSSR)	0,85 ... 0,90	0 ... 5	40 ... 55	40 ... 45
Romaschkino (UdSSR)	0,87	18 ... 20	31 ... 33	47 ... 49
Pennsylvanien (USA)	0,79 ... 0,82	10 ... 20	50 ... 70	10 ... 20
Kalifornien (USA)	0,90 ... 0,96	0 ... 2	35	65 ... 75

Wichtige Kohlenwasserstoffe des Erdgases sind Methan, Äthan, Propan und Butan. Die Zusammensetzung von Erdgas verschiedener Fördergebiete ist aus Tabelle 2 ersichtlich. ⑦ ↗ S. 23

Tabelle 2 Durchschnittliche Zusammensetzung der Erdgase verschiedener Fördergebiete [11]

Fördergebiet	Anteil in %						
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_nH_m	N_2	CO_2	He
Tjumen (UdSSR)	99,0	0,27	0,02	—	0,06	0,65	—
Westukraine (UdSSR)	97,4	0,5	0,3	0,5	1,3	—	—
Saratow (UdSSR)	93,2	0,7	1,7	—	4,4	—	—
Slochteren (Niederlande)	81,3	2,9	0,4	0,2	14,4	0,8	—
Bad Langensalza (DDR)	55,4	20,7	—	—	23,9	—	—
Volkenrode (DDR)	54,5	27,3	—	0,2	18,0	—	—
Mühlhausen (DDR)	51,7	5,8	—	1,1	40,2	1,2	—
Salzwedel (DDR)	34,6	0,4	—	—	64,7	0,3	—
Moreni (SR Rumänien)	74,0	24,0	—	—	—	2,0	Spuren
Dexter (USA)	14,9	0,4	—	0,2	82,7	—	1,8

Auch in unserer Republik wird Erdgas gewonnen (Abb. 2, S. 12).
Das Stoffgemisch Erdöl zeichnet sich durch charakteristische Eigenschaften aus, die je nach Zusammensetzung voneinander abweichen.
Solche Eigenschaften sind zum Beispiel *Farbe*, *Geruch*, *Löslichkeit*, *Dichte*, *Flammtemperatur*, *Brenntemperatur*, *Viskosität* und *Stocktemperatur*.

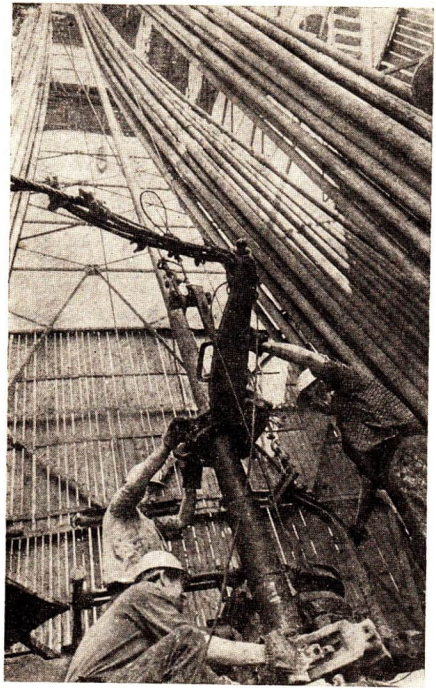


Abb. 2
Erschließungsbohrung einer Erdgasquelle im Bezirk Magdeburg

1 *Prüfen Sie Erdöl auf Farbe, Geruch und Lichtdurchlässigkeit!*

2 *Überprüfen Sie die Löslichkeit einer Erdölprobe in verschiedenen Lösungsmitteln, und tragen Sie die Ergebnisse in die vorgegebene Tabelle ein!*

Lösungsmittel	Wasser	Äthanol	Benzol	Tetrachlor-methan	Trichlor-methan
Löslichkeit					

3 *Weisen Sie in einer Erdölprobe die Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff qualitativ nach!*

Vorbetrachtung

1. Erläutern Sie die Begriffe Redoxreaktion, Oxydationsmittel, Reduktionsmittel! (↗ ChiÜb, S. 55)
2. Verwenden Sie beim Nachweisen der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff im Erdöl Kupfer(II)-oxid als Oxydationsmittel!
3. Überlegen Sie, welche chemischen Reaktionen ablaufen könnten!
4. Welche Produkte können entstehen, und wie kann man diese nachweisen?
5. Schlagen Sie eine Experimentieranordnung zur Durchführung des Experiments vor!

Durchführung

Führen Sie das Experiment nach Bestätigung durch den Lehrer mit der von Ihnen vorgeschlagenen Experimentieranordnung oder nach vorgegebener Anleitung (↗ Experiment A 1, S. 135) durch!

Auswertung

1. Nennen Sie Ihre Beobachtungsergebnisse!
2. Deuten Sie Ihre Beobachtungsergebnisse, und formulieren Sie die chemischen Gleichungen!

Bemerkung: Das Experiment dient dem qualitativen Nachweis der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff in organischen Verbindungen. Nach dem gleichen Prinzip lassen sich die Elemente bei veränderter Experimentieranordnung auch quantitativ nachweisen. ⑧ ↗ S. 23

■ Eine Elementaranalyse des in Schwedt verarbeiteten Romaschkino-Erdöls lieferte folgende Ergebnisse:

Kohlenstoff	83,87 %
Wasserstoff	12,34 %
Schwefel	1,82 %
Stickstoff	0,15 %
Sauerstoff	1,20 %

Als unerwünschte Begleitstoffe treten im Erdöl Wasser, Salze und schwefelhaltige Verbindungen auf.

Für die Weiterverarbeitung von Erdöl und Erdölprodukten ist die Kenntnis des Schwefelgehalts des Erdöls von Bedeutung.

4 ▼ *Weisen Sie in einer Erdölprobe Schwefel nach!*

Geräte: Halbmikro-Reagenzglas, Trichter mit Rundfilter, Halbmikro-Tropfer, Reagenzglashalter, Schutzbrille

Chemikalien: Erdöl, Natriumkarbonat, Kaliumnitrat, Bariumchloridlösung (10%ig), Chlorwasserstoffsäure (10%ig)

Durchführung

Achtung! Feuererscheinung, Schutzbrille verwenden!
1. Erhitzen Sie in einem schwerschmelzbaren Reagenzglas 0,1 ml Erdöl mit 0,5 g eines Gemisches aus gleichen Teilen Natriumkarbonat und Kaliumnitrat!
2. Lösen Sie nach dem Abkühlen die Schmelze im Wasser, und filtrieren Sie!
3. Tropfen Sie in das Filtrat einige Tropfen Chlorwasserstoffsäure, und versetzen Sie die Lösung danach mit Bariumchloridlösung (Vorsicht, Gift 2!)!

Auswertung

Es tritt eine Feuererscheinung auf. Der im Erdöl vorhandene Schwefel wird durch die Nitrat-Karbonat-Schmelze zu Sulfaten oxydiert.
Aus dem Filtrat fällt bei Zugabe von Bariumchlorid ein weißer Niederschlag aus. Barium-Ionen reagieren mit Sulfat-Ionen unter Bildung von schwerlöslichem Bariumsulfat. ⑨ ↗ S. 23

5 ▼ *Weisen Sie im Erdöl Schwefel nach!*

Geräte: 2 Halbmikro-Reagenzgläser, Trichter (d = 10 mm), Rundfilter, Becher (100 cm³), Halbmikro-Tropfer, Reagenzglashalter, Pinzette, Filterpapier, Messer

Chemikalien: Erdöl, Natrium, destilliertes Wasser, Blei(II)-azetatlösung (5%ig), Äthansäure (5%ig)

Durchführung

Beachten Sie die Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit metallischem Natrium! (Schutzbrille aufsetzen! Gummihandschuhe verwenden! Trockene Geräte verwenden!)
1. Entrinden Sie ein Stück Natrium auf Filterpapier, und geben Sie ein erbsengroßes Stück in ein trockenes Reagenzglas!
2. Fügen Sie 0,5 ml Erdöl zu, und erhitzen Sie das Reagenzglas bis zur schwachen Rotglut!
3. Tauchen Sie das Reagenzglas nach der Reaktion sofort in einen Becher mit 10 ml destilliertem Wasser!
Vorsicht! Das Glas zerspringt! Reste von Natrium können mit dem Wasser heftig reagieren!
4. Filtrieren Sie die Lösung von den Glassplittern und Kohlenstoffteilchen ab!
5. Tropfen Sie in das Filtrat einige Tropfen Äthansäure, und geben Sie danach Blei(II)-azetatlösung (Vorsicht, Gift 2!) zu!

Auswertung

Entsprechend der Masse im Erdöl enthaltener Schwefelverbindungen fällt ein schwarzer Niederschlag aus beziehungsweise tritt eine Braunfärbung der Lösung auf.

Beim Glühen mit Natrium wird der im Erdöl enthaltene Schwefel in Sulfid-Ionen überführt, die in wäßriger Lösung mit Blei(II)-azetat als Blei(II)-sulfid ausfallen.

$2\ Na + S \rightarrow 2\ Na^+ + S^{2-}$

$S^{2-} + Pb^{2+} \rightarrow PbS$

⑩ ↗ S. 23

Eigenschaften, die über Beschaffenheit und Verwendungsmöglichkeiten technischer Kohlenwasserstoffgemische (z. B. Vergaserkraftstoffe, Dieselkraftstoffe, Schmieröle) Auskunft geben, sind *Dichte*, *Flammtemperatur*, *Brenntemperatur*, *Viskosität* und *Stocktemperatur*. ⑪ ↗ S. 23

5
▼ *Bestimmen Sie die Dichte von Erdöl mit Hilfe selbst entworfener Experimentieranordnungen! Wenden Sie verschiedene Methoden an!*

▶ **Unter der Flammtemperatur (auch Flammpunkt) versteht man die niedrigste Temperatur, bei der eine Flüssigkeit Dämpfe entwickelt, die sich durch Entzünden an einer Flamme nachweisen lassen.**

▶ **Die Brenntemperatur (auch als Brennpunkt bezeichnet) ist die niedrigste Temperatur, bei der ein Stoff nach dem Entflammen weiterbrennt, auch wenn die Zündflamme entfernt wird.**

7
▼ *Ermitteln Sie Flamm- und Brenntemperatur einer Erdölprobe!*

Geräte: Dreifuß, Drahtnetz, Brenner, Porzellantiegel (d = 50 mm), Brenner, Laborthermometer (0/+ 400 °C), Eisenblech, Tiegelzange

Chemikalien: Erdöl

Durchführung

1. Füllen Sie den Porzellantiegel zu vier Fünfteln mit Erdöl, und stellen Sie ihn auf das Drahtnetz!
2. Befestigen Sie das Laborthermometer so an einem Stativ, daß die Kugel in das Erdöl taucht, doch nicht den Tiegel berührt!
3. Erwärmen Sie das Erdöl langsam, und beobachten Sie dabei das Thermometer!
4. Streichen Sie etwa alle 5 Sekunden mit einer kleinen Brennerflamme über die Erdöloberfläche!
5. Lesen Sie die Temperatur ab, wenn sich über dem Erdöl *kurzzeitig* eine Flamme bildet, die nach Entfernen der Zündflamme wieder erlischt!
6. Erhitzen Sie weiter, und lesen Sie die Temperatur ab, wenn durch die Zündflamme eine *bleibende* Flamme über dem Erdöl entzündet wird!
7. Beenden Sie das Experiment, indem Sie das Erwärmen einstellen und das Erdöl mit einem Eisenblech abdecken!

Auswertung

Vergleichen Sie die ermittelte Brenntemperatur des Erdöls mit der Flammtemperatur! ⑫ ↗ S. 23

Die *Viskosität* oder *Zähigkeit* ist insbesondere für die Beurteilung der Schmierfähigkeit von Stoffen bedeutsam.

▶ **Die Viskosität ist eine Eigenschaft der Stoffe, die durch Kräfte verursacht wird, die Moleküle, Atome oder Ionen wechselseitig aufeinander ausüben, sobald sie gegeneinander verschoben werden. Diese Kräfte werden auch als innere Reibung bezeichnet.**

Stoffe mit geringer Viskosität sind dünnflüssig, Stoffe mit hoher Viskosität zähflüssig. Zur Beurteilung zähflüssiger Stoffe dient unter anderem die *Stocktemperatur*.

▶ **Die Stocktemperatur (Stockpunkt) ist die Temperatur, bei der ein hochviskoser Stoff, zum Beispiel Öl, so steif wird, daß er nicht mehr fließt.**

Die Viskosität eines Stoffes ist stets von der Temperatur abhängig. Da diese Eigenschaften insbesondere beim Einsatz von Schmierstoffen zu beachten sind, werden Methoden ihrer Ermittlung im Abschnitt 4.3. behandelt.

1.2. Bedeutung und Verwendung von Erdöl und Erdgas in der Industrie

Erdöl und Erdgas werden als Rohstoffe für die chemische Industrie und zur Energiegewinnung verwendet. Der Einsatz von Erdöl und Erdgas zur Energiegewinnung muß in den nächsten Jahren stark verringert werden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Strukturentwicklung der Gebrauchsenergie in unserer Volkswirtschaft.

Tabelle 3 Entwicklung der Struktur der Gebrauchsenergie in der DDR [20]

Energieträger	Anteil in % in den Jahren		
	1965	1970	1975
Elektroenergie	8,7	10,2	12,3
Dampf, Heiß- und Warmwasser	20,8	22,0	23,0
Gasförmige Brennstoffe	7,2	6,8	8,8
Flüssige Brennstoffe	1,8	4,7	6,2
Treibstoffe	8,9	11,6	12,8
Feste Brennstoffe	52,6	44,7	36,9

Tabelle 4 informiert über den Anteil der verschiedenen Energieträger am Energieaufkommen (*Primärenergie*) der DDR. ⑬ ↗ S. 23

Tabelle 4 Entwicklung der Struktur des Primärenergieaufkommens in der DDR [10] [20]

Energieträger	Anteil in % in den Jahren		
	1960	1970	1975
Rohbraunkohle	78,0	73,8	65,0
Steinkohle	10,0	7,6	5,9
Erdöl	7,0	14,1	20,1
Erdgas	—	0,6	7,5
Sonstige Energieträger	5,0	3,9	1,5

▶ **Als Primärenergieträger bezeichnet man natürliche Energiequellen und natürlich vorkommende Stoffe, die zur Energiegewinnung verwendet werden.**

Im Weltmaßstab ist der Anteil des Erdöls und Erdgases am Primärenergieaufkommen noch wesentlich höher als in der DDR.

■ Der Anteil des Erdöls am Primärenergieaufkommen der Welt betrug bereits 1970 45% und der des Erdgases 20%.
In der Zukunft wird sich der Anteil des zur Energiegewinnung verwendeten Erdöls zugunsten des Einsatzes von Kohle, Kernbrennstoffen und anderen Energiearten verringern.

Auch in der DDR müssen Erdöl und Erdgas noch stärker als bisher petrolchemisch verarbeitet werden. Zur Energiegewinnung muß vorwiegend Rohbraunkohle eingesetzt werden.

■ So sollen in der DDR zum Beispiel jährlich etwa 300 Millionen Tonnen Braunkohle gefördert und der chemischen Industrie und Energiewirtschaft zur Verfügung gestellt werden.

Die Braunkohle bleibt damit in der DDR der wichtigste Primärenergieträger. ⑭ ⑮ ⑯ ↗ S. 23

Die Qualität eines Brennstoffes wird in erster Linie nach seinem *Heizwert* beurteilt.

▶ **Der Heizwert eines Brennstoffes ist der Quotient aus der Wärmemenge in Joule, die bei der vollständigen Verbrennung frei wird, und der entsprechenden Masse beziehungsweise dem Volumen der Brennstoffe.**

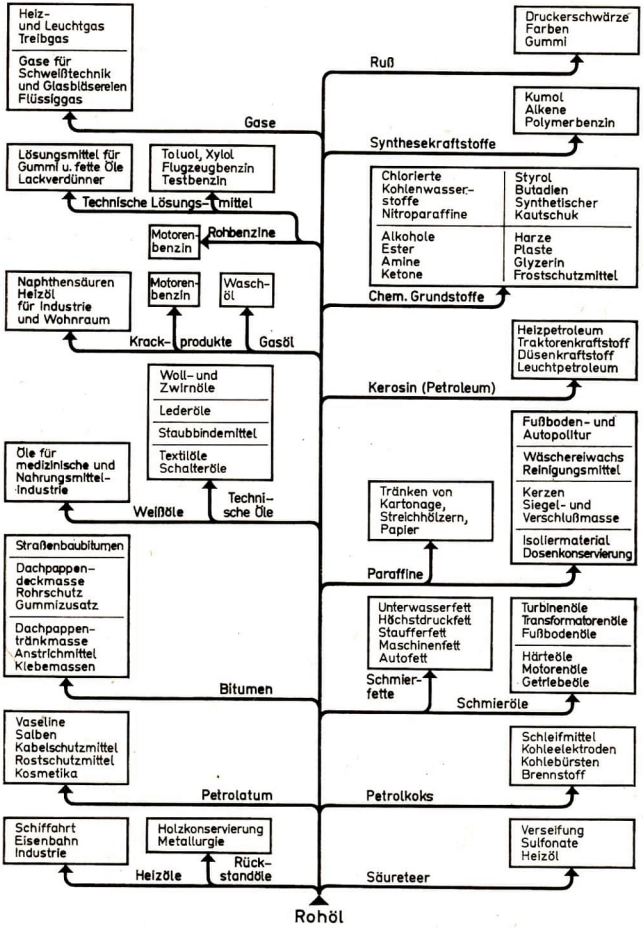


Abb. 3 Verwendung von Erdöl [22]

Informieren Sie sich über die Heizwerte wichtiger Brennstoffe, und vervollständigen Sie die Tabelle 5 (↗ Brockhaus ABC Chemie, Stichwort „Brennstoffe")!

Tabelle 5 Heizwerte verschiedener Brennstoffe [1]

Brennstoff	Heizwert in $kJ \cdot kg^{-1}$ ($kcal \cdot kg^{-1}$)	Brennstoff	Heizwert in $kJ \cdot m^{-3}$ ($kcal \cdot m^{-3}$)
Heizöl (aus Erdöl) Braunkohlenbriketts Rohbraunkohle Steinkohle	≈41 868 (10000)	Erdgas Wassergas Stadtgas Generatorgas	

⑰ ↗ S. 23

In der chemischen Industrie unserer Republik gewinnen Erdöl und Erdgas als *Rohstoffe* für die Herstellung zahlreicher Stoffe, sowohl End- als auch Zwischenprodukte, zunehmend an Bedeutung. Aus Erdgas wird zum Beispiel *Synthesegas* (↗ S. 76) hergestellt, das unter anderem der großtechnischen Gewinnung von Ammoniak und Methanol dient.
Aus der Abbildung 3 geht die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten der Produkte, die aus Erdöl gewonnen werden, hervor. Damit wird die Bedeutung des Erdöls für die zunehmende Chemisierung der Volkswirtschaft deutlich.
⑱ ⑲ ↗ S. 23

1.3. Die Zusammenarbeit der sozialistischen Staaten bei der Erschließung und Nutzung von Erdöl- und Erdgasvorkommen

Die weitere Verbesserung des Lebensniveaus der Bevölkerung setzt eine intensive Nutzung aller vorhandenen Naturreichtümer durch eine hochentwickelte Industrie voraus. Dabei müssen die einzelnen Staaten von sehr unterschiedlichen Voraussetzungen ausgehen. So besitzt zum Beispiel die DDR nur geringfügige Erdölvorkommen, während von einigen anderen Rohstoffen (Braunkohle, Stein- und Kalisalze) größere Lagerstätten vorhanden sind. Die sozialistische Staatengemeinschaft verfügt insgesamt über sehr große Vorräte an Bodenschätzen, die jedoch unterschiedlich auf die einzelnen Staaten verteilt sind.
Der Hauptanteil entfällt auf die UdSSR. Sie ist das an Roh- und Brennstoffen reichste Land der Erde. Andere Länder der sozialistischen Staatengemeinschaft beteiligen sich in der UdSSR an der Erschließung von Erdöl- und Erdgasvorkommen.

Tabelle 6 Übersicht der Entwicklung des RGW in verschiedenen Industriebereichen

Etappe	Zeitraum	Form der Zusammenarbeit
I 1949—1970	1949 bis Mitte der fünfziger Jahre	Gründung des RGW Koordinierung der Entwicklung des Handels Austausch von Produktionserfahrungen und wissenschaftlichen Informationen
	Mitte der fünfziger Jahre bis 1970	Beginn der Koordinierung der Volkswirtschaftspläne; Koordinierung der Entwicklung wichtiger Industriezweige
	1959—1963	Verbundnetz „Frieden"
	1963	Erdölleitung „Freundschaft"
	1963	Einrichtung der gemeinsamen Güterwagenparks (OPW)
	1969	Interchim (Chemieerzeugnisse)
II Ab 1971	1971 bis Mitte der siebziger Jahre	Eine qualitativ neue Etappe der Zusammenarbeit, die sozialistische ökonomische Integration, beginnt!
	1971	Verabschiedung des Komplexprogramms Beginn der Herausbildung tiefgehender und stabiler Verbindungen in den Hauptbereichen der Wirtschaft, Wissenschaft und Technik. Gemeinsame Inangriffnahme wichtiger Vorhaben in Wissenschaft und Produktion Zusammenarbeit von Forscher- und Produktionskollektiven verschiedener Länder
	1973	Assofoto (Fotochemie)
	1974	Interchemiefaser (synthetische Fasern)
	1974	Erdgasleitung „Nordlicht"
	1974	Domochim (Haushaltchemie)
	Ab Mitte der siebziger Jahre	Verwirklichung eines erstmals abgestimmten mehrseitigen Integrationsplans, der gemeinsame Investitionen zur Erschließung von Roh- und Brennstoffen in der UdSSR, gemeinsame Aufgaben in Forschung und Entwicklung und wichtige Maßnahmen zur internationalen Spezialisierung und Kooperation enthält Ausarbeitung langfristiger Zielprogramme für wichtige Bereiche der Volkswirtschaft
	1979	Inbetriebnahme der Erdgasleitung Orenburg–Westgrenze UdSSR (Drushba-Trasse)
	1979	Inbetriebnahme des Zellstoffkombinates Ust-Ilimsk (Ostsibirien)

(21) ↗ S. 23

Die Entwicklung der Zusammenarbeit der sozialistischen Staaten im Rahmen des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe ermöglicht eine raschere, kontinuierlichere wirtschaftliche Entwicklung der beteiligten Staaten (↗ Tab. 6). ⑳ ↗ S. 23

Unter den RGW- Mitgliedstaaten besitzt außer der Sowjetunion nur die sozialistische Republik Rumänien nennenswerte Vorkommen an Erdöl. Andere Staaten, wie die VR Bulgarien, die ČSSR, die DDR, die VR Polen, die Ungarische VR und Kuba, importieren Erdöl aus der UdSSR. Durch sowjetische Erdöl- und Erdgaslieferungen konnten in der DDR ab 1965 in zunehmendem Maße Erdöl und Erdgas als Rohstoffe und Energieträger verwendet werden.

1.4. Machtkämpfe der kapitalistischen Erdölmonopole

Die Bereitstellung von Erdöl und Erdgas erfolgt in der DDR zu mehr als 90% auf der Grundlage planmäßiger Lieferungen aus der UdSSR. Ein geringer Teil wird aus kapitalistischen Ländern importiert. Qualitätskriterien, Liefermassen und Preise für das von der Sowjetunion an uns gelieferte Erdöl sind in langfristig gültigen Verträgen festgelegt. Das ist bei den Lieferungen aus den kapitalistischen Ländern nicht der Fall. Dort werden alle Lieferbedingungen durch das Profitstreben internationaler Ölgesellschaften bestimmt, insbesondere durch die sogenannten „Sieben Spinnen".

Was verbirgt sich hinter dem Geheimnis der „Sieben Spinnen"? Erdöl steht in den kapitalistischen Ländern seit über 100 Jahren im Blickpunkt internationaler Machtkämpfe. Die Geschichte des Kampfes um Öl ist verknüpft mit der Herausbildung von sieben Supermonopolen, den „Sieben Schwestern" oder „Sieben Spinnen", die heute noch 90% der Ölgeschäfte der kapitalistischen Welt beherrschen. Diese „Sieben Spinnen" sind es, die den Siegeszug des Öls um die Welt gleichzeitig zu einem Siegeszug ihres Profits, ihres Einflusses und ihres Machtstrebens nutzten.

Zu den „Sieben Schwestern" gehören folgende Monopolgruppen: Exxon, Mobil Oil, Texako, Standard Oil of California, Gulf Oil (alle USA), Royal Dutch-Shell (Großbritannien–Niederlande), Britisch Petroleum Co. (Großbritannien). Die Nettogewinne dieser sieben Supermonopole stiegen stetig von 4.6 Mrd. Dollar 1972 auf 10 Mrd. Dollar 1979. Sie nutzen ihre ökonomische Macht aus, um politischen Einfluß auf viele Länder der Welt auszuüben.

In den Mittelpunkt des Interesses der imperialistischen Staaten und der Ölmonopole rückte nach 1945 das Öl im Nahen und Mittleren Osten. In diesem größten „Ölfaß" der Erde befinden sich über 60% der bisher erkundeten Erdölreserven der kapitalistischen Welt. Um dieses strategisch wichtige Gebiet weiterhin unter Kontrolle zu behalten, wenden die imperialistischen Staaten und die Ölmonopole vielfältige Mittel und Methoden an. In ihrer Politik des ökonomischen

Drucks und der politischen Erpressung gegenüber den erdölfördernden arabischen Ländern zur Aufrechterhaltung der Profitinteressen spielt insbesondere der Staat Israel eine wichtige Rolle. War es den ausländischen Ölgesellschaften vor Jahrzehnten noch möglich, im Nahen Osten unter Ausnutzung der wirtschaftlichen und militärischen Schwäche dieser Staaten Ölkonzessionen für Spottpreise zu „erwerben", so wird in jüngster Zeit ihr Einfluß Schritt für Schritt zurückgedrängt. ㉒ ㉓ ↗ S. 23

Eine wesentliche Maßnahme im Kampf um politische und ökonomische Selbständigkeit erdölfördernder Staaten ist die 1960 erfolgte Gründung der **OPEC** (Organisation of Petroleum Exporting Countries — Organisation der erdölexportierenden Länder).

In dieser Organisation haben sich bedeutende ölexportierende Länder mit dem Ziel der Koordination ihrer Erdölpolitik und der Durchsetzung ihrer Interessen gegenüber ausländischen Ölgesellschaften zusammengeschlossen. In der OPEC sind gegenwärtig 15 Länder organisiert: Venezuela, Algerien, Nigeria, Libyen, Saudi-Arabien, Irak, Iran, Kuweit, Katar, Abu Dhabi, Indonesien, Ekuador, Gabun, Trinidad, Tobago. Der Anteil dieser Länder am kapitalistischen Welterdölexport beträgt 85%.

Den OPEC-Staaten gelang es, die Macht der internationalen Ölkonzerne auf dem Gebiet der Erdölpolitik in diesen Ländern zurückzudrängen und im Bereich der Rohölförderung bereits weitgehend zu brechen.

In einer Reihe dieser Staaten, zum Beispiel in Algerien, Irak, Iran, Libyen und Venezuela, wurde das Eigentum der Ölkonzerne bereits nationalisiert und begonnen, eine nationale Erdölindustrie aufzubauen. Auch die Preise für *Rohöl* werden bereits zum größten Teil von den OPEC-Ländern in souveräner Entscheidung festgelegt. Auf dem Sektor der *Erdölverarbeitung* sichern sich die ausländischen Ölkonzerne jedoch zur Zeit noch sehr hohe Profite. ㉔ ↗ S. 23

Aufgaben zum Kapitel 1

① Nennen Sie weitere Produkte, die aus Erdöl oder Erdgas hergestellt werden!

② Führen Sie Beispiele für Produkte aus Kohle an!

③ Nennen Sie Aufgaben und Bedeutung der Erdöl- und Petrolchemie sowie der Kohlechemie!

④ Nennen Sie Beispiele für den wachsenden Energieverbrauch in Ihrem elterlichen Haushalt!

⑤ Nennen Sie Beispiele für unverzweigte kettenförmige und verzweigte kettenförmige sowie für ringförmige Kohlenwasserstoffe!

⑥ Geben Sie die Summen- und Strukturformeln der auf Seite 10 angeführten Bestandteile des Erdöls an!

⑦ Leiten Sie aus der Zusammensetzung der in Tabelle 2, Seite 11, aufgeführten Erdgase Schlußfolgerungen für die Verwendbarkeit dieser als chemische Rohstoffe und Heizgase ab!

⑧ Überlegen Sie, wie die Experimentieranordnung des Experiments 3 auf Seite 12 für den quantitativen Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff verändert werden muß!

⑨ Entwickeln Sie für den Sulfat-Nachweis des Experiments 4, Seite 13, die chemische Gleichung in Ionenschreibweise!

⑩ Warum fällt die Nachweisreaktion auf Schwefel bei raffinierten Erdölprodukten (↗ S. 49) negativ aus?

⑪ Definieren Sie den Begriff Dichte! (↗ TW 7—10; PhiÜb, S. 50)

⑫ Ordnen Sie das im Experiment 7, Seite 15, untersuchte Erdöl einer Gefahrklasse (↗ S. 57) zu!

⑬ Erläutern Sie die in Tabelle 3, Seite 16, dargestellte Entwicklungstendenz des Energieaufkommens in der DDR!

⑭ Nennen Sie Werke in der DDR, in denen Energie gewonnen wird!

⑮ Begründen Sie, weshalb der Rohstoff Kohle sowohl in der DDR als auch im Weltmaßstab so umfangreiche Verwendung findet!

⑯ Für welche Energiearten bestehen in der DDR Verbundnetze?

⑰ Warum werden für die in der Tabelle 5, Seite 19, angeführten Heizwerte unterschiedliche Einheiten verwendet?

⑱ Was verstehen Sie unter Chemisierung der Volkswirtschaft?

⑲ Widerlegen Sie die Behauptung, die Chemisierung der Volkswirtschaft stelle eine Gefahr für die Menschen dar!

⑳ Welche Staaten sind Mitglied des RGW?

㉑ Nennen Sie bedeutende RGW-Projekte auf dem Gebiet der Erdölchemie!

㉒ Nennen Sie aktuelle Beispiele für ökonomische Machtkämpfe sowie militärische und politische Auseinandersetzungen, bei denen internationale Ölmonopole eine Rolle spielen!

㉓ Warum ist das Erdöl aus dem Nahen und Mittleren Osten für die Ölkonzerne das billigste Öl und damit das beste Geschäft?

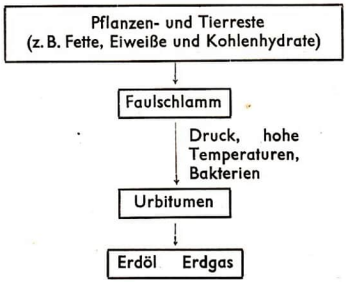
㉔ Berichten Sie über Aktionen der internationalen Ölmonopole gegen Beschlüsse der OPEC!

2. Entstehung, Vorkommen, Förderung und Transport von Erdöl und Erdgas

Erdöl und Erdgas sind für die Volkswirtschaft wichtige Rohstoffe und Energieträger. Aufgrund der vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten steigt der Bedarf an Erdöl und Erdgas. Immer neue Lagerstätten werden erschlossen. Um neue Vorkommen aufzuspüren, ist es notwendig, die Bedingungen der Bildung von Erdöl und Erdgas zu kennen.

2.1. Entstehung und Vorkommen von Erdöl und Erdgas

Die Wissenschaft geht heute davon aus, daß Erdöl und Erdgas in erdgeschichtlicher Vergangenheit durch chemische Reaktionen vor allem aus Fetten, Eiweißen, Kohlenhydraten und anderen Stoffen tierischer und pflanzlicher Organismen entstanden sind. Als Orte der **Entstehung** kommen insbesondere abgeschlossene Meeresteile, Lagunen und Buchten in Frage, wo das Wasser relativ sauerstoffarm war. Durch Anhäufung abgestorbener Meeresorganismen, vor allem Plankton, am Grunde stehender Gewässer bildete sich Faulschlamm, der durch anaerobe (ohne Sauerstoff lebende) Bakterien bei hohen Temperaturen und Drücken in Kohlenwasserstoffe und andere Verbindungen umgewandelt wurde. Diese Verbindungen werden als *Urbitumen* bezeichnet. ① ↗ S. 33
Durch Verfestigung von Faulschlämmen entstanden außerdem *Erdölmuttergesteine*, deren Poren vom Erdöl ausgefüllt waren. Die vorhandenen Lagerstätten des Erdöls sind in der Regel nicht die Orte der Entstehung. Im Verlaufe von gebirgsbildenden Bewegungen gerieten die Erdölmuttergesteine in Bereiche höherer Temperaturen und höheren Druckes. Das Erdöl wurde aus den Gesteinen ausgepreßt und wanderte in benachbarte großporige durchlässige Gesteine, wie lose Sande, Sandstein und Kalkstein. Die Wanderung des Erdöls hörte auf, wenn die erdölführenden Gesteine nach oben durch undurchlässige tonige Schichten abgeschlossen wurden. Das Erdöl verblieb in den *Speichergesteinen*, vor allem Kalk- und Sandsteinen des Untergrundes, die als Fangstrukturen oder Fallen bezeichnet werden.



Neben flüssigen Verbindungen des Erdöls entstanden auch gasförmige Alkane, die Hauptbestandteile des Erdgases sind. So enthalten Erdöllagerstätten auch Erdgasanteile (Abb. 4). ② ↗ S. 33

Möglichkeiten der Bildung von Erdöl und Erdgas waren im Laufe der geologischen Zeitalter (Erdaltzeit, Erdmittel- und Erdneuzeit) an vielen Stellen der Erde gegeben. Trotzdem sind die Lagerstätten auf der Erde sehr ungleich verteilt. ③ ④ ⑤ ↗ S. 33

Über reiche **Vorkommen** verfügen zum Beispiel die UdSSR, die Länder des Mittleren und Nahen Ostens, die USA sowie einige Länder Nordafrikas. Zahlreiche Vorkommen sind noch nicht erforscht. Jährlich werden neue große Vorkommen entdeckt. So wurden in West- und Mittelsibirien bedeutende Erdöl- und Erdgasvorkommen erkundet.

In den letzten Jahren wurden in zunehmendem Maße auch Erdöl- und Erdgaslagerstätten unter dem Meeresboden erschlossen. Schon seit längerer Zeit werden aus dem Untergrund des Kaspischen Meeres Erdöl und Erdgas gefördert

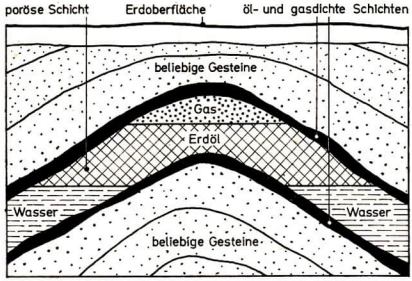


Abb. 4
Schematischer Schnitt einer Erdöllagerstätte

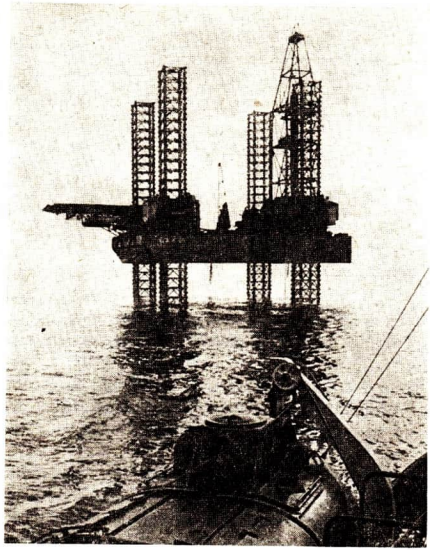


Abb. 5 Ansicht der Erdölbohrinsel „Baku" im Kaspischen Meer

(Abb. 5). In den letzten Jahren gewann auch die Förderung von Erdöl und Erdgas aus den großen Schelfgebieten an Bedeutung, so zum Beispiel in der Nordsee. ⑥ ↗ S. 33

Als voraussichtliches Gesamtvorkommen an Erdöl auf der Erde werden etwa 600 Mrd. t angenommen. 280 Mrd. t können davon mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln gefördert werden.

Die zur Zeit erkundeten Weltvorräte an Erdgas betragen 66 Bill. m^3, die Gesamtvorräte werden auf etwa 280 Bill. m^3 geschätzt. ⑦ ↗ S. 33

Die Zahlenangaben über Erdöl- und Erdgasvorkommen sind keineswegs als absolut zu betrachten, da die Erkundungsarbeiten noch lange nicht abgeschlossen sind.

2.2. Erkundung und Förderung von Erdöl und Erdgas

Die **Erkundung** von Erdöllagerstätten erfolgt im wesentlichen durch geophysikalische Methoden. An erster Stelle steht dabei die Anwendung *seismischer Verfahren* (Seismik = Erdbebenkunde). Dabei werden in der Erde durch Zündung von Sprengladungen Schallwellen erzeugt. Die sich ausbreitenden Schallwellen werden von den verschiedenen Erdschichten unterschiedlich reflektiert. Durch Registrieren der Laufzeit der Schallwellen kann die Art und das Ausmaß der reflektierenden Schichten bestimmt werden. Daraus können Schlußfolgerungen auf Erdöl- oder Erdgaslagerstätten gezogen werden. Eine weitere Möglichkeit der Erkundung bietet die chemische Untersuchung von Erdproben. Auch aus fotografischen Luftaufnahmen der Erdoberfläche (z. B. mit der im Rahmen des Interkosmosprogramms „Sojus 22" eingesetzten Multispektralkamera MKF 6) kann auf das Vorhandensein von Erdöl beziehungsweise Erdgas geschlossen werden. Die Auswertung von geophysikalischen Messungen sowie der Ergebnisse geochemischer und fotografischer Methoden ermöglichen nur Rückschlüsse auf die geologischen Strukturen des Untergrundes. Der Nachweis von Erdöl- und Erdgaslagern erfolgt durch Probebohrungen.

Die Suche und Erkundung von Erdöl und Erdgas wird in der DDR durch geophysikalische Feldverfahren vorbereitet. Auf Grund dieser Erkundungsergebnisse nehmen Spezialbetriebe Erkundungsbohrungen vor und installieren beim Auffinden von Erdgas- oder Erdöllagern die entsprechende Fördertechnik.

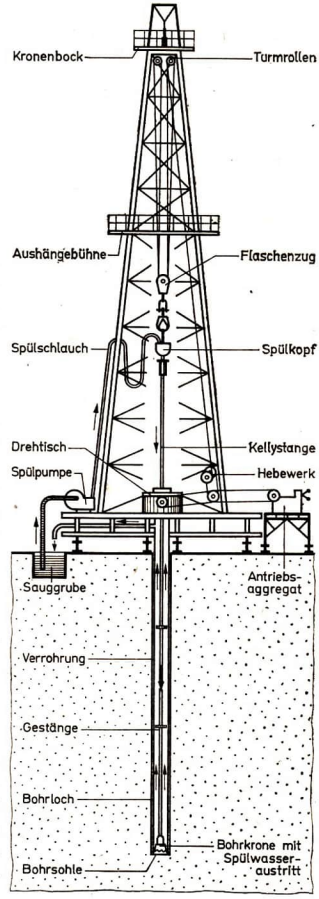


Abb. 6 Schema einer Rotary-Bohranlage

Kleinere Erdöl- und Erdgaslager wurden auf diese Weise in Mecklenburg, in der Lausitz und in Thüringen erschlossen. ⑧ ⑨ ↗ S. 33
Kennzeichen der **Erschließung** eines Erdöl- oder Erdgasfeldes sind Bohrtürme. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die verschiedenen Bohrverfahren zur Erschließung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten.

Tabelle 7 Bohrverfahren zur Erkundung und Erschließung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten

Bohrverfahren	Seilschlagverfahren	Drehbohrverfahren (Rotary-Verfahren)	Turbinenverfahren
Technologie	Anheben und Fallenlassen eines Meißels mit Hilfe eines Seiles	Antrieb über Tage: feste Verbindung über Hohlgestänge mit rotierendem Meißel	Antrieb im Bohrloch: die Turbine ist direkt mit dem Meißel verbunden
Anwendung	bis zu einigen hundert Metern Tiefe	bis etwa 8000 m Tiefe	für große Tiefen
Tagesleistung	10 ... 50 m	30 ... 100 m	30 ... 100 m

Das Seilschlagverfahren hat heute keine Bedeutung mehr. Vorwiegend werden das Rotary-Verfahren (Abb. 6, S. 27) sowie das 1922 von einem sowjetischen Ingenieur entwickelte Turbinenbohrverfahren angewandt.
Beim *Rotary-Verfahren* ist infolge der Rotation das Bohrgestänge einer erheblichen mechanischen und thermischen Belastung ausgesetzt. Beim *Turbinenbohren* dreht sich allein der Bohrkopf (Meißel), der durch eine Spülflüssigkeit mit Hilfe einer Turbine angetrieben wird.
Ein neues Bohrverfahren befindet sich in der Erprobung, das *Erosionsbohrverfahren.*
Dabei wird durch die Düsen eines Bohrkopfes Wasser mit einem Druck von 3800 Pa gegen das Gestein gepreßt. Das Wasser fräst Einschnitte in das Gestein. Die stehenbleibenden Gesteinsrippen werden durch die Schneidewerkzeuge des Bohrkopfes abgebrochen und durch Spülung abtransportiert.
Die Technologie der **Förderung** des Erdöls wird der Art des Vorkommens angepaßt. Das Erdöl kann durch den in der Lagerstätte herrschenden Druck ohne technische Hilfsmittel an die Oberfläche (Eruptionsförderung, „Springer") gelangen, oder es muß durch technische Hilfsmittel — in der Regel durch Pumpen gefördert werden. Die Förderung durch Pumpen kann nach zwei Verfahren erfolgen.
Bei den *Primärverfahren* (Nutzung des Eigendruckes in der Lagerstätte) können etwa 25% (höchstens 70%) des Vorkommens ausgebeutet werden.

Eine maximale Entölung der Lagerstätte (bis etwa 80%) gelingt durch *Sekundärverfahren*, bei denen Wasser oder Gas in die Lagerstätte eingepreßt wird.
Durch ständige Weiterentwicklung der Bohr- und Fördertechnik konnte die Erdölförderung, insbesondere in den letzten Jahrzehnten, gewaltig gesteigert werden. Tabelle 8 enthält Angaben über die Welterdölförderung von 1880 bis 1980.
Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Erdölförderung einzelner Länder.

Tabelle 8 Welterdölförderung [13] [18]

Jahr	Förderung (in Mill. t)	Jahr	Förderung (in Mill. t)
1880	4	1950	479
1890	10	1960	891
1900	22	1970	1900
1910	45	1980	3066
1920	96		
1930	195		
1940	295		

⑩ ⑪ ⑫ ↗ S. 33

Tabelle 9 Bedeutende erdölfördernde Länder der Welt (1980) [10], [23]

Land	Förderung in Mill. t	Land	Förderung in Mill. t
UdSSR	603	Mexiko	110
USA	485	Katar	21 (1977)
Saudi-Arabien	490	Argentinien	25
Iran	74	Australien	20 (1975)
Venezuela	113	Malaysia	15 (1975)
Irak	138	SR Rumänien	15 (1977)
Kuweit	86	Oman	14 (1975)
Nigeria	101	Dubei (VAE)	12 (1975)
Kanada	82	Ekuador	10 (1975)
VR China	106	AR Ägypten	30
AR Libyen	86	Gabun	10 (1975)
Indonesien	78		
Abu Dhabi (VAE)	68 (1975)		
Algerien	45		

Die Veränderung des Anteils einiger Ländergruppen an der Welterdölförderung ist aus Abbildung 7 erkennbar.
Die Weltjahresförderung an Erdgas betrug 1979 etwa 1,5 Bill. m³. Die Fördermengen einzelner Länder sind in Tabelle 10 erfaßt.

Veränderung des Anteils der Ländergruppen an der Welterdölförderung (in Prozent)

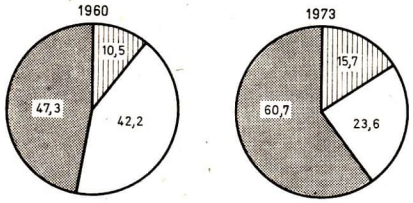


Abb. 7 Anteil einzelner Ländergruppen an der Erdölförderung

Tabelle 10 Förderung an Erdgas verschiedener Länder (1977) [10]

Land	Förderung in Mrd. m³	Land	Förderung in Mrd. m³
USA	612 (1976)	Iran	24 (1975)
UdSSR	347	Italien	22 (1975)
Kanada	89 (1976)	BRD	19
Niederlande	97	Mexiko	20 (1975)
Großbritannien	45 (1975)		

2.3. Transport von Erdöl und Erdgas

Erdöl und seine Verarbeitungsprodukte spielen in der Volkswirtschaft aller Länder eine bedeutende Rolle. Die Lagerstätten von Erdöl und Erdgas sind jedoch nur auf bestimmte Gebiete der Erde verteilt. Daher ist es erforderlich, ökonomisch günstige Transportmöglichkeiten zu finden. Der Transport in Kesselwagen auf dem Schienenwege ist nur für geringe Massen über kurze Entfernungen ökonomisch vertretbar. Für den Transport größerer Massen Erdöl über größere Entfernungen ist der Transport mit Tankschiffen oder durch Rohrleitungen (Pipelines) geeigneter.

Für den Transport von 1 t Erdöl betragen die Kosten je km:

mit	Kesselwagen	3,0 Pf
mit	Tankschiffen	0,3 Pf
durch	Rohrleitungen	0,7 Pf

⑬ ↗ S. 33

Die DDR deckt nahezu ihren gesamten Erdölbedarf durch Importe ab (Tab. 11). Der Transport erfolgt sowohl durch Rohrleitungen als auch mit Tankschiffen.

Tabelle 11 Erdölimporte der DDR [13] [18]

Jahr	Masse in 1000 t	Jahr	Masse in 1000 t
1951	250	1966	6440
1954	591	1968	8039
1956	798	1969	9272
1958	1127	1970	10600
1960	1941	1975	17000
1961	2270	1977	19042
1964	4260	1980	19500

Auch innerhalb der DDR wird Erdöl mit Hilfe von Pipelines transportiert. So bestehen Verbindungen zwischen Rostock, Schwedt und Leuna. ⑭ ↗ S. 33
Der Transport von Erdgas erfolgt ausschließlich durch Pipelines. Von internationaler Bedeutung sind zum Beispiel die Erdgasleitung „Nordlicht" und die Orenburger Erdgasleitung, die von Orenburg zur Westgrenze der UdSSR führt. Baubeginn für diese Trasse der Freundschaft, „Drushba-Trasse", war 1975 (Abb. 8).
1978 wurden die Arbeiten an der Trasse vorzeitig beendet. Die Länge der Erdgasleitung beträgt 2750 km. Sie überwindet drei Zeitzonen und 25 Erdmeridiane vom Süd-Ural bis zu den Karpaten. Allein im DDR-Abschnitt mußten 20 Mill. m³ Erde und 2 Mill. t Lasten bewegt werden. Die Trasse überwindet 158 Autobahnen und Eisenbahnstrecken sowie 135 Wasserläufe.
Es werden jährlich 15,5 Mrd. m³ Erdgas bei einem Betriebsdruck von 7355 kPa (75 at) durch Rohre mit einem Durchmesser von 1,42 m transportiert.
⑮ ⑯ ↗ S. 33
Der Bauabschnitt der DDR wurde der FDJ als Auftrag übergeben (Abb. 9). Er befand sich im mittleren Teil der Ukrainischen SSR (Krementschug—Alexandrowka — Talnoje—Caissiu—Bar) und hat eine Länge von 550 km. 5 Verdichterstа-



Abb. 8 Verlegen der Erdgasleitung von Orenburg zur Westgrenze der UdSSR



Abb. 9 FDJ im Einsatz an der „Drushba-Trasse"

tionen mußten gebaut werden. Die Trasse kreuzt auf diesem Abschnitt 10 wichtige Eisenbahnlinien, 15 große Verkehrsstraßen, zahlreiche Flüsse und Bäche, darunter den 1500 m breiten Dnjepr. Von den 5800 am Bau beteiligten Werktätigen waren 60% Jugendliche, die unter anderem als Bau- und Transportarbeiter, Schweißer, Rohrleger, Kranführer, Maschinenschlosser und Kraftfahrer tätig waren.

Aufgaben zum Kapitel 2

① Warum konnte Erdöl nur bei Abwesenheit von Sauerstoff entstehen?
② Erläutern Sie die Schichtung von Erdöl und Begleitstoffen in einer Erdöllagerstätte (↗ Abb. 4)!
③ Informieren Sie sich über Lage und Ausdehnung wichtiger Erdöllagerstätten! (↗ Atlas)
④ Welche Staaten verfügen über bedeutende Erdöllagerstätten?
⑤ Nennen Sie Erdöl- und Erdgasvorkommen der UdSSR! (↗ LB Geographie Kl. 7)
⑥ Geben Sie Beispiele für Erdölfördermethoden bei Lagerstätten, die sich unter dem Meeresboden befinden, an!
⑦ Nennen Sie in der Zukunft nutzbare Energiequellen!
⑧ Was bedeutet der Begriff Feldverfahren?
⑨ Ermitteln Sie, wo gegenwärtig in der DDR Erdöl- und Erdgaserkundungen vorgenommen werden!
⑩ Ergänzen Sie die Tabelle 8 auf Seite 29 fortlaufend!
⑪ Stellen Sie die Entwicklung der Welterdölförderung grafisch dar!
⑫ Begründen Sie, welchen Einfluß nachstehend aufgeführte bedeutende Erfindungen für die Entwicklung der Erdölförderung hatten!
1877 Viertakt-Otto-Motor
1879 Zweitakt-Motor (Carl Benz)
1882 Erstes Auto (Daimler)
1884 Ölfeuerung auf Handelsschiffen
1898 Dieselmotor
⑬ Diskutieren Sie die Kosten sowie die Vor- und Nachteile einzelner Transportarten von Erdöl!
⑭ Skizzieren Sie den Verlauf von Erdöl- und Erdgasleitungen innerhalb der DDR!
⑮ Welche Länder waren am Bau der Erdgasleitung Freundschaft beteiligt?
⑯ Kennzeichnen Sie die Leistungen der Bauleute aus der DDR!

3. Aufarbeitung des Erdöls

Erdöl ist ein Stoffgemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen (↗ S. 10). Als Ausgangsstoffe der chemischen Industrie oder für eine anderweitige Verwendung werden jedoch meist nur einzelne Stoffe oder bestimmte Stoffgruppen benötigt. Oft ist nur die Isolierung von Stoffgruppen notwendig. Das Erdöl muß daher zunächst durch verschiedene physikalische Trennverfahren, wie zum Beispiel Dekantieren, Filtrieren, Verdampfen, Kondensieren, Destillieren, aufgearbeitet werden.

① ② ↗ S. 52

Die so abgetrennten Stoffe oder Stoffgruppen werden dann oft noch durch spezielle Verfahren weiter aufgearbeitet. Einige Trennverfahren, die bei der Aufarbeitung des Erdöls eine Rolle spielen, werden in den anschließenden Abschnitten behandelt.

3.1. Destillation

3.1.1. Einfache Destillation

▶ **Die Destillation ist eine Methode zur Trennung flüssiger Stoffgemische. Dabei wird die leichtersiedende Komponente des Gemisches durch Überführen in den gasförmigen Zustand und anschließendes Kondensieren abgetrennt.**

Wird nur ein Stoff verdampft und anschließend kondensiert, spricht man von einer *einfachen Destillation.*

8
▼ *Trennen Sie ein Gemisch von Speiseöl und Tetrachlormethan durch Destillation! Beachten Sie die Siedetemperaturen (Tetrachlormethan: 76,7 °C; Speiseöl etwa 300 °C)!*

Geräte: Nach vorgeschlagener Experimentieranordnung

Chemikalien: Speiseöl, Tetrachlormethan

Vorbetrachtung

1. Welche physikalischen Vorgänge laufen bei der Destillation ab? (↗ PhiÜb, S. 97)
2. Aus welchen Teilen besteht eine Destillationsapparatur?
3. Welche Dichte besitzen Tetrachlormethan und Speiseöl im Vergleich zur Dichte des Wassers? (↗ TW 7—10)
4. Welche physikalischen Eigenschaften können zur Identifizierung von flüssigen Stoffen herangezogen werden?
5. Äußern Sie eine Vermutung über den Ablauf der Trennung des Gemisches, und nennen Sie Nachweismöglichkeiten für die zu erwartenden abgetrennten Stoffe!
6. Entwickeln Sie eine Experimentieranordnung zur Trennung des Gemisches und zum Nachweis der abgetrennten Stoffe!

Durchführung

Vervollkommnen Sie Ihre vorgeschlagene Experimentieranordnung anhand einer vorgegebenen Experimentieranleitung (↗ Experiment A 2, S. 135), und führen Sie das Experiment durch!

Auswertung

1. Geben Sie Ihre Beobachtungsergebnisse an!
2. Vergleichen Sie das Ergebnis mit ihren Vermutungen über den Ablauf des Trennungsvorganges!

3.1.2. Fraktionierte Destillation

Besondere Formen der Destillation sind die *fraktionierte Destillation*, die *Vakuumdestillation* und die *Rektifikation*.

▶ **Bei einer fraktionierten Destillation werden Stoffgemische durch stufenweise Kondensation in mehrere Komponenten zerlegt.**

Die abgeschiedenen und einzeln aufgefangenen Anteile, bei denen es sich sowohl um reine Stoffe als auch um Gemische handeln kann, werden als *Fraktionen* bezeichnet. Bei der Erdöldestillation besteht eine Fraktion in der Regel aus einem Gemisch von Stoffen, deren Siedetemperaturen eng beieinanderliegen.
Die Stofftrennung durch fraktionierte Destillation beruht auf den bei gleicher Temperatur unterschiedlichen Dampfdrücken der einzelnen Stoffgemischkomponenten. ③ ↗ S. 52

Zerlegen Sie eine Erdölprobe durch Destillation in mehrere Fraktionen!

Geräte: Brenner, Babotrichter, Destillierkolben (250 cm^3), Laborthermometer (0/+ 400 °C), Mohrscher Kühler (l = 400 mm), Vorlagen (z. B. Becher 50 cm^3), Stoppuhr, Millimeterpapier, Siedesteine

Chemikalien: Erdöl

Durchführung

1. Geben Sie 50 ml Erdöl und einige Siedesteine in den Destillierkolben, und setzen Sie das Laborthermometer so ein, daß sich die Quecksilberkugel in Höhe des Ansatzrohres befindet (↗ Abb. 37, S. 136)!
2. Verbinden Sie den Mohrschen Kühler mit dem Ableitungsrohr, und schließen Sie die Schläuche für Wasserzuleitung und -abfluß an!
3. Stellen Sie die Vorlage unter den Mohrschen Kühler!
4. Erhitzen Sie den Destillierkolben!
5. Lesen Sie alle 30 Sekunden die Temperatur ab! Notieren Sie die zur Zeit des Ablesens erreichte Temperatur!
6. Fangen Sie die erhaltenen Fraktionen in getrennten Vorlagen auf!
7. Beenden Sie das Experiment, wenn Sie etwa 3 Fraktionen erhalten haben!
8. Ermitteln Sie die Siedebereiche der Fraktionen!

Auswertung

1. Tragen Sie die ermittelten Meßgrößen in nachfolgende Tabelle ein:

Fraktion	Siedebereich in °C
1. Fraktion 2. Fraktion 3. Fraktion Rückstand	

2. Konstruieren Sie mit den ermittelten Meßgrößen ein Diagramm (Abszisse: Zeit in s; Ordinate: Temperatur in °C)!
3. Diskutieren Sie die erhaltene Kurve!

Bei der technischen Erdöldestillation kann die beschriebene fraktionierte Destillation nur begrenzt angewendet werden. Einige Bestandteile des Erdöls haben verhältnismäßig hohe Siedetemperaturen, bei denen diese Fraktionen durch ablaufende chemische Reaktionen bereits zersetzt werden. Daher muß in solchen Fällen eine andere Methode der Stofftrennung, die Destillation unter vermindertem Druck (Vakuumdestillation), angewendet werden.

3.1.3. Vakuumdestillation

▶ **Die Vakuumdestillation ist eine Methode zur Trennung hochsiedender und temperaturempfindlicher Flüssigkeitsgemische. Die technische Durchführung erfolgt bei Drücken von 2660 Pa (20 Torr) bis 133 Pa (1 Torr).**

Die Siedetemperaturen der Bestandteile des Erdöls liegen bei dieser Trennmethode niedriger als beim Destillieren unter Normaldruck 101 kPa (760 Torr).

10
▼ *Trennen Sie ein technisches Schmierölgemisch durch Vakuumdestillation!*

Vorbetrachtung

1. Nennen Sie notwendige Bedingungen für das Sieden eines Stoffes!
2. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen dem Dampfdruck einer Flüssigkeit und dem äußeren Luftdruck beim Erreichen der Siedetemperatur!
3. Ermitteln Sie die Siedetemperaturen des Gemisches unter Normaldruck!
4. Das Schmierölgemisch ist unter vermindertem Druck (Vakuum) zu destillieren. Äußern Sie eine Vermutung, wie sich der Ablauf des Siedevorgangs vom Ablauf einer Destillation unter Normaldruck unterscheiden wird!
5. Schlagen Sie eine Experimentieranordnung zur Durchführung einer Vakuumdestillation vor!

Durchführung

Vervollkommnen Sie Ihre vorgeschlagene Experimentieranordnung anhand einer vorgegebenen Experimentieranordnung (↗ Experiment A 3, S. 137), und führen Sie das Experiment durch!

Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Beobachtungsergebnisse in die folgende Tabelle ein!

Stoff	Siedetemperatur unter Vakuum	Siedetemperatur unter Normaldruck (Tabellenwert oder Ermittlung durch Parallelexperiment)

2. Bestätigt sich durch die Beobachtungsergebnisse Ihre Vermutung über den Ablauf der Vakuumdestillation?

3.1.4. Rektifikation

Um bei der fraktionierten Destillation des Erdöls eine möglichst exakte Trennung der verschiedenen Komponenten zu erreichen, wendet man eine besondere Form der fraktionierten Destillation, die *Rektifikation*, an.

▶ **Die Rektifikation als spezielle Form der fraktionierten Destillation ist eine Gegenstromdestillation und dient der Trennung von Flüssigkeitsgemischen mit geringen Siedetemperaturdifferenzen.**

Die Rektifikation wird in der Erdölaufarbeitung sowohl als Normaldruck- als auch als Vakuumdestillation durchgeführt. Durch Verwendung von Rektifikationskolonnen (Rohre mit Füllkörpern, die eine sehr große innere Oberfläche besitzen) und die Anwendung des Gegenstromprinzips zwischen gasförmiger und flüssiger Phase wird eine bessere Trennung der Komponenten des Gemisches erreicht. Durch den Gegenstrom zwischen aufsteigendem Dampf und ablaufender kondensierter Flüssigkeit herrscht ein ständiger Stoff- und Wärmeaustausch. Die im aufsteigenden Dampf vorhandenen höhersiedenden Komponenten kondensieren an der ablaufenden Flüssigkeit und an den kühleren Innenflächen und Wänden der Säule und geben ihre Kondensationswärme ab. Diese Wärme wird zur Verdampfung der in der ablaufenden Flüssigkeit vorhandenen leichtersiedenden Komponenten genutzt. Dadurch tritt eine Anreicherung an schwerflüchtigen Bestandteilen in der Flüssigkeit und an den leichtflüchtigen Anteilen im Dampf ein.

▶ **Bei der Rektifikation wird die leichtersiedende Komponente eines flüssigen Stoffgemisches durch wiederholtes Überführen in den gasförmigen Zustand, durch Stoffaustausch mit dem rücklaufenden Kondensat und durch anschließendes Kondensieren abgetrennt.**

11 ▼ *Führen Sie eine Rektifikation von Erdöl durch!*

Geräte: Rundkolben (250 cm³), Fraktionierkolonne, Brücke mit Einsatz für Laborthermometer, Laborthermometer (0/+ 400 °C), Schlangen- oder Kugelkühler (l = 400 mm), 7 Meßzylinder (10 cm³), Bunsenbrenner, Babotrichter, Siedesteinchen

Chemikalien: Erdöl

Durchführung

Verwenden Sie bei diesem Experiment möglichst eine Schliffapparatur!
1. Füllen Sie in den Rundkolben (Abb. 10) 50 ml Erdöl ein, und geben Sie einige Siedesteinchen in den Rundkolben!
2. Entzünden Sie den Brenner, und nehmen Sie die Wasserkühlung in Betrieb!

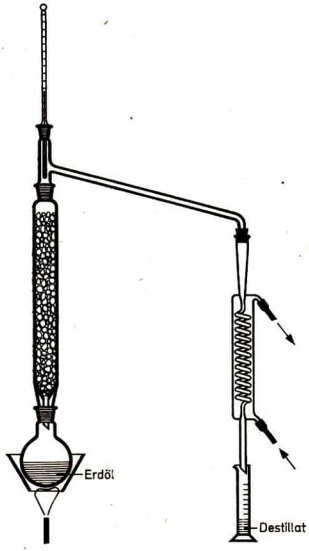


Abb. 10 Destillationsapparat mit Fraktionierkolonne zur Rektifikation von Erdöl

3. Beobachten Sie das Thermometer!
4. Fangen Sie die übergehende Flüssigkeit solange in der 1. Vorlage auf, bis die Quecksilbersäule im Laborthermometer trotz weiterer Wärmezufuhr eine Weile stehenbleibt!
5. Wechseln Sie die Vorlage, wenn die Temperatur erneut zu steigen beginnt! Dieser erste Wechsel wird bei Verwendung von Erdöl etwa bei einer Temperatur von 90 °C erfolgen.
6. Wiederholen Sie den Austausch der Vorlagen nach jeweils erneutem Ansteigen der Temperatur auf Temperaturen von etwa 125 °C, 150 °C, 175 °C, 200 °C und 250 °C!
7. Beenden Sie die Rektifikation, wenn sich noch etwa 20 ml Erdöl im Rundkolben befinden!

Auswertung

1. Stellen Sie nach dem Abkühlen die Volumen der einzelnen Destillate (Fraktionen) fest!

2. Tragen Sie die Ergebnisse in folgende Tabelle ein!

Temperatur in °C	90	125	150	175	200	250
Volumen in ml						

Bemerkung: Bei 100 ml vorgegebenem Gemisch geben die ermittelten Volumen der Fraktionen zugleich den Volumenanteil der jeweiligen Kohlenwasserstoffe im Gemisch in Prozent an. Welche Kohlenwasserstoffe in den einzelnen Fraktionen enthalten sind, kann aus Tabelle 12 entnommen werden.

Tabelle 12 Siedetemperaturen einiger kettenförmiger Kohlenwasserstoffe [19]

Stoff	Siedetemperatur	Stoff	Siedetemperatur
Hexan	69 °C	Dodekan	215 °C
Heptan	98 °C	Tridekan	234 °C
Oktan	126 °C	Tetradekan	253 °C
Nonan	150 °C	Pentadekan	265 °C
Dekan	174 °C	Heptadekan	303 °C
Undekan	196 °C		

Die durch Rektifikation abgetrennten Kohlenwasserstoffe liegen nicht rein vor. Es sind immer noch Gemische von Kohlenwasserstoffen, die annähernd gleiche Siedebereiche haben. Je länger eine Rektifikationskolonne ist, desto besser können die Kohlenwasserstoffe getrennt werden.

3.1.5. Technische Durchführung der Erdöldestillation

Die Erdöldestillation erfolgt technisch in Rektifikationsanlagen. Die Hauptbestandteile einer Rektifikationsanlage sind Röhrenerhitzer und Destillationskolonnen, auch als Fraktionier- oder Rektifikationskolonnen (Abb. 11) bezeichnet.

Ein *Röhrenerhitzer* (Abb. 12) besteht im wesentlichen aus einem Feuerraum aus feuerfestem Material, in dem sich ein schlangenförmig angeordnetes Rohrsystem befindet, durch welches das zu erhitzende Erdöl geleitet wird. Das Erdöl muß vorher entgast, entwässert und entsalzen werden. Die Heizung erfolgt mit Gas oder mit Heizöl.

Das im Röhrenerhitzer auf die gewünschte Temperatur aufgeheizte Erdöl wird in den unteren Teil einer Destillationskolonne eingespritzt.

Die verwendeten *Destillationskolonnen* entsprechen in der Arbeitsweise im

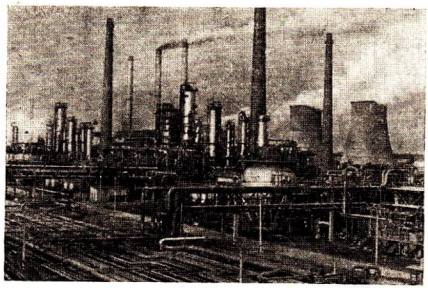


Abb. 11 Ansicht der Rektifikationskolonnen im VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt

wesentlichen der aus Experiment 11 bekannten Rektifikationskolonne. An Stelle der Füllkörper werden Austauschböden in Form von Glocken- oder Siebböden verwendet (Abb. 13).

Am häufigsten werden Glockenböden verwendet. Die dem Dampfdurchlaß dienenden Öffnungen D in den einzelnen Böden B sind mit einem kragenförmigen Rand versehen und durch eine Glockenkappe G lose abgedeckt. Durch den Einbau von Überfallwehren wird ein bestimmtes Volumen an Kondensat auf jedem Boden zurückgehalten. Der Überschuß R fließt über die Verbindungsrohre A auf den nächsten, tieferen Boden. Durch das Eintauchen der Glocken in die Flüssigkeit wird der nach oben strömende Dampf gezwungen, durch das Kondensat hindurchzutreten, wodurch ein intensiver Stoff- und Wärmeaustausch bewirkt wird.

Nach dem Einspritzen des Erdöls in die Destillationskolonne steigen die dampfförmig verbleibenden Anteile über die einzelnen Glockenböden in der Destil-

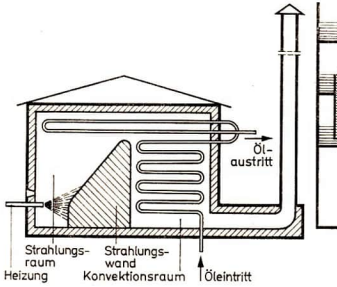


Abb. 12 Schematischer Schnitt eines Röhrenerhitzers

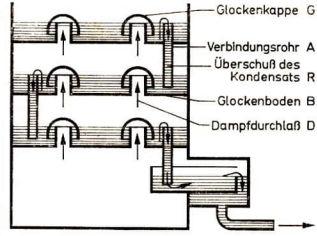


Abb. 13 Schematischer Schnitt eines Glockenbodens

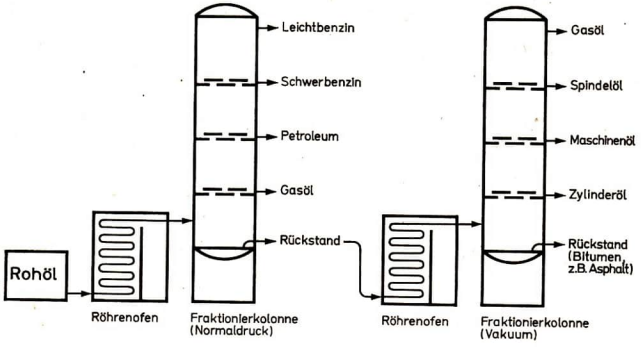


Abb. 14 Schema der technischen Erdöldestillation

lationskolonne empor. Die schwersiedenden, nicht verdampften Komponenten fließen über die Glockenböden zum unteren Teil der Destillationskolonne. Durch Anzapfen der Destillationskolonne in verschiedenen Höhen können Fraktionen der verschiedenen Siedebereiche entnommen werden (Abb. 14).
Zur besseren Ausnutzung der im Röhrenerhitzer erzeugten Wärmemenge werden in der Destillationstechnik *Wärmeaustauscher* eingesetzt. Die aus der Destillationskolonne austretenden heißen Destillationsprodukte geben im Wärmeaustauscher einen Teil ihrer Wärme an das kalte Einsatzgut ab. ④ ↗ S. 52
Eine Erdöldestillationsanlage besteht meist aus mehreren Destillierkolonnen mit vorgeschalteten Röhrenerhitzern. So werden in einer ersten Destillationskolonne meist die am niedrigsten siedenden Anteile abgetrennt. Dadurch wird die nachfolgende Destillationskolonne entlastet und eine bessere Trennung der höhersiedenden Anteile ermöglicht.
Weiterhin müssen Vakuumdestillationskolonnen für einige höhersiedende Fraktionen vorhanden sein, damit diese ohne thermische Zersetzung abgetrennt werden können.
Nachfolgend wird ein Überblick über die bei der Erdöldestillation abgetrennten Fraktionen gegeben (↗ Tab. 13).

Tabelle 13 Überblick über die bei der Erdöldestillation anfallenden Fraktionen, ihre Siedetemperaturen, Zusammensetzung und Verwendung [12]

Fraktion	Destillat	Siedetemperaturen in °C	Enthaltene Kohlenwasserstoffe	Verwendung
Gas	Methan, Äthan, Propan, Butan, Äthen, Propen, Buten	−164 ... 0	CH_4 ... C_4H_{10}	Heizgas, Verdichtung zu Flüssiggas, Herstellung von Polymerbenzin
Leichtöl	Petroläther (Gasolin)	30 ... 70	C_5H_{12} ... C_6H_{14}	Lösungsmittel für Fette und Harze
	Leichtbenzin	60 ... 130	C_6H_{14} ... C_8H_{18}	Kraftstoff für Ottomotoren
	Schwerbenzin	120 ... 180	C_8H_{18} ... $C_{11}H_{24}$	Putzbenzine, Lösungsmittel (z. B. Lackbenzin)
Mittelöl	Leuchtöl (Petroleum)	150 ... 250	C_9H_{20} ... $C_{14}H_{30}$	Leuchtpetroleum, Heizöl für Öfen und Schiffsmaschinen, Dieselkraftstoff
	Gasöl	230 ... 350	$C_{12}H_{26}$ ... $C_{20}H_{42}$	Dieselkraftstoff und Heizöl für Schiffsmaschinen
Schmieröl	Schmieröl	über 350	ab $C_{15}H_{32}$ ...	Schmiermittel für Maschinen
	Vaseline			Salbengrundlage
	Paraffin			Kerzenmasse, zum Tränken der Streichhölzer, Isoliermittel in der Elektroindustrie, Abdichtungsmittel, Seifenrohstoff
Rückstand	Petrolasphalt (Bitumen) und pechartige Gemische		Gemische aus höheren Kohlenwasserstoffen	Straßenbaustoff, Anstrich- und Abdichtungsmittel für Dächer
	Petrolkoks			Elektroden für die Schmelzelektrolyse und elektrothermische Prozesse

3.2. Kracken und Reformieren von Erdölfraktionen

Bei der fraktionierten Destillation von Erdöl wird ein hoher Anteil an langkettigen, höhermolekularen Kohlenwasserstoffen abgetrennt (↗ Tab. 14).

Tabelle 14 Anfallender Anteil einzelner Produkte bei der Erdöldestillation und gesellschaftlicher Bedarf an diesen Erdölprodukten [13]

Produkte der Erdöldestillation	Zusammensetzung	Bei der Destillation von Erdöl durchschnittlich anfallende Anteile	Bedarf
Benzin	Gemisch aus kettenförmigen Kohlenwasserstoffen mit 5 bis 8 Kohlenstoffatomen in den Molekülen	12%	45%
Petroleum	Gemisch aus kettenförmigen Kohlenwasserstoffen mit 9 bis 20 Kohlenstoffatomen in den Molekülen	15%	5%
Gasöl Schmieröl Asphalt	Gemische aus kettenförmigen Kohlenwasserstoffen mit mehr als 20 Kohlenstoffatomen in den Molekülen	16% 35% 22%	35% 3% 12%

Durch den steigenden Bedarf an Kraftstoffen sowie an niedermolekularen Ausgangsstoffen für die Petrolchemie (↗ Tab. 14) ist es erforderlich, höhermolekulare Kohlenwasserstoffe in niedermolekulare umzuwandeln.
Diese Umwandlung der höhermolekularen Kohlenwasserstoffe ist durch **Kracken** möglich (↗ Tab. 15).

▶ **Beim Krackverfahren werden Kohlenwasserstoffmoleküle größerer Kettenlänge in Kohlenwasserstoffmoleküle geringerer Kettenlänge gespalten.**

Tabelle 15 Krackverfahren [13]

Krackverfahren	
Thermisches Kracken	Katalytisches Kracken
Die Spaltung der Moleküle erfolgt ausschließlich durch die Erhöhung der Temperatur (400 ... 500 °C).	Die Spaltung der Moleküle erfolgt bei erhöhter Temperatur (450 ... 500 °C) und durch den Einsatz von Aluminiumverbindungen als Katalysator.



Abb. 15
Ansicht der Krackanlage im VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt

Beim katalytischen Kracken ist die Benzinausbeute höher als beim thermischen Kracken. Während das beim katalytischen Kracken entstehende Benzin mehr zyklische Kohlenwasserstoffe (↗ LB. 8 und ChiÜb, S. 101) enthält, werden beim thermischen Kracken mehr Alkene sowie ein höherer Anteil gasförmiger Kohlenwasserstoffe gebildet (Abb. 15).
Durch die beiden Krackverfahren wird es möglich, eine um etwa 50% höhere Benzinausbeute als bei der Erdöldestillation zu erreichen, ein Benzin mit wesentlich höherer Klopffestigkeit im Vergleich zum Destillatbenzin und darüber hinaus Ausgangsstoffe für die chemische Industrie (z. B. Äthen, Propan, Butan) zu gewinnen.

12 ▼ *Überführen Sie ein Gemisch höhermolekularer Kohlenwasserstoffe durch Kracken in niedermolekulare Kohlenwasserstoffe!*

Vorbetrachtungen

1. Welcher Ausgangsstoff sollte verwendet werden?
2. Unter welchen Bedingungen wird das Kracken in der Technik angewendet?
3. Welche Stoffe beziehungsweise Stoffgruppen können entstehen?
4. Wie kann man die entstehenden Stoffe nachweisen?

Stoffe bzw. Stoffgruppen	Nachweis	vorausgesagtes Beobachtungsergebnis

5. Wie muß die Apparatur beschaffen sein, damit sowohl die entstehenden Gase als auch die flüssigen Produkte nachzuweisen sind?

Durchführung

1. Vergleichen Sie Ihre Vorschläge mit der Experimentdurchführung A 4, Seite 138!
2. Arbeiten Sie nach dieser Experimentdurchführung!

Auswertung

1. Welchen Aggregatzustand haben die entstehenden Produkte?
2. Reagieren die Produkte mit Bromwasser?
3. Prüfen Sie die Brennbarkeit und Entflammbarkeit der Produkte!
4. Stimmen die Beobachtungen mit Ihren Voraussagen überein?
5. Welche Stoffe sind beim Kracken entstanden? (Geben Sie chemische Gleichungen für mögliche Reaktionen an!)
6. Wurde Ihre Voraussage über die entstehenden Stoffe bestätigt?

Beim technischen Kracken treten einfache Spaltungsreaktionen und solche mit Dehydrierungen auf. ⑤ ↗ S. 52
Die Spaltungsreaktionen können sehr unterschiedlich verlaufen.

■ Oktadekan → Nonan + Nonen

Oktadekan → Nonan + Oktan + Petrolkoks

Oktadekan → Oktan + Heptan + Methan + Petrolkoks ⑥ ⑦ ↗ S. 52

Als Petrolkoks bezeichnet man den bei petrolchemischen Reaktionen gebildeten elementaren Kohlenstoff.

Destillatbenzine und Krackbenzin entsprechen häufig noch nicht den Qualitätsanforderungen, die heute an hochwertige Vergaserkraftstoffe (VK) gestellt werden. Das trifft besonders für die *Klopffestigkeit* der Vergaserkraftstoffe zu.

▶ **Unter dem Klopfen eines Motors versteht man die ungeregelte, vorzeitige Entzündung des Benzin-Luft-Gemisches vor Erreichen des oberen Totpunktes des Kolbens (der größten Kompression) im Zylinder eines Ottomotors.**

Das Klopfen beruht darauf, daß die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Zylinder nicht wie gewünscht mit einer Geschwindigkeit von 20 ... 25 $m \cdot s^{-1}$ abläuft, sondern mit 1500 ... 2000 $m \cdot s^{-1}$, das heißt explosionsartig und ohne Zündung. Dadurch treten eine stärkere Wärmeentwicklung („Glühzündung"), ein höherer Materialverschleiß bei den Lagern und Wellen und eine Herabsetzung der Leistung eines Motors ein.

▶ **Die Oktanzahl (OZ) ist ein Maß für die Klopffestigkeit eines Vergaserkraftstoffes. Sie entspricht dem prozentualen Anteil an Isooktan (2.2.4-Trimethylpentan) in einem Isooktan-Normalheptan-Gemisch.**

■ Ein Kraftstoff mit der Oktanzahl 88 besitzt die gleiche Klopffestigkeit wie ein Gemisch aus 88% Isooktan und 12% Normalheptan.

Die Oktanzahl (↗ Tab. 16) wird mit besonderen Versuchsmotoren bestimmt.

Tabelle 16 Oktanzahlen einiger Kohlenwasserstoffe [15]

Kohlenwasserstoff	Oktanzahl
n-Hexan	25
n-Heptan	0
2.3-Dimethylbutan	102
2.2.3-Trimethylbutan	106
2.2.4-Trimethylpentan	100
Zyklohexan	83
Benzol	>100
Methylbenzol (Toluol)	107
C_8-Aromaten	≈100

Eine Erhöhung der Oktanzahl von Vergaserkraftstoffen ist erreichbar durch Beimischung höherer Anteile von kurzkettigen gesättigten Kohlenwasserstoffen, mehrfach verzweigten gesättigten Kohlenwasserstoffen, ungesättigten kettenförmigen Kohlenwasserstoffen, Aromaten, Zykloalkanen und durch Zugabe von Bleitetraäthyl. ⑧ ↗ S. 52
Zur Erhöhung der Klopffestigkeit von Destillat- und Krackbenzin werden diese einer chemischen Umwandlung, der **Reformierung**, unterworfen.

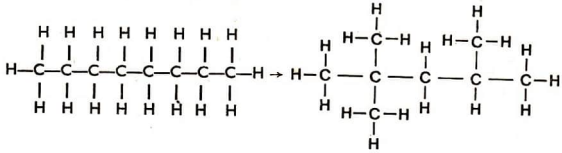
▶ **Das Reformieren (Reforming-Prozeß) ist ein Verfahren zur Umwandlung unverzweigter langkettiger gesättigter Kohlenwasserstoffe in kurzkettige Kohlenwasserstoffe, verzweigte Kohlenwasserstoffe und ringförmige Kohlenwasserstoffe.**

Reformierungsprozesse ähneln ihrem Wesen nach den Krackprozessen. Da aber in einer Wasserstoffatmosphäre gearbeitet wird, entstehen nur gesättigte Verbindungen. Dadurch wird unter anderem die unerwünschte Abscheidung von Petrolkoks gemindert.
Typische Reforming-Reaktionen sind zum Beispiel hydrierendes Kracken, Isomerisierung, Zyklisierung und Dehydrierung zyklischer Verbindungen.

Hydrierendes Kracken

$C_{12}H_{26} + H_2 \rightarrow 2\,C_6H_{14}$
Dodekan Hexan

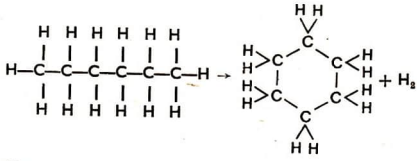
Isomerisierung



n-Oktan

2.2.4-Trimethylpentan
(i-Oktan)

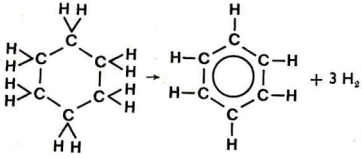
Zyklisierung



Hexan

Zyklohexan

Dehydrierung zyklischer Verbindungen



Zyklohexan

Benzol

Die Gewinnung von Benzol aus Zyklohexan durch Dehydrierung ist eine wichtige petrolchemische Reaktion zur Gewinnung von Aromaten (↗ Experiment 40, S. 82).

Die technische Durchführung des Reformierens wird ähnlich wie das Kracken thermisch oder katalytisch durchgeführt (↗ Tab. 17).

Eines der wichtigsten Reformierverfahren ist das *Platforming-Verfahren*, bei dem Platin als Katalysator eingesetzt wird. Hierbei werden die Ausgangsstoffe mit Wasserstoff vermischt und unter Druck in Röhrenöfen erhitzt. Die erhitzten Ausgangsstoffe werden dann in den sogenannten *Platformer* überführt, in dem der Katalysator, meist Aluminiumoxid mit 0,1 ... 1% Platinanteil, in stückiger Form

Tabelle 17 Überblick über Reformierverfahren [11]

Verfahren	Thermisches Reformieren	Katalytisches Reformieren
Ausgangsstoff	Fraktionen des Siedebereichs von 90 ... 200 °C	
Temperatur	bis 600 °C	450 ... 480 °C
Katalysatoren	keine	Platinkatalysatoren
Besonderheiten	Begünstigung von Spaltungsreaktionen, geringere Bildung von Aromaten	Begünstigung der Bildung von Aromaten, bessere Steuerungsmöglichkeiten der Reaktion (wirksamere Erhöhung der Oktanzahl)

auf Horden angeordnet ist. Die entstehenden Produkte werden anschließend vom überschüssigen Wasserstoff getrennt und in Fraktionierkolonnen weiter aufgearbeitet.

3.3. Raffination von Erdölfraktionen

Die aus Erdöl durch Destillation, Kracken oder Reformieren gewonnenen Produkte enthalten meist qualitätsmindernde oder störende Begleitstoffe. Das können Schwefelverbindungen, zum Beispiel Schwefelwasserstoff, Merkaptane (Merkaptane oder Alkanthiole sind Verbindungen des Schwefelwasserstoffs, bei denen ein Wasserstoffatom durch einen Alkylrest „R" ersetzt ist), organische Sulfide, Stickstoffverbindungen (z.B. Pyridin, Chinolin, Pyrrol) oder Sauerstoffverbindungen (z.B. Phenol, Peroxide) sein. Der Anteil an Schwefelverbindungen in Qualitätskraftstoffen darf 0,3% nicht überschreiten. Bei der Verbrennung des Kraftstoffes würden sich sonst mit dem gleichzeitig entstehenden Wasser Säuren bilden, die korrodierend wirken. ⑨ ↗ S. 52
Auch instabile Alkene und Diene (Kohlenwasserstoffe mit 2 Doppelbindungen im Molekül) sind wegen der durch diese Verbindungen bestehenden Gefahr der Verharzung des Motors unerwünschte Bestandteile von Vergaserkraftstoffen und erfordern eine Nachbehandlung, *die Raffination* (Reinigung). ⑩ ↗ S. 52
Bei der **Raffination** der Erdöldestillationsprodukte werden physikalische und chemische Methoden angewendet. Zu den *physikalischen Methoden* der Raffination gehören das Filtrieren, Abscheiden, Adsorbieren und Bleichen.
Zu den *chemischen Methoden* der Raffination gehören die Schwefelsäure-Raffination und die katalytische Druckwasserstoffbehandlung.

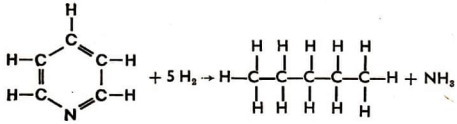
Die Schwefelsäure-Raffination ist ein Verfahren, bei dem die störenden Stoffe durch Reaktion mit Schwefelsäure entfernt werden.

Es entstehen dabei Verbindungen mit sauren Eigenschaften, die durch Natriumhydroxidlösung entfernt werden. ⑪ ↗ S. 52
Da Schwefelsäure aber auch mit den beim Kracken und Reformieren entstehenden gewünschten Olefinen und Aromaten reagiert, müssen diese unerwünschten Reaktionen durch die Wahl der Konzentration der Schwefelsäure und durch die Höhe der Temperatur weitgehend verhindert werden.
In den letzten Jahrzehnten hat als wichtiges Raffinationsverfahren von Erdöldestillationsprodukten die **katalytische Druckwasserstoffraffination (Hydrofining)** an Bedeutung gewonnen. Bei diesem Verfahren wird die Eigenschaft der störenden Stoffe ausgenutzt, daß bei einer *hydrierenden Spaltung* der Moleküle dieser Stoffe diese bevorzugt an den Heteroatomen (Fremdatomen, z.B. Schwefel, Stickstoff) einsetzt. Gleichzeitig werden olefinische Doppelbindungen durch Addition von Wasserstoff gesättigt.
Typische Reaktionen bei der katalytischen Druckwasserstoffraffination sind:

Entfernen von Schwefel

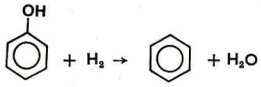
$$R-S-H + H_2 \rightarrow R-H + H_2S$$

Entfernen von Stickstoff



Pyridin Pentan Ammoniak

Entfernen von Sauerstoff



Phenol Benzol Wasser

Die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren ist groß, da die entstehenden Nebenprodukte, Schwefelwasserstoff und Ammoniak, vielseitig verwendet werden können.

■ So wird Ammoniak in der Düngemittelproduktion eingesetzt (↗ LB 10, ChiÜb, S. 150).

Aus Schwefelwasserstoff kann durch Reaktion mit Schwefeldioxid Schwefel gewonnen werden, der zu den anorganischen Grundchemikalien gehört. ⑫ ↗ S. 52

$$2\,H_2S + SO_2 \rightarrow 3\,S + 2\,H_2O$$

13 ▼ *Stellen Sie durch Reaktion von Schwefelwasserstoff mit Schwefeldioxid elementaren Schwefel dar!*

Geräte: 2 Halbmikro-Gasentwickler, 2 Halbmikro-Gaswäscher, T-Rohr

Chemikalien: Eisen(II)-sulfid, Natriumsulfit, verdünnte Chlorwasserstoffsäure, verdünnte Natriumhydroxidlösung, Wasser

Durchführung

Vorsicht! Schwefelwasserstoff ist stark giftig! Nur geringe Volumen herstellen und überschüssige Gasvolumen in Natriumhydroxidlösung absorbieren!

1. Füllen Sie in den einen Halbmikro-Gasentwickler 1 g Eisen(II)-sulfid (Vorsicht, Gift 2!), in den anderen 1 g Natriumsulfit und in die beiden Halbmikro-Tropfer je 6 Tropfen verdünnte Chlorwasserstoffsäure!
2. Spülen Sie den einen Halbmikro-Gaswäscher mit Wasser aus, und füllen Sie den zweiten mit Natriumhydroxidlösung!
3. Setzen Sie die Apparatur nach Abbildung 16 zusammen!
4. Tropfen Sie langsam Chlorwasserstoffsäure auf das Natriumsulfit und Eisen(II)-sulfid!

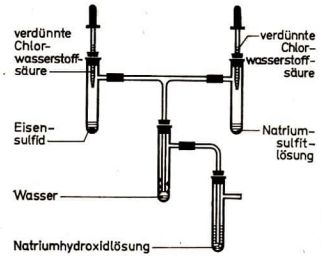


Abb. 16
Reaktion von Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid zu elementarem Schwefel

Auswertung

Im ersten Gaswäscher ist nach einigen Minuten ein weißer bis gelber Belag zu beobachten, der später die typische Gelbfärbung von Schwefel aufweist. ⑬ ↗ S. 52

$$FeS + 2\,HCl \rightarrow H_2S + FeCl_2$$

$$Na_2SO_3 + 2\,HCl \rightarrow SO_2 + H_2O + 2\,NaCl$$

Die technische Durchführung der katalytischen Druckwasserstoffraffination hängt von der Zusammensetzung der eingesetzten Stoffe und vom angestrebten Raffinationseffekt ab. Es wird bei Temperaturen zwischen 200 °C und 450 °C und bei einem Druck von 500 ··· 7000 kPa (5 ··· 70 kp · cm^{-2}) gearbeitet. Der benötigte Wasserstoff (15 ··· 30 m^3 je t Einsatzgut) wird meist aus einer Reforming-Anlage bezogen.
Die technische Ausbeute kann bei Benzinen bis 98% der eingesetzten Kohlenwasserstoffe betragen. Der nicht umgesetzte Wasserstoff wird in den Kreislauf zurückgeführt. Der Schwefelgehalt des Produktes beträgt meist weniger als 0,2%.

Aufgaben zum Kapitel 3

① Nennen Sie Anwendungsmöglichkeiten der auf Seite 34 genannten Trennverfahren in der chemischen Industrie! (↗ ChiÜb., S. 121, PhiÜb, S. 98)
② Erläutern Sie die Begriffe Verdampfen und Kondensieren unter Beachtung energetischer Erscheinungen!
③ Diskutieren Sie den Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Siedetemperatur!
④ Nennen Sie weitere Beispiele für die Anwendung des Prinzips des Wärmeaustausches in der Industrie!
⑤ Ordnen Sie die Dehydrierungsreaktion einer der folgenden Reaktionsarten zu: Substitution, Eliminierung, Addition!
⑥ Stellen Sie für die möglichen Aufspaltungen des Oktadekans die chemischen Gleichungen auf!
⑦ Beim Kracken von Dodekan ($C_{12}H_{26}$) bilden sich
a) Heptan,
b) Hexan und Pentan.
Welche Spaltprodukte entstehen außerdem?
⑧ Was bedeutet bei Vergaserkraftstoffen die Bezeichnung VK 79 und VK 94?
⑨ Welche Säuren können bei der Reaktion des Schwefels mit Sauerstoff und Wasser entstehen? Geben Sie die chemischen Gleichungen für die Bildung dieser Säuren an!
⑩ Erläutern Sie die Bezeichnung „Dien"!
⑪ Nennen Sie Beispiele für die Reaktion von Schwefelsäure mit Alkenen und Dienen!
⑫ Geben Sie Verwendungsmöglichkeiten für Schwefel an!
⑬ Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Reaktionen von Schwefelwasserstoff beziehungsweise Schwefeldioxid mit Natriumhydroxid!

4. Hauptprodukte der Erdölaufarbeitung

Die bei der Aufarbeitung des Erdöls durch Destillation, Kracken, Reformieren und Raffinieren anfallenden Produkte sind sowohl in der Industrie als auch für den persönlichen Bedarf der Menschen vielseitig verwendbar. Die bei der Erdöldestillation abgetrennten gekrackten und raffinierten Hauptfraktionen der Erdölaufarbeitung können zum größten Teil direkt verwendet werden (↗ Tab. 13, S. 43).
Die Verwendung einzelner Erdölprodukte ist von ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften abhängig. Einige dieser Eigenschaften sollen daher im folgenden Kapitel behandelt und experimentell ermittelt werden. Da die Vielzahl der Erdölprodukte nicht ausführlich behandelt werden kann, wurden die Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von *Benzinen, Dieselölen, Schmierölen und Paraffin* ausgewählt.

4.1. Benzine

Benzine gehören zu den wichtigsten *Kraftstoffen.*

► **Als Kraftstoffe bezeichnet man alle brennbaren Stoffe, deren chemische Energie beim Antrieb von Verbrennungskraftmaschinen zum großen Teil in Arbeit umgewandelt wird.**

Je nach Art der Kraftmaschinen unterscheidet man Vergaserkraftstoffe (VK), Dieselkraftstoffe (DK), Turbinenkraftstoffe, Düsenkraftstoffe und Raketentreibstoffe. ① ② ↗ S. 69
Als Vergaserkraftstoffe werden vorwiegend Benzine verwendet. Benzin ist ein Gemisch leichtsiedender Kohlenwasserstoffe mit einem Siedebereich von Temperaturen bis 180 °C. Es werden je nach Art der Herstellung *Destillat-, Kracк-* und *Reformingbenzine* unterschieden. Außerdem wird ein Teil durch Verfahren der Kohleveredlung produziert. Der Hauptanteil des erzeugten Benzins wird als Vergaserkraftstoff (VK) verwendet. Darüber hinaus werden Benzine

zum Betrieb von Heizungs- und Beleuchtungsanlagen verwendet sowie als Wasch- und Reinigungsmittel eingesetzt. ③ ↗ S. 69

Destillatbenzine besitzen niedrige Oktanzahlen und damit eine geringe Klopffestigkeit (↗ S. 46). Daher werden Destillatbenzine in der Regel nicht direkt als Vergaserkraftstoffe verwendet, sondern durch Reforming-Verfahren veredelt (↗ S. 47). Eine weitere Methode zur Erhöhung der Klopffestigkeit von Destillatbenzinen ist die Zugabe von **Antiklopfmitteln.**

Gegenwärtig ist noch Bleitetraäthyl $Pb(C_2H_5)_4$ das am meisten verwendete Antiklopfmittel. Bleitetraäthyl ist jedoch ein starkes Magen-, Atem- und Hautgift und kann bei Zunahme der Verkehrsdichte in Großstädten zu chronischen Bleivergiftungen der Bevölkerung führen.

In der DDR sowie in anderen Ländern ist man daher bestrebt, in Zukunft bleiarmes und später bleifreies Fahrbenzin zu produzieren. In Moskau und Leningrad ist es heute bereits verboten, mit bleihaltigen Benzinen zu fahren.

Es gibt prinzipiell zwei Wege, den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation nach Verringerung der Umweltverschmutzung durch bleihaltige Auspuffgase gerecht zu werden. Einmal kann Benzin niedrigerer Oktanzahl hergestellt werden. Das bedeutet eine Umstellung des Fahrzeugbaus auf Motoren mit niedrigerem Verdichtungsverhältnis, die eine geringere Neigung zum Klopfen zeigen. Damit würde jedoch der Benzinverbrauch insgesamt ansteigen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Benzin anstelle von Bleitetraäthyl mit anderen hochoktanigen Komponenten zu versetzen. Solche Stoffe könnten verzweigte Paraffine, Alkene und Aromaten sein (↗ Tab. 16, S. 47). ④⑤ ↗ S. 69

Die Bleiverbindungen von Vergaserkraftstoffen gelangen mit anderen giftigen Bestandteilen der Auspuffgase in die Luft. Ihre Konzentration in der Luft ist abhängig von der Masse der verbrauchten Benzine sowie von der Fahrweise des Kraftfahrzeugnutzers (Tab. 18, S. 56).

■ Schon eine Konzentration von 0,05 mg Bleitetraäthyl in 1 m^3 Luft bedeutet eine starke gesundheitliche Gefährdung für den Menschen. ⑥ ↗ S. 69

Der Bleigehalt in Kraftstoffen wurde in der DDR auf 0,4 g je Liter Kraftstoff begrenzt, seit 1980 darf 1 l Kraftstoff nur noch 0,311 g Blei enthalten.

14
▼ *Prüfen Sie einen Vergaserkraftstoff auf das Vorhandensein von Bleiverbindungen!*

Bei Zugabe von Kaliumchlorat und Chlorwasserstoffsäure zu bleihaltigen Kraftstoffen tritt eine Trübung des Kraftstoffes auf. Kaliumchlorat ist ein starkes Oxydationsmittel und oxydiert die Chlorwasserstoffsäure zu Chlor.

$$6\,HCl + KClO_3 \rightarrow 3\,Cl_2 + KCl + 3\,H_2O$$

Das gebildete Chlor reagiert mit Blei (II)-Ionen unter Bildung von in Benzin unlöslichem Blei(II)-chlorid.

$$Pb^{2+} + Cl_2 \rightarrow PbCl_2$$

Dadurch wird die weiße Trübung der Lösung hervorgerufen.

Dieser Nachweis ist sehr empfindlich. Noch beim Vorliegen von 1 ml Bleitetraäthyl in 5000 ml Benzin erfolgt eine Trübung.
Die Auspuffgase der Kraftfahrzeuge enthalten neben den Bleiverbindungen auch Kohlenmonoxid.
Die Konzentration von Kohlenmonoxid in den Auspuffgasen wird erhöht, wenn dem Motor nicht genügend Sauerstoff zur Verbrennung des Kraftstoffes zugeführt wird und dadurch nur eine unvollständige Verbrennung des Kraftstoffes stattfindet.

■ Die vollständige Verbrennung von Heptan läuft nach folgender chemischer Gleichung ab:

$C_7H_{16} + 11O_2 \rightarrow 7\ CO_2 + 8\ H_2O$

Die unvollständige Verbrennung von Heptan wird durch folgende chemische Gleichung veranschaulicht:

$C_7H_{16} + 9\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + 4\ CO + 8\ H_2O$ ⑦ ↗ S. 69

▶ **Es ist verboten, Verbrennungsmotoren in geschlossenen Räumen, zum Beispiel Garagen und Werkstätten, laufen zu lassen.**

■ Laufen Kraftfahrzeuge in Garagen im Leerlauf, so kann sich mit der Zeit in der Luft eine Konzentration von 10% Kohlenmonoxid einstellen. Schon 0,1% Kohlenmonoxid in der Atemluft sind gesundheitsschädigend.

Zusammenhänge zwischen Fahrweise, Benzinverbrauch und Auspuffgasvolumen werden aus den Angaben in Tabelle 18, Seite 56, erkennbar.

Charakteristische Eigenschaften der Benzine sind die **Mischbarkeit** mit Wasser und anderen Lösungsmitteln, die **Dichte** sowie die **Entflammbarkeit.**

15
▼ *Überprüfen Sie die Mischbarkeit von Benzin mit Wasser, mit anderen Lösungsmitteln und mit Ölen!*

Durchführung

Übergießen Sie geringe Volumen von Äthanol, Benzol (Vorsicht, Gift 2!), Paraffinöl und Speiseöl in Halbmikro-Reagenzgläsern mit Benzin, und schütteln Sie die Halbmikro-Reagenzgläser!

Auswertung

Stellen Sie die Ergebnisse in einer Tabelle zusammen!

	Wasser	Äthanol	Benzol	Paraffinöl	Speiseöl
Mischbarkeit von Benzin mit					

Tabelle 18 Auspuffgasvolumen eines Autos je km Fahrstrecke und je t Fahrzeugmasse [9]

Betrieb im	Benzinverbrauch in l	Auspuffgasvolumen gesamt in l	Volumen Kohlenmonoxid im Auspuffgas in l	Volumen Schwefeldioxid im Auspuffgas in cm^3	Masse Bleiverbindungen in mg Blei	Masse unverbranntes Benzin in g
Leerlauf von 1 Stunde	0,3 ... 0,8	2000 ... 5000	160 ... 400	77 ... 200	120 ... 320	8 ... 34
1. Gang gleichmäßiges Fahren	0,20	1400	90 ... 110	51	80	
stockendes Fahren	0,25	1700	120 ... 150	64	100	
2. Gang gleichmäßiges Fahren	0,13	1000	50 ... 65	33	52	
stockendes Fahren	0,20	1400	90 ... 110	51	80	
3. Gang gleichmäßiges Fahren	0,09	700	22 ... 23	23	36	1,5 ... 3,3
4. Gang gleichmäßiges Fahren	0,07	550	11 ... 22	18	28	1,2 ... 2,5

⑧ ⑨ ↗ S. 69

16 ▼ *Bestimmen Sie die Dichte von Benzin im Verhältnis zur Dichte des Wassers!*

Durchführung

Versetzen Sie in einem Halbmikro-Reagenzglas 1 ml Benzin mit 2 ml Wasser, das vorher mit Kaliumpermanganat oder Tinte angefärbt wurde!

Auswertung

Erläutern Sie Ihre Beobachtungsergebnisse!

17 ▼ *Bestimmen Sie die Dichte von Benzin mit Hilfe eines Aräometers !* (↗ PhiÜb, S. 50)

18 ▼ *Vergleichen Sie die Entflammbarkeit von Benzin mit der Entflammbarkeit von Paraffinöl!*

Versuchen Sie, Proben von Benzin und Paraffinöl in Eisen- oder Porzellanschalen mit einem brennendem Holzspan zu entzünden! ⑩ ↗ S. 69

▶ **Flüssigkeiten mit niedriger Flammtemperatur zählen zu den feuergefährlichen Stoffen.**

Man unterscheidet verschiedene Gefahrklassen (Tab. 19). ⑪ ↗ S. 69

Tabelle 19 Gefahrklassen feuergefährlicher Flüssigkeiten [2]

Gefahrklasse	Flammtemperatur	Beispiele
A I	unter +21 °C	Benzin, Benzol, Äther, Erdöl
B I	unter +21 °C	Methanol, Propanon (Azeton)
A II	+21 °C bis + 55 °C	Petroleum, Terpentinöl
B II	+21 °C bis + 55 °C	Essigsäureanhydrid
A III	+55 °C bis +100 °C	Heizöl
B III	+55 °C bis +100 °C	Phenol
(A: *nicht oder nur begrenzt mit Wasser mischbar*) (B: *mit Wasser mischbar*)		

Benzin entwickelt leicht Dämpfe, die mit der Luft explosive Gemische bilden können. Die Bildung solcher explosiven Gemische mit Luft hat schon oft zu Unfällen geführt, die zum Teil auf unsachgemäßes Arbeiten und ungenügende Kenntnisse über die Bildung solcher explosiven Gemische zurückzuführen waren.

19 ▼ *Bestimmen Sie die Dichte von Benzindämpfen im Vergleich zur Luft!*

Vorbetrachtungen

1. Welche Dichte haben Benzindämpfe im Vergleich zur Dichte der Luft?
2. Schlagen Sie eine Experimentieranordnung zur Überprüfung Ihrer Vermutung vor!

Durchführung

Führen Sie das Experiment nach Ihrer vorgeschlagenen Experimentieranordnung (nach Abnahme durch den Lehrer) oder nach einer vorgegebenen Experimentieranleitung (↗ Experiment A 5, S. 139) durch!

Auswertung

Notieren Sie Ihre Beobachtungsergebnisse!

Die Eignung eines Kraftstoffes für bestimmte Motoren wird durch eine **Kennziffer** KZ charakterisiert.
Die Kennziffer KZ gibt Auskunft über die Zusammensetzung des Benzins. Benzine mit niedriger Kennziffer enthalten vorwiegend niedrigsiedende, Benzine mit hoher Kennziffer vorwiegend hochsiedende Kohlenwasserstoffe.

■ Bei Markenbenzin für Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotoren soll die Kennziffer nicht über 130 liegen.

► **Die Kennziffer eines Kraftstoffes gibt die mittlere Siedetemperatur des Kraftstoffes an. Sie ist der Quotient aus der Summe der Zahlenwerte ermittelter Siedetemperaturen und der Anzahl durchgeführter Messungen. Sie kann mit Hilfe einer Siedeanalyse bestimmt werden.**

20
▼ *Bestimmen Sie die Kennziffer eines Fahrzeugbenzins mit Hilfe einer Siedeanalyse!*

Geräte: Destillierkolben (250 cm³), Mohrscher Kühler (l = 400 mm), Laborthermometer (0/+ 300 °C), Vorstoß, Meßzylinder (100 cm³), 2 Meßzylinder (25 cm³ oder graduierte Reagenzgläser), Siedesteine, elektrische Heizplatte, Blechmantel (z. B. von einer Konservendose), Millimeterpapier

Chemikalien: Vergaserkraftstoff

Durchführung

Achtung! Feuergefährliche Flüssigkeiten dürfen nur bis zu einem Volumen von 50 ml in Glasgefäßen über offener Flamme erhitzt werden!
1. Füllen Sie 100 ml Benzin in den Destillierkolben (Siedesteine!)!
2. Führen Sie das Thermometer so in den Kolben ein, daß sich die Quecksilberkugel in Höhe des Ansatzrohres befindet!
3. Verbinden Sie den Kolben mit dem Mohrschen Kühler, und nehmen Sie die Wasserkühlung in Betrieb!
4. Schließen Sie an den Mohrschen Kühler einen Vorstoß an, und stellen Sie den Meßzylinder darunter!
5. Erhitzen Sie den Destillierkolben mit einer elektrischen Heizplatte!
6. Notieren Sie die Temperatur nach dem Auffangen von 5 ml, 15 ml, 25 ml, 35 ml, 45 ml, 55 ml, 65 ml, 75 ml, 85 ml, 95 ml Destillat!
7. Stellen Sie danach das Erhitzen ein!

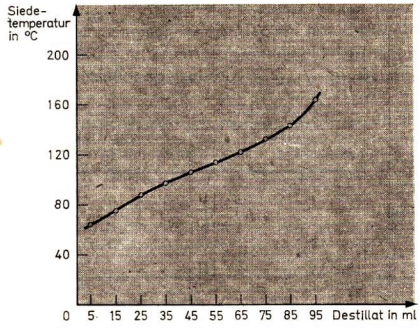


Abb. 17
Siedekurve eines Kraftstoffes

Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Meßgrößen in eine Tabelle ein!
2. Berechnen Sie die Kennziffer des Benzins!
3. Fertigen Sie eine Siedekurve nach dem Beispiel von Abbildung 17 an!

■ Eine Siedeanalyse ergab folgende Meßgrößen:

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Destillat in ml	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Temperatur in °C	63	77	88	95	104	113	122	132	143	163

Berechnung der Kennziffer:

Gegeben:
Summe der Zahlenwerte der Temperaturen 1100
Anzahl der Messungen 10

Gesucht:
Kennziffer KZ

$$KZ = \frac{1100}{10}$$

$$KZ = 110$$

Die Kennziffer des untersuchten Benzin beträgt KZ = 110.

Aus der Siedekurve (Abb. 17) läßt sich ablesen, welche Siedetemperaturen die im Benzin enthaltenen Verbindungen besitzen und wie hoch der Anteil dieser Verbindungen ist. Beginnt eine Siedekurve bei niedrigen Temperaturen und steigt zuerst wenig an, so enthält das Benzin viel niedrigsiedende Anteile. Steigt sie jedoch am Anfang steil an, so ist der Anteil der höhersiedenden Kohlenwasserstoffe größer. ⑫ ↗ S. 69

Benzine mit viel niedrigsiedenden und wenig hochsiedenden Kohlenwasserstoffen sind besonders zum Antrieb von PKW-Motoren geeignet. Benzine mit höhersiedenden Anteilen eignen sich für die Vergasermotoren größerer Fahrzeuge. In der Tabelle 20 sind die in der DDR produzierten Benzine erfaßt.

Tabelle 20 Benzinarten, die in der DDR produziert werden, und ihre Verwendung

Benzinart	Oktanzahl	Verwendung
VK 79	79	
VK 88	88	
VK Sonder	94	

⑬ ↗ S. 69

Den Hauptanteil der Verbindungen des Benzins bilden Alkane. Bei der Herstellung von technischen Benzinen, insbesondere von Fahrzeugbenzinen durch Kracken oder Reformieren, entstehen auch ungesättigte Verbindungen.

21 ▼ *Prüfen Sie einen Vergaserkraftstoff auf das Vorhandensein von ungesättigten Verbindungen!*

Durchführung

Versetzen Sie 3 ml Vergaserkraftstoff im Reagenzglas mit einigen Tropfen Bromwasser, und schütteln Sie das Reagenzglas!

Auswertung

1. Was ist zu beobachten?
2. Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Reaktion von Hexen-(1) mit Brom!

22 ▼ *Prüfen Sie Oktan auf das Vorhandensein von ungesättigten Verbindungen!*

4.2. Dieselkraftstoffe

Lastkraftwagen, Traktoren, landwirtschaftliche Kombines, Schiffe und Lokomotiven werden mit Dieselkraftstoffen betrieben. ⑭ ↗ S. 69
Dieselkraftstoffe, abgekürzt DK, sind wie Benzine Gemische verschiedener Kohlenwasserstoffe, jedoch haben Dieselkraftstoffe eine höhere Dichte als Benzin sowie höhere Siedetemperaturen. Sie können direkt aus der Erdöldestillation, durch das Kracken von Erdölprodukten oder aus Braun- beziehungsweise Steinkohlenteeren gewonnen werden.

Im Vergleich zum Vergaserkraftstoff Benzin liegen in Dieselkraftstoffen langkettige Kohlenwasserstoffe vor. ⑮ ↗ S. 69
Eigenschaften von Benzin- und Dieselkraftstoff sind aus Tabelle 21 zu entnehmen.

Tabelle 21 Eigenschaften von Benzin und Dieselkraftstoff [1]

Eigenschaften	Benzin	Dieselkraftstoff
Siedetemperatur	45 ··· 200 °C	240 ··· 350 °C
Dichte (bei 15 °C)	0,73 ··· 0,79 $g \cdot cm^{-3}$	0,83 ··· 0,90 $g \cdot cm^{-3}$
Flammtemperatur	−58 ··· 10 °C	60 ··· 100 °C
Löslichkeit in Wasser	nicht vorhanden	nicht vorhanden
Heizwert	46900 kJ · kg^{-1} (11200 kcal · kg^{-1})	44800 kJ · kg^{-1} (10700 kcal · kg^{-1})

23 ▼ *Bestimmen Sie die Dichte eines Dieselkraftstoffes mit dem Aräometer!* (↗ PhiÜb, S. 50)

24 ▼ *Bestimmen Sie die Flammtemperatur eines Dieselkraftstoffes!* (↗ Experiment 7, S. 15)

25 ▼ *Führen Sie mit einem Dieselkraftstoff eine Siedeanalyse nach Experiment 20,* Seite 58, *durch!*
Arbeiten Sie dabei mit Bunsenbrenner und Babotrichter!

■ Dieselkraftstoffe sind in der Herstellung wesentlich billiger als Vergaserkraftstoffe. Der Wirkungsgrad einer Dampflokomotive liegt bei etwa 10%, beim Ottomotor bei 28%, beim Dieselmotor dagegen bei 34%. (↗ PhiÜb, S. 77)

Für die Verwendung eines Dieselkraftstoffes ist die *Zündwilligkeit* von Bedeutung.

▶ **Unter der Zündwilligkeit versteht man den Zeitraum vom Einspritzen des Kraftstoffes bis zu seiner Entzündung.**

Je kürzer diese Zeit ist, um so höher ist die Zündwilligkeit. Besitzt der Kraftstoff eine geringe Zündwilligkeit, entsteht durch Verzögerung der Zündung das sogenannte *Dieselklopfen*, das zum schnelleren Verschleiß von Motorteilen führt. Als Maß für die Zündwilligkeit wird die *Zetanzahl* (CaZ) angegeben. Der Kraftstoff ist um so zündwilliger, je höher die Zetanzahl ist. Zur Bestimmung der Zetanzahl werden die Eichstoffe Hexadekan (Zetan): CaZ 100 (sehr zündwillig) und α-Methylnaphthalin: CaZ 0 (zündträge) verwendet. ⑯ ↗ S. 69

■ Ein Dieselkraftstoff mit der Zetanzahl 55 zündet wie ein Gemisch aus 55% Hexadekan und 45% α-Methylnaphthalin. Die zur Zeit in der DDR verwendeten Dieselkraftstoffe besitzen Zetanzahlen von 40 bis 42.

Eine Verbesserung der Zündwilligkeit ist durch Zusätze möglich. ⑰ ↗ S. 69
Die physikalischen Eigenschaften von Dieselkraftstoffen entsprechen im wesentlichen denen der Schmieröle.

4.3. Schmieröle

Schmieröle sind Kohlenwasserstoffgemische mit relativ hohem Siedebereich (über 350 °C). Sie werden zur Herabsetzung der Reibung zwischen Gleitflächen von Maschinenteilen eingesetzt und dienen gleichzeitig als Korrosionsschutz. ⑱ ⑲ ↗ S. 70

Öle, die aus Kohlenwasserstoffen bestehen, werden im Gegensatz zu den „fetten" Ölen auch als *Mineralöle* bezeichnet. Die Qualität von Schmierölen wird vorwiegend durch ihre Viskosität (↗ S. 16) und ihr Temperaturverhalten bestimmt. Man unterscheidet zwischen den sehr zähflüssigen (hochviskosen) *Zylinderölen* (z. B. für die Zylinder von Dampfmaschinen), den dickflüssigen *Maschinenölen* (z. B. Getriebeöl für Kraftfahrzeuge) und den dünnflüssigen *Spindelölen* (z. B. Öl für Fahrräder und Schreibmaschinen). ⑳ ↗ S. 70
Bei den Schmierölen werden hohe Anforderungen an den Reinheitsgrad gestellt. Deshalb sind umfangreiche Qualitätsprüfungen erforderlich. Dazu gehören die Bestimmung des Wassergehalts, der Dichte (↗ S. 15), der Viskosität (↗ S. 64), der Stocktemperatur (↗ S. 65), der Flammtemperatur (↗ S. 15), der Säurezahl, des Alkaligehaltes, des Aschegehaltes, der Verseifungszahl, der Verkokungsneigung, das Ermitteln von Verschmutzungen sowie der Nachweis von ungesättigten Verbindungen.
Wasser darf in Schmierölen nicht enthalten sein. Wasser verhindert die Bildung eines Schmierfilmes und wirkt korrodierend auf die Maschinenteile, Ölleitungen können verstopfen. Daher muß der Wassergehalt der verwendeten Öle genau bestimmt und bei Gebrauch ständig überprüft werden.
Zum Bestimmen des **Wassergehaltes** im Altöl werden folgende Methoden angewendet:
die quantitative Bestimmung durch Destillation,
die qualitative Bestimmung durch Erhitzen einer Probe im Reagenzglas (durch Zischen, Knacken, Prasseln wird Wasser angezeigt),
die qualitative Bestimmung durch Reaktion einer Ölprobe mit entwässertem (weißem) Kupfer(II)-sulfat (Blaufärbung zeigt Wasser an) und die qualitative Bestimmung durch Reaktion mit Kalziumkarbid.

26 *Prüfen Sie Altöl auf das Vorhandensein von Wasser!*

Geräte: Erlenmeyerkolben (weithalsig, 200 cm^3), Wägeglas oder Tiegel, gebogenes Glasrohr

Chemikalien: Kalziumkarbid, Altöl, gefärbtes Wasser

Durchführung

1. Stellen Sie eine Apparatur nach Abbildung 18 zusammen!
2. Neigen Sie den Erlenmeyerkolben so weit, daß das Kalziumkarbid aus dem Tiegel in das Altöl fällt!

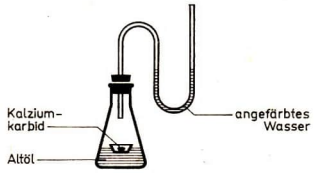


Abb. 18
Bestimmen des Wasseranteils von Altöl

Auswertung

Ist Wasser im Altöl enthalten, so entsteht Äthin, das die Luft aus dem Kolben in das Manometerrohr drückt. (21) ↗ S. 70

Bei längerer Verwendung von Schmieröl können Sand, Staub, Metallschlamm, Ausscheidungen von teerigen und harzigen Stoffen in das Schmieröl gelangen. Solche Verunreinigungen setzen die Schmierfähigkeit herab und führen zu Zerstörungen von Maschinenteilen (z. B. Heißlaufen von Lagern, Festfressen von Kolben, Verstopfen von Ölleitungen). Deshalb muß der Verschmutzungsgrad des Schmieröls regelmäßig ermittelt werden. Im Labor werden dabei die Methoden der Siebprobe, Filtrationsprobe und Fettfleckprobe angewandt.

27 ▼ *Bestimmen Sie den Anteil an Verschmutzungen in verschiedenen Altölen mit Hilfe von Filterpapier!*

Geräte: Filterpapier, Halbmikro-Tropfer

Chemikalien: Ölproben (verschmutzt), reines Paraffinöl

Durchführung

Tropfen Sie mit Halbmikro-Tropfern verschiedene Ölproben auf je ein Blatt Filterpapier!

Auswertung

Reine Öle zeigen einen klar durchscheinenden Fettfleck ohne Randbildung oder dunkle Pünktchen in der Mitte. Verschmutzte Öle zeigen in der Mitte des Fleckes in der Durchsicht mehr oder weniger grobe Schmutzteilchen, auch eine Randbildung durch Abscheidungen.

Für die Messung der **Viskosität** von Ölen gibt es verschiedene Methoden. Es kann die Fallgeschwindigkeit einer Kugel von bekanntem Radius und bekannter Dichte in der Ölprobe (*Höppler*-Viskosimeter) ermittelt oder die Durchlaufgeschwindigkeit des Öls durch ein enges Rohr (*Engler*-Viskosimeter) gemessen werden. In den meisten Fällen genügt es, die relative Viskosität anzugeben. Diese wird auf Wasser bezogen. Die **relative Viskosität** des Wassers bei einer Temperatur von 20,2 °C wurde mit 1 festgelegt.

Die Viskositäten von Wasser und untersuchter Flüssigkeit verhalten sich wie die entsprechenden Produkte aus Durchlaufzeit und Dichte.

$$\frac{\eta_1(H_2O)}{\eta_2} = \frac{t_1 \cdot \varrho_1}{t_2 \cdot \varrho_2}$$

η_1 relative Viskosität des Wassers
η_2 relative Viskosität des untersuchten Stoffes
t_1 Durchlaufzeit des Wassers
t_2 Durchlaufzeit des untersuchten Stoffes
ϱ_1 Dichte des Wassers
ϱ_2 Dichte des untersuchten Stoffes

28 ▼ *Bestimmen Sie die relative Viskosität eines Schmieröls!*

Geräte: Einfaches Viskosimeter (ausgezogenes Glasrohr mit etwa 10 cm Kapillare), Stoppuhr, 2 Becher (100 cm³)

Chemikalien: Wasser, Schmieröl



Abb. 19 Selbstangefertigtes Viskosimeter

Vorbereitende Arbeiten

1. Bestimmen Sie die Dichte des Schmieröls! (↗ S. 15)
2. Fertigen Sie durch schnelles Ausziehen eines Glasrohres eine Kapillare an, und kennzeichnen Sie die Markierungen a, b (Abb. 19)!

Durchführung

1. Füllen Sie mit Hilfe eines Bechers Wasser in das Viskosimeter!
2. Stoppen Sie die Zeit, in der der Wasserstand von der Markierung a bis zur Markierung b sinkt (Durchlaufzeit)!
3. Trocknen Sie das Viskosimeter (durch Luftzug oder Spülen mit Äthanol)!
4. Führen Sie die Arbeitsschritte 1 und 2 mit dem gleichen Viskosimeter unter Einsatz von Schmieröl durch!

Auswertung

1. Tragen Sie die ermittelten Meßgrößen in folgende Tabelle ein!

Untersuchter Stoff	Durchlaufzeit in s	Dichte in g · cm^{-3}
Wasser		
Schmieröl		

2. Berechnen Sie aus den ermittelten Durchlaufzeiten und Dichten die relative Viskosität des Schmieröls!

■ Berechnung der relativen Viskosität von Spindelöl

Gegeben:

$\eta_1 = 1$
$t_1 = 4\ s$
$t_2 = 418\ s$
$\varrho_1 = 1\ g \cdot cm^{-3}$
$\varrho_2 = 0{,}88\ g \cdot cm^{-3}$

Gesucht:

η_2 relative Viskosität von Spindelöl

Für die relative Viskosität gilt:

$$\eta_2 = \frac{\eta_1 \cdot t_2 \cdot \varrho_2}{t_1 \cdot \varrho_1}$$

$$\eta_2 = \frac{1 \cdot 418\ s \cdot 0{,}88\ g \cdot cm^{-3}}{4\ s \cdot 1\ g \cdot cm^{-3}}$$

$$\eta_2 = 92$$

Das untersuchte Spindelöl besitzt bei einer Temperatur von 20 °C eine relative Viskosität von 92, das heißt, seine Viskosität ist 92mal größer als die des Wassers.

Für den Einsatz von Schmierölen bei niedrigen Temperaturen ist die Kenntnis der **Stocktemperatur** (↗ S. 16) notwendig.
Winteröle müssen auch bei Temperaturen unterhalb 0 °C eine bestimmte Viskosität und Schmierfähigkeit behalten und damit eine niedrige Stocktemperatur besitzen.

29 ▼ *Ermitteln Sie die Stocktemperatur verschiedener Öle!*

Geräte: Reagenzgläser (16 mm × 160 mm), Laborthermometer (—35/+50 °C), Becher (niedrige Form, 600 cm³), Glasstab

Chemikalien: verschiedene Öle, Kältemischung (Eis-Kochsalz-Mischung)

Durchführung

1. Gießen Sie Öl in ein Reagenzglas! Tauchen Sie in das Öl ein Thermometer ein, und stellen Sie das Reagenzglas in eine Kältemischung!
2. Beobachten Sie die Temperaturänderung am Thermometer!
3. Nehmen Sie das Reagenzglas jeweils nach dem Absinken der Quecksilbersäule um einige Grade Celsius, zum Schluß um 1 °C, aus der Kältemischung, und neigen Sie es zur waagerechten Lage!

Auswertung

Die Stocktemperatur ist erreicht, wenn während etwa 10 s keine sichtbare Bewegung des Öls mehr auftritt. ㉒ ↗ S. 70

Schmieröle müssen für die verschiedenen Verwendungszwecke bestimmte Viskositätswerte besitzen.
Die verwendeten Schmieröle sind dem jahreszeitlich bedingten Temperaturwechsel unterworfen. Außerdem werden sie durch den Betrieb der Maschinenteile erhitzt. Es dürfen dabei keine Funktionsbeeinträchtigungen der Maschine eintreten.
Daher ist es notwendig, den *Einfluß von Temperaturveränderungen auf die Viskosität* zu kennen.

30 ▼ *Bestimmen Sie den Einfluß der Temperatur auf die Viskosität eines Öls!*

Durchführung

Arbeiten Sie nach der Durchführung von Experiment 29, Seite 65, und verwenden Sie zunächst kaltes Öl, anschließend erwärmtes Öl!

Auswertung

1. Stellen Sie die ermittelten Meßgrößen zusammen!
2. Berechnen Sie die relativen Viskositäten!

Eine Grobeinschätzung des Temperatureinflusses auf die Viskosität eines Öls kann nach Experiment 31 durch das Einstellen eines mit dem Öl gefüllten Reagenzglases in siedendes Wasser und Betrachten der Zähflüssigkeit des Öls bei verschiedenen Temperaturen vorgenommen werden.

31 ▼ *Vergleichen Sie die Viskosität eines Öls bei verschiedenen Temperaturen!*

Durchführung

1. Füllen Sie 2 Reagenzgläser mit kaltem Öl!
2. Erwärmen Sie ein Reagenzglas durch Einstellen in siedendes Wasser!
3. Vergleichen Sie durch wiederholtes Neigen und Aufrichten der Reagenzgläser die Viskositäten der Öle!

4.4. Paraffin

Alkane werden häufig auch als Paraffine bezeichnet.
Die Stoffbezeichnung *Paraffin* wird im Handel und in der Industrie für ein Gemisch hochmolekularer Kohlenwasserstoffe verwendet. Paraffin besteht aus Kohlenwasserstoffen der Summenformeln $C_{20}H_{42}$ bis $C_{40}H_{82}$ und liegt meist in fester Form vor.
Paraffin ist eine weiße oder durchscheinende wachsähnliche Masse.
Paraffin ist geruchlos, geschmacklos, nicht giftig, klebt nicht und wirkt isolierend.

32 ▼ *Ermitteln Sie die Löslichkeit eines Paraffins in Wasser, Schwefelsäure, Benzin und Äthanol!*

Tragen Sie die Ergebnisse in die nachfolgende Tabelle ein!

Lösungsmittel	Wasser	Schwefel-säure	Benzin	Äthanol
Löslichkeit				

33 ▼ *Bestimmen Sie die Schmelztemperatur von Kerzenparaffin!*

Geräte: Schmelztemperaturbestimmungsapparat, Schmelztemperaturbestimmungsröhrchen, Laborthermometer (0/+100 °C), Brenner, durchbohrter Stopfen (an der Seite eingekerbt)

Chemikalien: Kerzenparaffin, Propantriol (oder Paraffinöl)

Durchführung

1. Füllen Sie ein Schmelztemperaturbestimmungsröhrchen etwa 1 cm hoch mit feinen Paraffinspänen!
2. Befestigen Sie das Schmelztemperaturbestimmungsröhrchen derart am Laborthermometer, daß das Ende des Röhrchens mit der Schmelzprobe in der Höhe der Quecksilberkugel des Laborthermometers anliegt!
3. Befestigen Sie das Laborthermometer mit dem Stopfen im zur Hälfte mit Propantriol gefüllten Schmelztemperaturbestimmungsapparat (Abb. 20)!
4. Erwärmen Sie mit kleiner Flamme das Knie des Schmelztemperaturbestimmungsapparates!
5. Lesen Sie die Temperatur ab, wenn das Paraffin zu schmelzen beginnt!

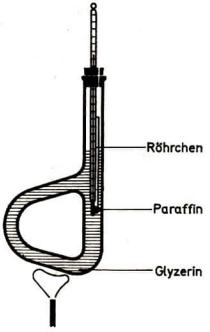


Abb. 20 Apparat zur Schmelztemperaturbestimmung

Die vielseitige Verwendung der verschiedenen Paraffinarten ist aus Tabelle 22 erkennbar.

Tabelle 22 Verwendung verschiedener Paraffinarten [1]

Paraffin	Schmelz-temperatur in °C	Verwendung
Hartparaffin	50 ··· 62	Herstellung von Kerzen, Fußboden- und Lederpflegemitteln, Schmiermitteln, Wachspapier und Isoliermaterial in der Elektrotechnik
Weich-paraffin	42 ··· 44	Zündholzherstellung, Papierimprägnierung, Wachsen von Garnen, Salbengrundlagen
Mittel-paraffin	44 ··· 46	Imprägniermittel
Makro-paraffin	90 ··· 95	Elektroindustrie, Herstellung von Imprägnier- und Glanzmitteln
Paraffinöl	−15 ··· 15	Feines Schmieröl für Uhren, Nähmaschinen, Heizbadflüssigkeit; Medizin: Herstellung von Salben und als Darmgleitmittel (gegen Verstopfung)
Paraffin-gatsch	30 ··· 40	Herstellung von Fettsäuren durch Oxydation

34 ▼ *Stellen Sie eine Paraffinkerze her!*

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 mm × 160 mm), 2 Becher (100 cm³), Brenner

Chemikalien: Paraffin (Kerzenreste), dicker Baumwollfaden

Durchführung

1. Erwärmen Sie im Becher Paraffin bis zum Schmelzen!
2. Tauchen Sie den Baumwollfaden in die Schmelze!
3. Durchtränken Sie den Faden, und strecken Sie ihn während des Abkühlens!
4. Füllen Sie ein Reagenzglas mit dem geschmolzenen Paraffin!
5. Führen Sie den Faden in die sich abkühlende Schmelze ein!
6. Tauchen Sie das abgekühlte Reagenzglas kurz in siedendes Wasser, und ziehen Sie die erstarrte Paraffinkerze heraus! (23) ↗ S. 70

Paraffin wird vorwiegend aus Produkten der Erdölaufarbeitung, aber auch durch Verfahren der Kohleveredlung gewonnen.
Die technische Gewinnung von Paraffin erfolgt überwiegend durch *Entparaffinierung* von Erdölprodukten, insbesondere von Schmierölen. Die Anreicherung

des Paraffins in den Schmierölfraktionen kann bis 30% und mehr betragen. Solche Schmieröle sind für technische Zwecke unbrauchbar, da sie extrem hohe Stocktemperaturen (bis zu 40 °C und darüber) aufweisen. Schon Paraffinanteile von etwa 1% können die Stocktemperatur wesentlich heraufsetzen. Paraffin wird mit Hilfe geeigneter Lösungsmittel oder durch starke Abkühlung bis zur Auskristallisation des Paraffins aus den Schmierölen entfernt.

Aufgaben zum Kapitel 4

① Welche Arten von Verbrennungskraftmaschinen kennen Sie?
② Bereiten Sie einen Schülervortrag über Eigenschaften und Verwendung der verschiedenen Kraftstoffe vor! (↗ Brockhaus ABC Chemie, S. 731)
③ Erläutern Sie Bau und Funktionsweise eines Ottomotors!
④ Welche Entwicklungstendenzen im Fahrzeugbau sind Ihnen bekannt?
⑤ Welcher Weg zur Verringerung der Bleiverschmutzung der Luft durch Auspuffgase wird in der DDR angestrebt?
⑥ Weshalb dürfen bleihaltige Benzine nicht als Lösungsmittel beziehungsweise Wasch- und Reinigungsmittel verwendet werden?
⑦ Formulieren Sie die chemischen Gleichungen für die vollständige und die unvollständige Verbrennung von Pentan!
⑧ Welche Masse hat ein PKW „Trabant"?
⑨ Welche Schlußfolgerungen würden Sie nach der Auswertung der Tabelle 18, Seite 56, für die Fahrweise von Kraftfahrzeugen ziehen, wenn die Konzentration an Schadstoffen in den Auspuffgasen möglichst gering gehalten werden soll?
⑩ Warum sind Kenntnisse über die Wassermischbarkeit und Entflammbarkeit von Benzin notwendig?
⑪ Wie lauten die Bestimmungen zur Beschriftung und Aufbewahrung von Stoffen mit niedrigen Flammtemperaturen („feuergefährliche Stoffe")?
⑫ Warum kann bei Benzin keine exakte Siedetemperatur ermittelt werden?
⑬ Tragen Sie in Tabelle 20, Seite 60, ein, wozu die dort angeführten Benzinarten verwendet werden, und führen Sie weitere Beispiele an!
⑭ Erläutern Sie die Funktionsweise des Dieselmotors!
⑮ In welchem Maße sind die Eigenschaften der Alkane von der Kettenlänge der Moleküle abhängig? (↗ LB Kl. 8)
⑯ Vergleichen Sie die Ursachen des „Klopfens" beim Ottomotor mit denen beim Dieselmotor (↗ S. 46)!
⑰ Überlegen Sie, ob zur Erhöhung der Zetanzahl von Dieselkraftstoffen ähnliche Zusätze verwendet werden können wie zur Erhöhung der Oktanzahl bei Vergaserkraftstoffen (↗ S. 54)!

⑱ Was verstehen Sie unter Korrosion?

⑲ Warum ist Wasser als Schmiermittel ungeeignet?

⑳ Erläutern Sie die Begriffe *Fette*, *fette Öle*, *Mineralöle* und *Silikonöle* (↗ Brockhaus ABC Chemie)! Vergleichen Sie dabei die chemische Zusammensetzung der Stoffe!

㉑ Stellen Sie für die Reaktion von Wasser mit Kalziumkarbid die chemische Gleichung auf!
Wie kann das Experiment abgewandelt werden, um eine quantitative Bestimmung des Wasseranteils zu ermöglichen?

㉒ Vergleichen Sie die Stocktemperaturen von Winter- und Sommergetriebeölen des Liefersortiments vom VEB Minol!

㉓ Welche physikalischen Vorgänge und chemischen Reaktionen laufen beim Abbrennen einer Kerze ab?

5. Petrolchemie

„Das Erdöl ist kein Brennstoff; sonst könnte man auch mit Geldscheinen heizen. Aus dem Erdöl können tausenderlei nützliche Dinge gewonnen werden, und der Kaloriengehalt kann verzehnfacht werden." Diese Ansicht vertrat bereits der große russische Chemiker *D. I. Mendelejew* im vorigen Jahrhundert. Der größte Teil der durch die Erdölaufarbeitung gewonnenen Produkte wird jedoch noch immer direkt zur Energiegewinnung eingesetzt (↗ Kapitel 4).
Seit etwa 40 Jahren werden in zunehmendem Maße Produkte der Erdölaufarbeitung (primäre Erdölverarbeitung) durch petrolchemische Verfahren (sekundäre Erdölverarbeitung) weiter verarbeitet.

▶ **Petrolchemische Verfahren sind chemische Verfahren, bei denen als Ausgangsstoffe Produkte aus Erdöl oder Erdgas eingesetzt werden.**

Auch heute ist jedoch der petrolchemisch verarbeitete Anteil verhältnismäßig gering, er beträgt zur Zeit in der Welt etwa 5 ... 10% des geförderten Erdöls. Gegenwärtig werden in der Welt aus Erdöl und Erdgas über 2000 verschiedene Produkte hergestellt.

5.1. Entwicklung der Petrolchemie in der DDR

In der DDR wird die Petrolchemie planmäßig weiter entwickelt, um das zur Verfügung stehende Erdöl so hoch wie möglich zu veredeln und damit effektiv zu nutzen.
Im Rahmen der Entwicklung der Petrolchemie in der DDR entstanden neue chemische Großbetriebe, zum Beispiel der VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", Betriebsteil II, und der VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt. Andere Produktionsstätten wurden nach modernsten Erkenntnissen der Wissenschaft rekonstruiert.
Die Zentren der Erdöl- und Petrolchemie in der DDR sind der VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" und der VEB Petrolchemisches Kombinat (PCK) Schwedt.

Die **Leuna-Werke** entstanden bereits im Jahre 1917 während des ersten Weltkrieges als Ammoniakwerke und sollten die Rüstung der deutschen Imperialisten unterstützen helfen. Auch im zweiten Weltkrieg waren die Leuna-Werke ein wichtiger Rüstungsbetrieb des deutschen Imperialismus (↗ LB 10).
Am Ende des Krieges waren die Leuna-Werke zu 80% zerstört. Mit Hilfe sowjetischer Fachleute konnte das Werk wieder aufgebaut werden. Völlig neue Anlagen wurden errichtet, so daß im Juli 1945 schon 136 t Benzin produziert wurden. Kurze Zeit darauf konnten mehr als 100 neue Produkte in den Produktionsplan aufgenommen werden. Die Palette der erzeugten Produkte vergrößerte sich immer mehr: anorganische und organische Grundchemikalien, Stickstoffdünger, Harnstoff, Schädlings- und Unkrautbekämpfungsmittel, Waschmittel, Spezialleime, Klebstoffe, pharmazeutische Produkte, Kaprolaktam, Polyamid u. a. Als Rohstoffe wurden vorwiegend Kohle, Luft und Wasser eingesetzt.
Durch großzügige Lieferungsvereinbarungen für Erdöl und Erdgas zwischen der Sowjetunion und der DDR war es möglich, einen Teil der Produktion auf diese Rohstoffbasis umzustellen. 1959 wurden im neu entstandenen Werkteil II Produktionsanlagen in Betrieb genommen, die auf der Basis von Erdöl und Erdgas arbeiten.
Für die weitere Entwicklung der chemischen Industrie in der DDR war der Aufbau des neuen Erdölverarbeitungswerkes Schwedt, des Stammbetriebes des heutigen **Petrolchemischen Kombinats Schwedt,** von entscheidender Bedeutung. 1958 wurden die Voraussetzungen für den Aufbau des Schwedter Werkes geschaffen. Einige wichtige Etappen der Entwicklung des Werkes sind:

1959 Baubeginn (Vorbereitung des Geländes)
1960 Grundsteinlegung
1961 Einlagerung des ersten Erdöls im Tanklager
1963 Im Dezember Inbetriebnahme der Erdölleitung „Freundschaft"
1964 Inbetriebnahme der Rohöldestillations-, Raffinations- und Reforminganlage
1966 Synthesegasherstellung
1968 Aufnahme der Kalkammonsalpeter-Produktion im Düngemittelwerk
1969 Produktionsbeginn in der Aromatenextraktionsanlage
1970 Bildung des Petrolchemischen Kombinats (PCK)
1970 Produktionsaufnahme in der Akrylnitrilanlage
1971 Gewinnung von n-Paraffinen in der Parex-Anlage
1972 Herstellung von Möbeln aus Polyurethan
1973 Herstellung von Terephthalsäure

Der VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt nimmt in der chemischen Industrie der DDR eine führende Stellung ein. Zum VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt gehören: VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt, Stammbetrieb mit

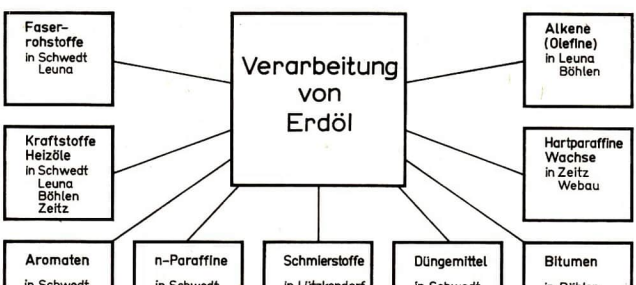


Abb. 21 Produkte aus Erdöl und die Orte ihrer Herstellung in der DDR

dem Betriebsteil Erkner, VEB „Otto Grotewohl" Böhlen als ein Kombinatsbetrieb mit den Betriebsteilen Espenhain und Rositz, VEB Hydrierwerk Zeitz als ein Kombinatsbetrieb mit den Betriebsteilen Lützkendorf, Mieste, Völpke, Webau und Klaffenbach und der VEB Mineralölverbundleitung Schwedt als Kombinatsbetrieb.

Die genannten Betriebe produzieren fast ausschließlich auf der Basis von Erdöl und Erdgas. Daneben wird zunehmend auch Kohle als chemischer Rohstoff eingesetzt.

Einen Überblick über die in diesen Betrieben hergestellten Produkte bietet die Abbildung 21. Produkte der petrolchemischen Industrie der DDR werden in etwa 30 Länder exportiert. Den größten Umfang der Lieferungen ins Ausland nehmen petrolchemische Grundstoffe und Zwischenprodukte ein. So werden zum Beispiel Paraffine in die VR Polen, die ČSSR und in die BRD, Akrylnitril nach Italien und in die Sozialistische Föderative Republik Jugoslawien, Ledergerbstoffe in die Volksrepublik Bulgarien und in arabische Staaten wie Syrien und Ägypten geliefert.

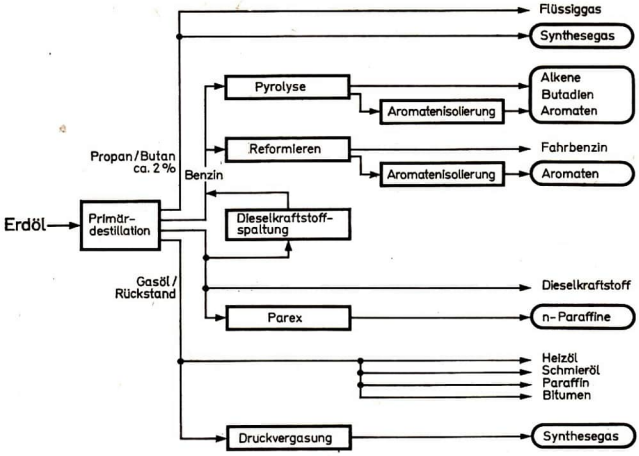
Von besonderer Bedeutung sind die vielseitigen Warenlieferungen und Kooperationsbeziehungen zur UdSSR und zu den anderen RGW-Mitgliedsländern. So werden zwischen den RGW-Mitgliedsländern nicht nur Produkte ausgetauscht, sondern die gemeinsame Forschung und Entwicklung, die Ausarbeitung neuer Technologien, der Bau kompletter Betriebsanlagen und die gemeinsame Nutzung von Produktionskapazitäten vereinbart.

■ Ein Beispiel für die Kooperationsbeziehungen ist die Äthylenleitung zwischen Böhlen und Litvinov (ČSSR). Auf Grund eines Regierungsabkommens zwischen der ČSSR und der DDR von 1971 wurde in Böhlen eine Großanlage zur Herstellung

von jährlich 300000 t Äthen (Äthylen) und 140000 t Propen (Propylen) errichtet. Die Hälfte der Produktion wurde seit 1975 über eine 140 km lange Pipeline in die ČSSR exportiert. In Litvinov wurden daraus 80000 t Polyäthylen und Polypropylen produziert, während in einem anderen Betrieb, in Neratovice, das Äthen zu 100000 t Polyvinylchlorid weiterverarbeitet wurde. Ein Teil dieser Produkte wurde wiederum in die DDR geliefert. Bis 1980 wurden in der DDR eine Anlage zur Produktion von Polyäthylen und Polypropylen und in der ČSSR eine Anlage zur Produktion von Äthen (Äthylen) und Propen (Propylen) errichtet. Der Austausch von Produkten kann nun nach Bedarf in beiden Richtungen erfolgen. ① ↗ S. 96
Die gemeinsame Entwicklung der Olefin-Chemie durch die ČSSR und die DDR gehört zu den bedeutendsten Vorhaben der chemischen Industrie der DDR im Rahmen des Komplexprogrammes des RGW. Keiner der beiden Staaten allein hätte die Kraft gehabt, in einer derart kurzen Zeit Großanlagen mit so hohen Kapazitäten zu errichten.

5.2. Nutzung der Rohstoffe Erdöl und Erdgas für die Herstellung petrolchemischer Grundstoffe

Der ständig wachsende Bedarf an Zwischenprodukten, Werkstoffen und Fertigwaren verlangt eine entsprechende Bereitstellung von Rohstoffen. Daher ist es notwendig, Produkte der Erdöl- und Erdgasaufbereitung in stärkerem Maße als bisher für die Herstellung petrolchemischer Grundstoffe einzusetzen. Wichtige Ausgangsstoffe der Petrolchemie, auch **petrolchemische Grundstoffe** genannt, sind **n-Alkane (n-Paraffine), Synthesegas** (aus Alkanen darstellbar), **Alkene** und **aromatische Kohlenwasserstoffe (Aromaten).**
Die meisten dieser Stoffe sind bereits in den Erdölfraktionen enthalten und können daraus durch geeignete Aufarbeitungsverfahren isoliert werden. Andere dagegen müssen erst durch spezielle chemische Umsetzungen aus diesen Fraktionen gewonnen werden (↗ Übersicht 1). Während ein Teil der petrolchemisch einsetzbaren Fraktionen ausreichend zur Verfügung steht, bereitet die Bereitstellung einiger Stoffe Schwierigkeiten.
Problemlos ist die Nutzung von Erdölrückständen für die Druckvergasung zu **Synthesegas.** Für die Druckvergasung werden nur etwa 10% des anfallenden Rückstandes benötigt, denn der überwiegende Teil des benötigten Synthesegases wird aus Erdgas erzeugt.
Ebenso kann der Bedarf an Stoffen für die Gewinnung von **n-Paraffinen** aus der anfallenden Dieselkraftstofffraktion gedeckt werden. Die Hauptprobleme der Bereitstellung an petrolchemischen Grundstoffen bestehen bei solchen Grundstoffen, die aus der Benzinfraktion gewonnen werden. Einerseits steigt



Übersicht 1: Schema der Erdölverarbeitung der DDR [15]

durch die zunehmende Motorisierung der Verbrauch an Fahrbenzin, andererseits konzentriert sich der Bedarf der Petrolchemie vorwiegend auf die gleichen Fraktionen, aus denen zum Beispiel **Äthen, Propen** und **Butadien** gewonnen werden. Es ist daher erforderlich, Petroleumfraktionen zu Benzin zu spalten. Der steigende Verbrauch an Fahrbenzin muß mit dem steigenden Bedarf an petrolchemischen Grundstoffen abgestimmt werden. ② ↗ S. 96
Die Bereitstellung von **Aromaten,** insbesondere von Benzol, ist ebenfalls mit Problemen verbunden. Ein Teil der benötigten Aromaten entsteht als Nebenprodukt der Benzinpyrolyse sowie der Reforming-Verfahren. Eine Erhöhung der Produktion wird durch Extraktion von Aromaten aus den Benzinfraktionen mit Hilfe geeigneter Lösungsmittel möglich (↗ S. 86). ③ ④ ↗ S. 96
Zur Deckung des erhöhten Bedarfs an niedrigsiedenden Produkten werden in zunehmendem Maße Spaltprozesse (Kracken, Pyrolyse, ↗ S. 86) durchgeführt. Während bisher vorwiegend Benzine und Dieselkraftstoffe Spaltreaktionen unterzogen wurden, werden künftig auch Anteile des Rückstandes, bisher vorwiegend als Heizöl genutzt, zu niedrigsiedenden Komponenten gespalten. Solche Prozesse werden als **tiefes Spalten** bezeichnet. Statt Heizöl ist für die Gewinnung von Energie Kohle einzusetzen.

5.3. Herstellung, Eigenschaften und Verwendung petrolchemischer Grundstoffe

5.3.1. Alkane

Alkane sind gesättigte Kohlenwasserstoffe mit der allgemeinen Formel C_nH_{2n+2}. Sie gehen keine Additionsreaktionen ein und werden auch als Paraffine bezeichnet (lat. „parum affinis" = wenig verwandt, wenig reaktionsfähig). Man unterscheidet normalkettige (n-Alkane) und verzweigte Alkane (i-Alkane). ⑤ ⑥ ↗ S. 96

In der Petrolchemie werden meist n-Alkane verwendet. Diese n-Alkane oder **Normalparaffine** sind vorwiegend Verbindungen der Zusammensetzung $C_{10}H_{22}$ bis $C_{18}H_{38}$.

Die Normalparaffine können bei der Destillation des Erdöls aus der Mittelölfraktion gewonnen werden (↗ S. 43). Die n-Alkane werden vorwiegend zur Herstellung von Textilhilfsmitteln, insbesondere von Waschmitteln, verwendet (↗ S. 89).

Für andere Verfahren der Petrolchemie muß aus den n-Alkanen das sogenannte **Synthesegas** hergestellt werden.

▶ **Als Synthesegas werden Gasgemische aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid bezeichnet, die zur Herstellung zahlreicher Produkte der chemischen Industrie (z. B. Plaste, Chemiefaserstoffe, Düngemittel) dienen.**

Synthesegas wird außerdem zur Herstellung wichtiger organischer und anorganischer Grundchemikalien, wie Methanol und Ammoniak, sowie als Wasserstofflieferant für die Hydroraffination von Erdölprodukten verwendet (↗ S. 50). ⑦ ↗ S. 96

Synthesegas kann durch *katalytische Druckvergasung* von Alkanen erzeugt werden. So kann zum Beispiel Methan folgendermaßen reagieren:

■ $CH_4 + H_2O \xrightarrow{\text{Katalysator}} 3\,H_2 + CO$ ⑧ ↗ S. 96

Auch durch Verfahren der Kohleveredlung wird Synthesegas gewonnen. ⑨ ↗ S. 96

5.3.2. Alkene

Alkene sind ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit der allgemeinen Formel C_nH_{2n}. Sie gehen Additions- beziehungsweise Polymerisationsreaktionen ein und werden auch als *Olefine* bezeichnet. Wie bei den Alkanen wird auch bei Alkenen zwischen n- und i-Alkenen unterschieden. Zur Bezeichnung der Lage der Dop-

pelbindungen wird die Nummer des Kohlenstoffatoms, dem die Doppelbindung folgt, in Klammern hinter den Namen des Alkens gesetzt. ⑩ ↗ S. 96

■ $CH_3—CH = CH—CH_2—CH_3$ n-Penten-(2)

Sind im Molekül mehrere Doppelbindungen enthalten, wird der Endung das entsprechende griechische Zahlwort vorangesetzt.
(2 Doppelbindungen: —dien, allgemeine Formel: C_nH_{2n-2};
3 Doppelbindungen: —trien, allgemeine Formel: C_nH_{2n-4})

■ $CH_2=CH—CH_2—CH= CH—CH_2—CH=CH_2$ n-Oktantrien-(1.4.7)

Als **Ausgangsstoffe der Petrolchemie** haben **Äthen, Propen** und **Butadien-(1.3)** besondere Bedeutung. ⑪ ↗ S. 96
Möglichkeiten der *Darstellung* von Alkenen im Labor sind in Tabelle 23 erfaßt.

Tabelle 23 Darstellung von Alkenen

Ausgangsstoffe	Reaktion	Experiment
Alkane	Dehydrierung	35, S. 77
	Pyrolyse	12, S. 45
Alkine	Hydrierung	36, S. 78
Alkanole	Dehydratisierung	37, S. 79
Alkylhalogenide	Dehalogenierung	38, S. 80
	Dehydrohalogenierung	⑫ ⑬ ↗ S. 96

35
▼ *Stellen Sie Äthen durch Dehydrierung von Methan dar!*

Geräte: Verbrennungsrohr (l = 200 mm), 3 Gaswaschflaschen, Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Brenner

Chemikalien: Chrom(III)-oxid, Baeyers Reagens, Glaswolle, Methan (oder Stadtgas bzw. Erdgas)

Durchführung

1. Füllen Sie eine 12 cm lange Schicht aus einem Gemisch von Chrom(III)-oxid und Glaswolle in das Verbrennungsrohr (Abb. 22)!

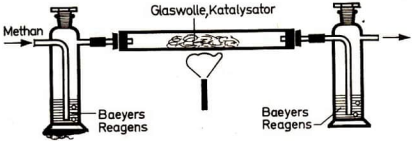


Abb. 22
Darstellen von Äthen aus Methan

2. Leiten Sie langsam Methan oder Stadtgas durch die Apparatur, und führen Sie die Knallgasprobe [6] durch!
3. Erhitzen Sie bei negativem Ergebnis der Knallgasprobe das Chrom(III)-oxid-Glaswolle-Gemisch!

Auswertung

Bei Vorhandensein ungesättigter Verbindungen (z.B. Äthen) im Reaktionsprodukt tritt in der zweiten Gaswaschflasche im Gegensatz zur ersten Gaswaschflasche eine Entfärbung beziehungsweise Braunfärbung auf. Die erhöhte Temperatur und der Katalysator (Chrom(III)-oxid auf Glaswolle) bewirken eine chemische Reaktion des Methans, wobei unter anderem auch ungesättigte Verbindungen entstehen. ⑭ ↗ S. 96
Bemerkung: Tritt bei Verwendung von Stadt- oder Erdgas bereits in der ersten Gaswaschflasche eine Farbänderung auf, müssen die ungesättigten Verbindungen vorher durch Auswaschen mit Baeyers Reagens oder Bromwasser entfernt werden.

36
▼ *Stellen Sie Äthen durch Hydrierung von Äthin dar!*

Geräte: 2 Kolbenprober (100 cm^3), Verbrennungsrohr (l = 200 mm), 2 T-Stücke, 3 Quetschhähne, Brenner, Reagenzglas

Chemikalien: Wasserstoff, Äthin, Nickel(II)-nitrat-6-Wasser, Magnesiumnitrat-6-Wasser, Äthandisäure (Oxalsäure, etwa 0,5%ig), Glaswolle

Vorbereitende Arbeiten

1. Lösen Sie zur Herstellung des Katalysators 3,5 g Nickel(II)-nitrat und 10 g Magnesiumnitrat in 100 ml Wasser, das auf eine Temperatur von etwa 60 °C erwärmt wurde!
2. Geben Sie zu dieser Lösung 100 ml Oxalsäure (Vorsicht, Gift 2!)!
3. Filtrieren Sie nach 24 h den entstehenden Oxalatniederschlag ab, waschen Sie diesen mit Wasser, und trocknen Sie ihn bei 105 ··· 110 °C!

Durchführung

1. Mischen Sie den Katalysator mit Glaswolle, und füllen Sie ihn so in das Verbrennungsrohr (Abb. 23) ein, daß der ganze Querschnitt des Rohres ausgefüllt ist!
2. Leiten Sie Wasserstoff durch das Verbrennungsrohr, und führen Sie die Knallgasprobe durch!
3. Erhitzen Sie nach negativem Ausfall der Knallgasprobe das Verbrennungsrohr, bis sich der Katalysator schwarz färbt!
4. Schließen Sie den Hahn 3, und entfernen Sie den Brenner!
5. Leiten Sie in den Kolbenprober B 80 ml Wasserstoff ein, und schließen Sie den Hahn 2!

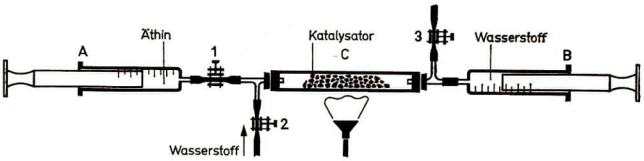


Abb. 23 Darstellen von Äthen aus Äthin

6. Lösen Sie bei geschlossenem Hahn 1 die Schlauchverbindung von Kolbenprober A, füllen diesen mit 40 ml Äthin (↗ LB Kl. 8), und stellen Sie die Schlauchverbindung wieder her!
7. Nachdem der Katalysator erkaltet ist, öffnen Sie den Hahn 1 und durchmischen die Gase, indem Sie die Kolbenprober mehrfach hin- und herbewegen.

Auswertung

Das Verbrennungsrohr wird durch die exotherme Reaktion warm. Nach dem Abkühlen der Apparatur ist eine deutliche Volumenabnahme festzustellen.

$CH{\equiv}CH + H_2 \rightleftarrows CH_2{=}CH_2$

Die Hydrierung kann auch vollständig bis zum Äthan verlaufen.

$CH_2{=}CH_2 + H_2 \rightleftarrows CH_3{-}CH_3$

37 ▼ *Stellen Sie Äthen durch Dehydratisierung von Äthanol dar!*

Geräte: Reaktionskolben (25 cm³), Gasableitungsrohr, Kristallisierschale (d = 95 mm), Erlenmeyerkolben (25 cm³), 2 Halbmikro-Reagenzgläser, Halbmikro-Tropfer, Siedesteine, Brenner

Chemikalien: Konzentrierte Schwefelsäure, Äthanol (95 %ig), Bromwasser, Baeyers Reagens

Durchführung

1. Geben Sie in den Reaktionskolben (Abb. 24) Siedesteine und 2 ml konzentrierte Schwefelsäure (Vorsicht, Gift 2, ätzend!), und stellen Sie die Apparatur nach Abbildung 24, Seite 80, zusammen!
2. Tropfen Sie aus dem Halbmikro-Tropfer Äthanol in den Reaktionskolben, und erwärmen Sie diesen vorsichtig!
3. Führen Sie die Knallgasprobe durch, und fangen Sie nach negativem Ausfall das entstehende Gas pneumatisch im Erlenmeyerkolben und in zwei Halbmikro-Reagenzgläsern auf!
4. Beenden Sie das Experiment, indem Sie das Gasableitungsrohr aus dem Wasser nehmen und danach das Erhitzen einstellen! ⑮ ↗ S. 96
5. Prüfen Sie das aufgefangene Gas im Erlenmeyerkolben auf Brennbarkeit,

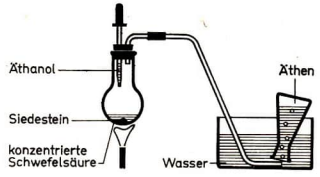


Abb. 24
Darstellen von Äthen aus Äthanol

im ersten Halbmikro-Reagenzglas mit Bromwasser, im zweiten Halbmikro-Reagenzglas mit Baeyers Reagens!

Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Beobachtungen in folgende Tabelle ein!

Brennbarkeit des Reaktionsprodukts	
Reaktion mit Bromwasser	
Reaktion mit Baeyers Reagens	

2. Erklären Sie die Beobachtungsergebnisse, und entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Darstellung des Äthens, die Verbrennung des Äthens und die Reaktion des Äthens mit Bromwasser! ⑯ ↗ S. 96

38 ▼

Stellen Sie Äthen durch Dehalogenierung von 1.2-Dibromäthan dar!

Geräte: Reaktionskolben (25 cm³), 2 Ausgleichsrohre, Halbmikro-Gaswäscher, Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Kristallisierschale (d = 95 mm)

Chemikalien: 1.2-Dibromäthan, Äthanol (95 %ig), Zink(pulv.), Bromwasser

Durchführung

Vorsicht, 1.2-Dibromäthan ist ein Gift der Abteilung 2!
1. Füllen Sie in den Reaktionskolben (Abb. 25) 0,5 g Zinkpulver und 5 ml Äthanol!

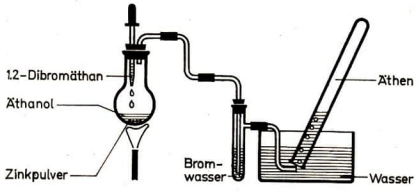


Abb. 25
Darstellen von Äthen aus 1.2-Dibromäthan

2. Tropfen Sie aus dem Halbmikro-Tropfer 1 ml 1.2-Dibromäthan zu, und erwärmen Sie das Gemisch leicht!
3. Leiten Sie das entstehende Gas durch einen Halbmikro-Gaswäscher mit Bromwasser, fangen Sie es pneumatisch auf, und prüfen Sie es auf Brennbarkeit!

Auswertung

Durch Zink wird eine Dehalogenierung von 1.2-Dibromäthan bewirkt. Reaktionsprodukte sind Äthen und Zinkbromid.

$$Br{-}CH_2{-}CH_2{-}Br + Zn \rightarrow H_2C{=}CH_2 + ZnBr_2$$

Bemerkung: Äthen läßt sich auch katalytisch aus Monobromäthan durch Dehydrohalogenierung herstellen.

$$H_3C{-}CH_2Br \xrightarrow{\text{Katalysator}} H_2C{=}CH_2 + HBr$$

5.3.3. Aromaten

Der **Grundbaustein aromatischer Verbindungen** (Aromaten) ist das **Benzol** mit der Summenformel C_6H_6. ⑰ ⑱ ↗ S. 96
Wichtige, in der Petrolchemie als Ausgangsstoffe eingesetzte Aromaten sind *Benzol*, *Toluol* (*Methylbenzol*) und *Xylol* (*Dimethylbenzol*) sowie das *Äthylbenzol*. Sie werden zur Herstellung von Plasten, Chemiefasern, synthetischem Kautschuk, Weichmachern und Waschmitteln verwendet. ⑲ ↗ S. 96

39 ▼ *Prüfen Sie die Eigenschaften des Benzols, und ziehen Sie Schlußfolgerungen auf die Struktur des Benzols!*

Vorbetrachtung

1. Welche Bindungsarten kommen in organischen Verbindungen vor, und wie kann man sie nachweisen?
2. Welche Reaktionsarten gibt es in der organischen Chemie?
3. Welche Bindungsarten sind aus der *Kekule*-Formel ersichtlich?
4. Treffen Sie eine Voraussage darüber, welche Reaktionen (Reaktionstyp) Benzol auf Grund der *Kekule*-Formel eingehen müßte!
5. Planen Sie eine Experimentieranordnung, mit der Sie die Eigenschaften von Benzol ermitteln können!
6. Geben Sie zu erwartende Beobachtungsergebnisse an!

Durchführung

Führen Sie das Experiment durch, nachdem Sie Ihre Experimentieranordnung mit der Experimentieranleitung A 6, Seite 139, verglichen haben!

Auswertung

Vergleichen Sie das Experimentergebnis mit Ihrer Voraussage!

Die chemischen Eigenschaften des Benzols werden durch das Vorliegen eines Elektronensextetts bewirkt (Abb. 26). Diese Elektronenanordnung wird als *aromatischer* Zustand bezeichnet. Benzol und seine Derivate sind aromatische Verbindungen. Aromatische Verbindungen können auf Grund ihrer Elektronenanordnung nur unter besonderen Bedingungen (Einsatz von Katalysatoren, erhöhte Temperaturen, Lichteinwirkung) Additionsreaktionen eingehen. Wesentlich einfacher gehen sie *Substitutionsreaktionen* ein.

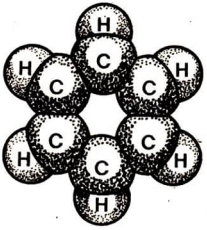
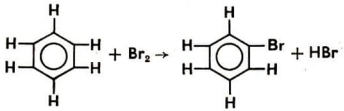


Abb. 26 Modell des Benzolmoleküls

■ So reagiert Benzol in einer Substitutionsreaktion mit Brom zu Monobrombenzol. Dabei entsteht außerdem gasförmiger Bromwasserstoff.



Die Darstellung von Benzol im Laboratorium ist auch durch Dehydrierung von Zyklohexan möglich. ⑳ ↗ S. 96

40
▼ *Stellen Sie durch Dehydrierung von Zyklohexan Benzol dar!*

Geräte: Abdampfschale (d = 100 mm), Büchnertrichter (d = 75 mm), Wasserstrahlpumpe, Rundkolben (100 cm³), Verbrennungsrohr (l = 200 mm), Mohrscher Kühler (l = 400 mm), Vorstoß, Erlenmeyerkolben (100 cm³), Kippscher Gasentwickler, Brenner, Reagenzglas (16 mm × 160 mm)

Chemikalien: Nickel(II)-chlorid-6-Wasser, Glaswolle, Methanallösung (35%ig), Kaliumhydroxid, Zyklohexan, Wasserstoff, destilliertes Wasser, konzentrierte Schwefelsäure

Vorbereitende Arbeiten

1. Tränken Sie in der Abdampfschale 10 g Glaswolle mit 25 ml konzentrierter Nickel(II)-chloridlösung, und verdampfen Sie dann vorsichtig das Wasser aus dem Stoffgemisch!
2. Geben Sie nach dem Abkühlen zu dem Gemisch etwa 8 ml Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!) sowie eine Lösung von 5 g Kaliumhydroxid (Vorsicht, Gift 2, ätzend!) in 10 ml Wasser, und rühren Sie kräftig durch!
3. Überführen Sie die hellgrüne Masse in einen Büchnertrichter, und waschen Sie mit destilliertem Wasser solange, bis das Filtrat nur noch Spuren an Chloridlonen enthält!
4. Trocknen Sie die Masse bei 120 °C etwa 3 h, und lockern Sie diese danach auf!
5. Überführen Sie den so gewonnenen Katalysator in das Verbrennungsrohr!
6. Leiten Sie Wasserstoff über den Katalysator!
7. Erhitzen Sie den Katalysator nach negativem Ausfall der Knallgasprobe im Wasserstoffstrom bis zur Rotglut!
8. Lassen Sie den Katalysator dann im Wasserstoffstrom erkalten, und bewahren Sie ihn luftdicht verschlossen auf!

Durchführung

1. Geben Sie 20 ml Zyklohexan in den Rundkolben (Abb. 27)!
2. Erhitzen Sie den Katalysator bis zur Rotglut!
3. Erhitzen Sie das Zyklohexan mit kleiner Flamme bis zum Sieden!
4. Verbinden Sie den Rundkolben und das Verbrennungsrohr!
5. Beenden Sie das Experiment nach dem Überdestillieren von 5 ml Flüssigkeit durch Trennen der Verbindung zwischen Rundkolben und Verbrennungsrohr!
6. Prüfen Sie das Destillat auf Benzol!
Mischen Sie dazu in einem Reagenzglas 1 Tropfen 35%ige Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!) und 1 ··· 2 ml Schwefelsäure (Vorsicht, Gift 2, ätzend!), und geben Sie wenige Tropfen des Destillats hinzu!
7. Führen Sie diese Reaktion auch mit Zyklohexan (Blindprobe!) und mit reinem Benzol (Vorsicht, Gift 2!) durch!

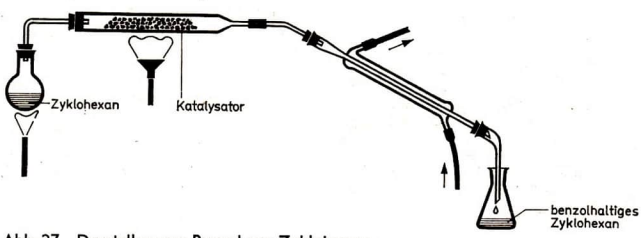
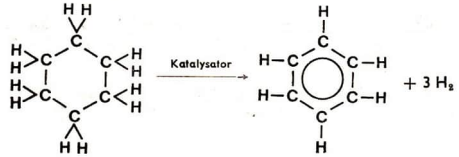


Abb. 27 Darstellen von Benzol aus Zyklohexan

Auswertung

Das Vorhandensein von Benzol im Destillat wird bei der Nachweisreaktion durch eine intensiv braunrote bis fast schwarze Färbung angezeigt.



Zyklohexan läßt sich katalytisch zu Benzol dehydrieren.
Die Farbreaktion mit Methanal und Schwefelsäure ist ein charakteristischer Nachweis für Benzol und andere aromatische Kohlenwasserstoffe.

Die aromatischen Kohlenwasserstoffe weisen in chemischen und physikalischen Eigenschaften große Ähnlichkeit auf.

41 ▼ *Überprüfen Sie die Mischbarkeit von Wasser, Ölen und Fetten mit Benzol!*

42 ▼ *Untersuchen Sie die Brennbarkeit von Benzol und Toluol!*

5.4. Technische Herstellung petrolchemischer Grundstoffe

5.4.1. Technische Herstellung von Normalparaffinen nach dem Parex-Verfahren

Die Waschmittelindustrie hat einen hohen Bedarf an **n-Paraffinen** mittlerer Kettenlänge der Moleküle (unter 20 Kohlenstoffatomen). Diese wurden früher auf der Basis von Braunkohlensynthesegas, das nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren gewonnen wurde, hergestellt. Die mit hohem Kosten- und Materialaufwand nach diesem Verfahren betriebene Anlage in Schwarzheide konnte nach der Fertigstellung einer neuen, modernen petrolchemischen Paraffin-Anlage in Schwedt stillgelegt werden.
In Schwedt werden seit 1971 n-Paraffine nach dem **Parex-Verfahren** produziert. Die Parex-Anlage wurde vom VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" in Zusammenarbeit mit dem VEB Farbenwerk Wolfen entwickelt. Mit der Errichtung dieser Anlage war die Voraussetzung geschaffen, in der DDR innerhalb eines Jahres (von 1971 bis 1972) die Produktion von Vollwaschmitteln (z.B. „Spee") auf 184% zu steigern. Von den Werktätigen des VEB Waschmittelwerk Genthin wurde die ausgezeichnete Qualität des Zulieferproduktes hervorgehoben. Die vom Petrolchemischen Kombinat Schwedt hergestellten

n-Paraffine konnten auf der Leipziger Messe 1972 mit einer Goldmedaille ausgezeichnet werden.
Die Entwicklung des Parex-Verfahrens ist ein Beispiel dafür, wie in unserer Volkswirtschaft durch planmäßige Gemeinschaftsarbeit von Wissenschaftlern, Technikern und anderen Werktätigen Ergebnisse erzielt werden, die der weiteren Hebung des Lebensniveaus unserer Bevölkerung dienen.

Das Parex-Verfahren beruht auf einer Trennung von Stoffen des Dieselkraftstoff-Siedebereiches.
Dabei werden n-Paraffine von i-Paraffinen durch ein Molekularsieb-Trennverfahren getrennt.

Das Wort *Parex* ist von **Par**affin und **Ex**traktion abgeleitet. Als Molekularsieb dienten zunächst in der Natur vorkommende wasserhaltige Natriumaluminiumsilikate (Zeolithe), die als gesintertes Material in Form von kleinen Stäbchen verwendet wurden. Heute werden synthetische Zeolithe verwendet. Die Molekularsiebe besitzen Poren, durch die Moleküle bis zu einer bestimmten Größe eindringen können. Die Moleküle der n-Paraffine sind verhältnismäßig klein und können beim Durchfließen des Apparates in das Molekularsieb eindringen. Die größeren Moleküle der i-Paraffine verbleiben in der Flüssigkeit.
In einem ersten Arbeitsgang wird der Ausgangsstoff Dieselkraftstofffraktion in einem Röhrenofen verdampft (Siedebereich von etwa 230 ··· 320 °C). Anschließend strömt der Dampf von oben durch einen Adsorber, in dem der Zeolith fest angeordnet ist. Die Molekularsiebkörper beladen sich mit n-Paraffinen bis zur Grenze ihrer Aufnahmefähigkeit, während der n-paraffinfreie Anteil unten den Adsorber verläßt (↗ Abb. 28).
In einem zweiten Arbeitsgang werden die restlichen nicht adsorbierten Kohlenwasserstoffe mit Hilfe eines Spülgases (z. B. Stickstoff) aus dem Adsorber herausgespült. In einem dritten Arbeitsgang werden die n-Paraffine aus den Poren des Molekularsiebes durch Überleiten gasförmiger Desorptionsmittel (z. B. Ammoniak, Propan, Butan) verdrängt (desorbiert).

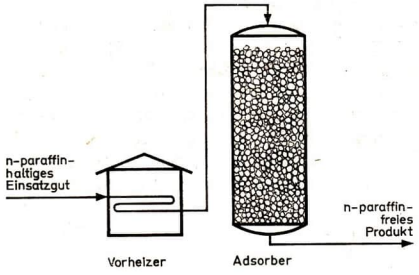


Abb. 28
Vereinfachtes Schema einer Molekularsiebanlage

5.4.2. Technische Herstellung von Alkenen (Olefinen) durch Pyrolyse-Prozesse

Olefine (ungesättigte Kohlenwasserstoffe) werden in der Petrolchemie in großem Umfang benötigt. Von besonderer Bedeutung ist das Äthen (Äthylen), aber auch Propen und die Butene sind wichtige petrolchemische Ausgangsstoffe und werden in immer größeren Massen benötigt. Im Erdöl und Erdgas sind diese Stoffe jedoch nicht enthalten. Sie können aber aus diesen beziehungsweise aus Produkten der Erdölaufarbeitung durch Dehydrierung der analogen n-Paraffine (↗ Experiment 35, S. 77) und vor allem durch **Pyrolyse-Prozesse** (Hochtemperatur-Behandlung) gewonnen werden.
Die Pyrolyse-Prozesse gleichen im Prinzip den Spaltreaktionen höhermolekularer Kohlenwasserstoffe beim thermischen Kracken (↗ S. 44).

▶ **Die Pyrolyse-Prozesse ermöglichen es, durch geeignete Reaktionsbedingungen, wie hohe Reaktionstemperatur, möglichst kurze Verweilzeit im Reaktor und schneller Abbruch der Reaktion, weitgehend niedere gasförmige Olefine zu erhalten.**

Durch Pyrolyse kann auch Äthin gewonnen werden. Als Nebenprodukt tritt bei allen Pyrolyse-Verfahren Kohlenstoff in Form von Petrolkoks auf.
Die Aufarbeitung des Reaktionsproduktes geschieht bei allen Pyrolyseprozessen durch Destillation unter Anwendung entsprechender Drücke. Charakteristisch für diese Prozesse ist, daß sie weitgehend automatisiert durchgeführt werden. Es ist möglich, kontinuierlich Produkte gleichbleibender Qualität zu produzieren.

5.4.3. Technische Herstellung von Aromaten nach dem Arex-Verfahren

Die petrolchemisch wichtigen **Aromaten** fallen bei der Benzinpyrolyse als Nebenprodukt an. Außerdem werden Aromaten durch Reforming-Prozesse aus Zykloalkanen (z. B. Zyklohexan) gewonnen (↗ S. 47). Sie kommen meist im Gemisch als **BTX**-Aromaten (BTX — **B**enzol, **T**oluol, **X**ylol) vor. Um die anfallenden Aromaten petrolchemisch verwenden zu können, ist eine Isolierung aus den anderen Reformatprodukten erforderlich. Diese Isolierung erfolgt durch *Extraktion* mit Hilfe von speziellen Lösungsmitteln.
Derartige Lösungsmittel müssen ein gutes Lösevermögen für Aromaten besitzen, jedoch nicht für kettenförmige Kohlenwasserstoffe und andere Verbindungen.
Das moderne, in der DDR entwickelte **Arex-Verfahren** zur technischen Herstellung von Aromaten beruht auf einer Extraktivdestillation.

▶ **Eine Extraktivdestillation ist eine Extraktion, die während der Destillation in der Dampfphase durchgeführt wird. Sie erfolgt mit Dimethylformamid als Lösungsmittel.**

Der Name *Arex* leitet sich von **Ar**omaten und **Ex**traktion ab.

Bei der Kondensation gelangen die Aromaten mit dem Lösungsmittel in die Vorlage.
Eine Reingewinnung einzelner Aromaten, zum Beispiel Benzol, Toluol oder Xylol, kann durch anschließende Destillation erfolgen.
In einigen Fällen, zum Beispiel bei dicht beieinander liegenden Siedetemperaturen der zu trennenden Stoffe, erfolgt eine Trennung durch Tieftemperaturkristallisation.

5.5. Wichtige Reaktionen petrolchemischer Grundstoffe

5.5.1. Reaktionen der Alkane

Chlorierung von Alkanen

Aus **Methan** und **Äthan** können **Chlorderivate** hergestellt werden, die als Lösungsmittel und Feuerlöschmittel vielfach Verwendung finden.
㉑ ㉒ ㉓ ↗S. 96 und S. 97

Oxydation von Paraffinen

Normalparaffine lassen sich zu **Fettsäuren** oxydieren. Als Fettsäuren werden unverzweigte Monoalkansäuren bezeichnet, die etwa 15 ··· 19 Kohlenstoffatome im Molekül haben. ㉔ ㉕ ㉖ ↗ S. 97
Für die Paraffinoxydation läßt sich eine allgemeine chemische Gleichung angeben.

$$2\,CH_3{-}(CH_2)_n{-}CH_3 + 3\,O_2 \xrightarrow{\text{Katalysator}} 2\,CH_3{-}(CH_2)_n{-}COOH + 2\,H_2O$$

Dabei können auch ungesättigte Fettsäuren entstehen. ㉗ ↗ S. 97

43 ▼ *Führen Sie eine Oxydation von Paraffinöl mit Hilfe von Kaliumpermanganat durch!*

Geräte: Reagenzglas mit Seitenrohr (30 mm × 200 mm), Glasrohr mit Fritte, Laborthermometer (0/+300 °C), Gummidoppelgebläse, Reagenzglas (16mm × 160 mm), Brenner

Chemikalien: Paraffinöl, Kaliumpermanganat, Unitestlösung, Schiffs Reagens (fuchsinschweflige Säure)

Durchführung

1. Füllen Sie in das große Reagenzglas etwa 10 ml Paraffinöl, und fügen Sie eine Spatelspitze Kaliumpermanganat zu!
2. Verschließen Sie das Reagenzglas so mit einem doppelt durchbohrten Stopfen, daß Thermometer und Frittenrohr in die Flüssigkeit eintauchen!
3. Verbinden Sie das Frittenrohr mit einem Gummidoppelgebläse, und schließen Sie an das Seitenrohr des Reagenzglases als Vorlage ein mit wenig Wasser gefülltes Reagenzglas an!
4. Erhitzen Sie das Paraffinöl auf eine Temperatur von etwa 250 °C, und drücken Sie mit dem Handgebläse langsam Luft durch das heiße Paraffinöl!
5. Beenden Sie die Luftzufuhr sowie das Erhitzen nach etwa 40 min!
6. Prüfen Sie die eine Hälfte des Wassers in der Vorlage mit Unitestlösung, die andere Hälfte mit Schiffs Reagens!

Auswertung

Bei Zugabe beider Reagenzlösungen ist ein Farbumschlag der zugegebenen Lösung zu beobachten.
Ein Teil der im Paraffinöl enthaltenen Alkane wird in Gegenwart von Kaliumpermanganat durch den Sauerstoff der Luft zu Alkanalen beziehungsweise zu Alkansäuren oxydiert.

$$4\ CH_3{-}(CH_2)_n{-}CH_3 + 5\ O_2 \xrightarrow{\text{Katalysator}}$$

Alkan

$$2\ CH_3{-}(CH_2)_n{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}H + 2\ CH_3{-}(CH_2)_n{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}OH + 4\ H_2O$$

Alkanal Alkansäure

Die bei den Reaktionstemperaturen zum Teil flüchtigen Alkanale und Alkansäuren gelangen mit der Luft in die Vorlage. (28) ↗ S. 97

Die Reaktionen der n-Paraffine sind in Tabelle 24 zusammengefaßt.

Reaktionen zur Herstellung von Seifen

Fettsäuren dienen vorwiegend der Herstellung von **Seifen** und **Waschmitteln.** Die zu Reinigungszwecken verwendeten Seifen sind wasserlösliche Natrium- oder Kaliumsalze gesättigter und ungesättigter Fettsäuren. Sie werden durch Neutralisation von Fettsäuren hergestellt.

$$C_{17}H_{35}COOH + NaOH \rightarrow C_{17}H_{35}COONa + H_2O$$

Oktadekansäure (Stearinsäure) — Seife (Na-Stearat)

Tabelle 24 Technisch wichtige Reaktionen der n-Paraffine mittlerer Kettenlänge

Ausgangsstoff	Reaktion	Reaktionsprodukte	Weiterverarbeitung zu
n-Paraffine	Oxydation	höhere Alkansäuren	Kerzen, Seifen, Wachse, Schuhcreme, Schmierfette,
		höhere Alkohole	Isoliermassen, Waschmittel,
		höhere Alkanale	Kunstharze
		höhere Ketone	Lösungsmittel
	Halogenierung	Alkylhalogenide	Anstrichfarben, Lösungsmittel, Duftstoffe
	Nitrierung	Nitroalkane	Textilhilfsmittel, Netzmittel, Waschmittel, Emulgatoren, Farbstoffe, Pharmazeutika
	Sulfoxydation	Alkylsulfate	Treibstoffe, petrolchemische Rohstoffe
	Sulfochlorierung	Alkylsulfonsäuren	
		Alkylsulfonate	
		Thioalkohole	
	Hydrierende Spaltung (Pyrolyse)	niedere Alkane	
		Olefine, Aromaten	

Sulfoxydation: Gleichzeitige Reaktion mit Sauerstoff und Schwefeldioxid in Gegenwart von ultraviolettem Licht

Sulfochlorierung: Gleichzeitige Reaktion mit Chlor und Schwefeldioxid in Gegenwart von ultraviolettem Licht

Reaktionen zur Herstellung von Waschmitteln

Hauptbestandteil vieler Waschmittel sind Schwefelsäurealkylester (Alkylsulfate), die aus Fettsäuren gewonnen werden.
Die Herstellung wird durch folgende Reaktionen gekennzeichnet.

Hydrierung

$$CH_3{-}(CH_2)_n{-}COOH + 2\,H_2 \xrightarrow{\text{Katalysator}} CH_3{-}(CH_2)_n{-}CH_2OH + H_2O$$

Veresterung mit Schwefelsäure

$$CH_3{-}(CH_2)_n{-}CH_2OH + HO{-}SO_3H \rightarrow CH_3{-}(CH_2)_n{-}CH_2{-}O{-}SO_3H + H_2O$$

Schwefelsäurealkylester

(29) ↗ S. 97

Neutralisation mit Natronlauge

$$CH_3{-}(CH_2)_n{-}CH_2{-}O{-}SO_3H + NaOH \rightarrow CH_3{-}(CH_2)_n{-}CH_2{-}O{-}SO_3Na + H_2O$$

Natriumsalz des Schwefelsäurealkylesters

Die auf dieser Grundlage hergestellten Waschmittel garantieren eine hohe Waschwirksamkeit. Sie sind außerdem biologisch abbaufähig und führen daher auch bei massenhaftem Verbrauch nicht zur Vergiftung des Erdreichs und der Gewässer.

44 ▼ *Prüfen Sie eine stark verdünnte Seifenlösung und eine Waschmittellösung (z. B „Spee" oder „Fewa") mit einem Indikator!*

5.5.2. Reaktionen der Alkene

Von den Alkenen werden großtechnisch vor allem **Äthen, Propen** und **Butadien** für petrolchemische Verfahren eingesetzt.
Die vielseitige Verwendung des **Äthens** beruht auf den guten Reaktionseigenschaften dieser Verbindung. Durch Hydratisierung (Addition von Wasser), Oxydation, Hydrohalogenierung (besonders Chlorwasserstoffanlagerung), Chlorierung, Benzolanlagerung, Oligomerisierung (Addition, bei der wenige Moleküle mit Mehrfachbindung zusammentreten) und Polymerisierung können die verschiedenartigsten Produkte hergestellt werden (Tab. 25).

Tabelle 25 Reaktionen des Äthens

Ausgangsstoff	Reaktion	Zwischenprodukt	Technisches Endprodukt
Äthen	Hydratisierung	Äthanol	Äthanal
Äthen	Oxydation	Äthanal Butadien	Äthansäure synthetischer Kautschuk „Buna"
Äthen	Hydrochlorierung	Monochloräthan	Bleitetraäthyl
Äthen	Chlorierung	Dichloräthen Monochloräthen (Vinylchlorid)	Polyvinylchlorid (PVC)
Äthen	Benzol-Anlagerung	Äthylbenzol Styrol	Polystyrol Buna S
Äthen	Oligomerisierung	C_{10} ··· C_{20}-Alkane	C_{10} ··· C_{20}-Alkohole Alkyl-Sulfate (Waschmittel)
Äthen	Polymerisation		Polyäthylen ⑳ ↗ S. 97

Tabelle 26 gibt einen Überblick über die Verwendung der aus Äthen hergestellten Produkte.

Tabelle 26 Verwendung der aus Äthen hergestellten Produkte

Produkt	Zusammensetzung	Verwendung
Äthanal	$CH_3—CHO$	Zwischenprodukt für die Herstellung von Äthanol
Äthanol	$C_2H_5—OH$	Lösungsmittel, Brennstoff
Äthanolamine	$HO—CH_2—CH_2—NH_2$ $(HO—CH_2—CH_2)_2—NH$ $(HO—CH_2—CH_2)_3—N$	Textilhilfsstoffe, Waschmittel, Emulgatoren
Äthansäure (Essigsäure)	$CH_3—COOH$	Pharmazeutika, Speiseessig
Äthylbenzol	$C_6H_5—C_2H_5$	Zwischenprodukt für die Herstellung von Styrol
Monochloräthan (Äthylchlorid)	$CH_3—CH_2Cl$	Zwischenprodukt für die Herstellung von Bleitetraäthyl, Lösungsmittel, Kältemittel
Äthandiol (Äthylenglykol)	$HO—CH_2—CH_2—OH$	Gefrierschutzmittel „Glysantin“
Äthandiolkarbonsäureester (Äthylenglykoläther)	$HO—CH_2—CH_2—O—R$	Lösungsmittel („Cellosolve“)
Äthanepoxid (Äthylenoxid)	$H_2C—CH_2$ $\diagdown\ \diagup$ O	Epoxide, Epoxidharze
Bleitetraäthyl	$(C_2H_5)_4Pb$	Antiklopfmittel für Vergaserkraftstoffe
Butadien	$H_2C=CH—CH=CH_2$	Zwischenprodukt für Synthesekautschuk „Buna“
Dichloräthan	$ClH_2C—CH_2Cl$	Zwischenprodukt für die Herstellung von Vinylchlorid
Polyäthandiole (Polyäthylenglykole)	$HO—CH_2(CH_2—O—CH_2)_n—CH_2OH$	Lösungsmittel, Brems- und Hydraulikflüssigkeit, Weichmacher, Textilhilfsstoff, Karbowachse, Zwischenprodukt in Kosmetik und Pharmazie
Styrol (Vinylbenzol)	$C_6H_5—CH=CH_2$	Ausgangsstoff für Polystyrol und Buna S
Monochloräthen (Vinylchlorid)	$H_2C=CHCl$	Ausgangsstoff für die PVC-Herstellung

Viele Reaktionen des Äthens laufen nur unter Verwendung von Katalysatoren und unter besonderen Temperatur- und Druckbedingungen ab.

45
▼ *Stellen Sie aus Äthen Äthanol dar!*

Geräte: Gasometer (mit Äthen gefüllt), Dreihalsrundkolben (250 cm³), 2 Laborthermometer (0/+200 °C), 3 Einwegglashähne, Destillierkolben (250 cm³), Mohrscher Kühler (l = 400 mm), Becher (100 cm³), Brenner

Chemikalien: Äthen, Silbernitrat, konzentrierte Schwefelsäure, Jodlösung (etwa 23%ig), Natriumhydroxidlösung (4%ig)

Vorbereitende Arbeiten

Stellen Sie Äthen dar, und fangen Sie es pneumatisch in einem Gasometer oder in einer Flasche 1000 cm³ auf, die noch unter Wasser mit einem Stopfen mit Tropftrichter und Ableitungsrohr versehen wird!

Durchführung

Vorsicht, Äthen-Luft-Gemische sind explosiv!

1. Füllen Sie in den Dreihalsrundkolben (Abb. 29) 0,4 g Silbernitrat (Vorsicht, Gift 2!) und 40 ml konzentrierte Schwefelsäure (Vorsicht, Gift 2, ätzend!)!
2. Erwärmen Sie das Gemisch bei geöffnetem Hahn C auf eine Temperatur von 90 °C, öffnen Sie die Hähne A und B, und leiten Sie Äthen durch die Apparatur!
3. Führen Sie die Knallgasprobe mit dem bei Hahn C austretendem Gas durch, bis sie negativ ausfällt!
4. Schließen Sie den Hahn C, damit ein geringer Äthen-Überdruck in der Apparatur entsteht!
5. Nach etwa 10 min Reaktionszeit beenden Sie die Äthenzufuhr, kühlen den Rundkolben ab und überführen das Gemisch vorsichtig in einen Destillierkolben, der 40 ml Wasser enthält!
6. Destillieren Sie etwa 25 ml über!

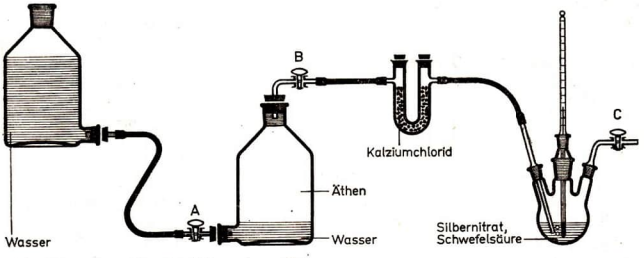


Abb. 29 Darstellen von Äthanol aus Äthen

7. Prüfen Sie das Destillat mit Hilfe der *Jodoformprobe* auf Äthanol!
Versetzen Sie dazu in einem Reagenzglas 0,5 ml des Destillats mit 5 ml Natriumhydroxidlösung!
Erhitzen Sie die Lösung auf ungefähr 60 °C, und geben Sie 0,5 ml Jodlösung in Anteilen zu, bis ein gelber kristalliner Niederschlag von Trijodmethan (Jodoform) entsteht!

Auswertung

Der gelbe Niederschlag von Trijodmethan ist ein Beweis für die Bildung von Äthanol.
Dabei reagiert zunächst Äthen mit konzentrierter Schwefelsäure unter Bildung von Schwefelsäureäthylester. (31) ↗ S. 97

$$CH_2{=}CH_2 + H_2SO_4 \overset{Ag^+}{\rightleftarrows} CH_3{-}CH_2{-}O{-}SO_3H$$

Schwefelsäureäthylester wird dann durch Hydrolyse in Äthanol und Schwefelsäure zerlegt.

$$CH_3{-}CH_2{-}O{-}SO_3H + H_2O \rightleftarrows CH_3{-}CH_2{-}OH + H_2SO_4$$

Das entstandene Äthanol destilliert mit Wasser in die Vorlage über. Das Äthanol kann in der Vorlage durch die Jodoformprobe nachgewiesen werden.

$$CH_3{-}CH_2{-}OH + 4\,J_2 + 6\,NaOH \rightarrow CHJ_3 + HCOONa + 5\,NaJ + 5\,H_2O$$

46 ▼ *Stellen Sie durch Dehydrierung von Äthanol Äthanal dar!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Tiegelzange

Chemikalien: Äthanol, Kupferdrahtwendel, Schiffs Reagens (fuchsinschweflige Säure)

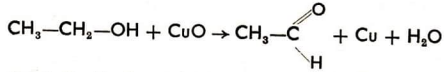
Durchführung

1. Füllen Sie 5 ml Äthanol in ein Reagenzglas!
2. Fertigen Sie eine Drahtwendel durch Umwickeln eines Bleistiftes mit Kupferdraht an!
3. Erhitzen Sie die Kupferdrahtwendel bis zum Glühen, und führen Sie diese mit Hilfe einer Tiegelzange in Äthanol ein! Wiederholen Sie den Vorgang mehrmals!
4. Prüfen Sie sowohl die erhaltene Lösung als auch das als Ausgangsstoff verwendete Äthanol mit Schiffs Reagens!

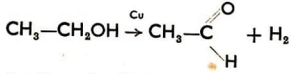
Auswertung

Beim Glühen des Kupferdrahtes entsteht schwarzes Kupfer(II)-oxid, das durch Äthanol zu rotem Kupfer reduziert wird.

Dabei wird Äthanol zu Äthanal dehydriert.



Das heiße Kupfer wirkt als Katalysator für die weitere Dehydrierung des Äthanols zu Äthanal.



47 ▼ *Oxydieren Sie Methanal zu Methansäure (Ameisensäure)!*

Durchführung

Arbeiten Sie nach der Durchführung des Experiments 46, S. 93! Verwenden Sie als Ausgangsstoff Methanal (Vorsicht, Gift 2!) und zum Nachweis der Methansäure (Vorsicht, Gift 2!) Unitestlösung! ㉜ ↗ S. 97

Die Reaktionen des Propens (Propylens) gleichen auf Grund der Zugehörigkeit zur homologen Reihe der Alkene denen des Äthens. Viele der bei Äthen beschriebenen Reaktionen lassen sich auch mit Propen durchführen.
Die Wasseranlagerung kann über den Schwefelsäureester zu Propanol durchgeführt werden. Es entsteht dabei Propanol–(2) (iso-Propanol).

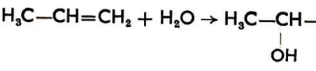


Tabelle 27 Reaktionen des Propens

Ausgangsstoff	Reaktion	Zwischenprodukt	Technisches Endprodukt
Propen	Polymerisation		Polypropylen
Propen	Hydratisierung	iso-Propanol	Propanon (Azeton)
Propen	Substitution von Benzol	Propylbenzol Phenol	Phenoplast Polyamid (Dederon)
Propen	Oxydation	Propenal (Akrolein)	Propantriol (Glyzerin)
Propen	Chlorierung	3-Chlorpropen (1)	Propantriol (Glyzerin)
Propen	Oxydation, Ammoniakanlagerung	Akrylnitril	Polyakrylnitril (Wolpryla) Buna N

so-Propanol („Optal"), das als Lösungsmittel und Desinfektionsmittel in der Medizin verwendet wird, kann durch katalytische Dehydrierung in Propanon (Azeton) überführt werden, das ebenfalls als Lösungsmittel verwendet wird.



Propanon (Azeton) bildet sich außerdem als Nebenprodukt bei der technischen Phenolsynthese aus Propen und Benzol. Tabelle 27 gibt einen Überblick über die Reaktionen des Propens.

5.5.3. Reaktionen der Aromaten

Aus Aromaten werden durch verschiedene Reaktionen Produkte hergestellt, die in unserer Volkswirtschaft eine große Bedeutung haben (z. B. Plaste, synthetischer Kautschuk, Fasern, Farben, Waschmittel). Wichtige Reaktionen dabei sind Oxydationen, Halogenierungen, Alkylierungen, Hydrierungen und Dehydrierungen (Tab. 28).

Tabelle 28 Reaktionen von Aromaten

Ausgangsstoff	Reaktion	Zwischenprodukt	Technisches Endprodukt
Benzol	Oxydation	Maleinsäureanhydrid	Polyesterharze
	Chlorierung	Hexachlorzyklohexan	Insektizide
	Alkylierung	Äthylbenzol Styrol	Polystyrol Buna S
		Propylbenzol Phenol	Polyamid (Dederon) Duroplast
		Alkylbenzol	Waschmittel
Toluol	Entalkylierung		Benzol
	Oxydation	Phenol	Polyamid (Dederon) Phenoplast
	Nitrierung		Farbstoffe Sprengstoffe
Xylol	Oxydation	Phthalsäure	Weichmacher Polyesterfasern
Äthylbenzol	Dehydrierung	Styrol	Polystyrol Buna S

Aufgaben zum Kapitel 5

① Informieren Sie sich über die Projekte „Polymir 50" und „Polymir 60" sowie über weitere Kooperationsvorhaben innerhalb des RGW!
② Wie kann aus höhermolekularen Kohlenwasserstofffraktionen Benzin hergestellt werden?
③ Welche Bedeutung haben Aromaten für die Fahrbenzinherstellung?
④ Welches Verfahren ist für die Extraktion von Aromaten aus der Benzinfraktion geeignet?
⑤ Entwickeln Sie die Strukturformel für n-Hexan und die möglichen i-Hexane, und geben Sie die wissenschaftlichen Namen der i-Verbindungen an!
⑥ Informieren Sie sich über Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von verschiedenen Alkanen! (↗ LB 8)
⑦ Bereiten Sie je einen Vortrag über die Herstellung und Verwendung von Methanol und Ammoniak vor! (↗ChiÜb, S. 150, S. 152)
⑧ Geben Sie die chemische Gleichung für die Herstellung von Synthesegas aus Propan an!
⑨ Bereiten Sie einen Vortrag über die Herstellung von Synthesegas durch Kohlevergasung vor! Vergleichen Sie diese Darstellung mit der petrolchemischen Synthesegasdarstellung! (↗ ChiÜb, S. 145)
⑩ Nennen Sie das charakteristische Strukturmerkmal der Alkene! (↗ ChiÜb, S. 101)
⑪ Mit welcher homologen Reihe von Kohlenwasserstoffen sind die Diene isomer?
⑫ Ordnen Sie die in der Tabelle 23, Seite 77, angegebenen Reaktionen Ihnen bekannten Reaktionstypen zu!
⑬ Überlegen Sie, welche der in Tabelle 23, Seite 77, angegebenen Reaktionen für die großtechnische Gewinnung von Äthen bedeutsam sind!
⑭ Geben Sie die chemische Gleichung für die Dehydrierung von Methan an!
⑮ Warum wird nach dem pneumatischen Auffangen von Gasen bei Abbruch des Experimentes zuerst das Gasableitungsrohr aus der pneumatischen Wanne genommen?
⑯ Berechnen Sie, welches Volumen von Äthen aus 1 ml Äthanol bei vollständiger Umsetzung entsteht!
⑰ Erläutern Sie die Bezeichnung „aromatische" Verbindungen!
⑱ Nach welchen Merkmalen werden die organischen Stoffe heute eingeteilt?
⑲ Arbeiten Sie im Lehrbuch Chemie, Klasse 8, den Abschnitt Benzol durch!
⑳ Wodurch unterscheiden sich Struktur- und Summenformel von Benzol und Zyklohexan? (↗ LB 8)
㉑ Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Darstellung von Mono-, Di-, Tri- und Tetrachlormethan! Bestimmen Sie den Reaktionstyp!

㉒ Stellen Sie Summen- und Strukturformeln der Chlorderivate des Äthans und Hexans auf!

㉓ Wozu werden die Chlorderivate des Äthans und Hexans verwendet? (↗Brockhaus ABC — Chemie)

㉔ Welche funktionelle Gruppe besitzen Alkansäuren?

㉕ Erläutern Sie die Bezeichnung „Fettsäuren"!

㉖ Geben Sie die Summen- und vereinfachte Strukturformel der Hexadekansäure an! (↗ ChiÜb, S. 110)

㉗ Geben Sie die Summen- und vereinfachte Strukturformel einer ungesättigten Fettsäure an! (↗ ChiÜb, S. 110)

㉘ Nennen Sie Siedetemperaturen einiger Alkanale und Alkansäuren! (↗TCH, S. 80 ff.)

㉙ Leiten Sie die Bezeichnung Schwefelsäurealkylester anhand der Summenformel $CH_3—(CH_2)_n—CH_2—O—SO_3H$ ab!

㉚ Geben Sie die chemischen Gleichungen für einige Reaktionen des Äthens, die in Tabelle 25, Seite 90, angeführt sind, an!

㉛ Benennen Sie die in den chemischen Gleichungen der Auswertung zum Experiment 45, Seite 93, stehenden Stoffe!

㉜ Entwickeln Sie für die katalytischen Umsetzungen von Methanol über Methanal zu Methansäure die chemischen Gleichungen!

6. Plaste und Chemiefaserstoffe

Stoffe, die zur Herstellung von Geräten, Maschinen und Werkzeugen benötigt werden, bezeichnet man als **Werkstoffe.** ① ↗ S. 132
Es gibt Werkstoffe, die schon seit langem (Holz, Eisen, Glas, Bronze), aber auch solche, die erst seit relativ kurzer Zeit verwendet werden. Zu den letzteren gehören die Plaste und Chemiefaserstoffe.
Zahlreiche Gebrauchsgegenstände werden aus **Plasten** hergestellt, zum Beispiel Tassen, Schüsseln, Dosen, Schreibgeräte, Schablonen, Heft- und Buchumschläge, Geräteteile, Gehäuse von Geräten, Griffe an Werkzeugen u. a.

Plaste sind meist synthetisch hergestellte, makromolekulare Werkstoffe, die sich plastisch verformen lassen.	
Thermoplaste	**Duroplaste**
sind Plaste, die sich durch Erwärmen beliebig oft plastisch verformen lassen.	sind Plaste, die auf einer Verarbeitungsstufe plastisch sind, durch thermische oder andere Weiterbehandlung jedoch bleibend hart, unlöslich und nicht mehr schmelzbar werden.

② ↗ S. 132
Von den Plasten sind die **Elaste** zu unterscheiden, die zwar ebenfalls zu den makromolekularen Werkstoffen gehören, aber durch Erwärmen nicht plastisch formbar sind. Für die Elaste sind elastische Eigenschaften charakteristisch. Sie kommen in der Natur vor (z. B. Naturkautschuk) oder werden synthetisch hergestellt (z. B. Buna).
Die **Chemiefaserstoffe** werden aufgrund ihrer Eigenschaften in der Textilindustrie vielseitig verwendet. Leichte und zugleich warme Oberbekleidung, Anzugstoffe, die ohne Bedenken gewaschen werden können, pflegeleichte Ober- und Unterbekleidung und viele andere Produkte werden zum Teil aus Chemiefaserstoffen gefertigt.

Viele Zweige unserer Volkswirtschaft verwenden Chemiefaserstoffe. So werden zum Beispiel Netze für den Fischfang, Gurte für Förderbänder, Planen und Zelte gefertigt.

▶

Chemiefaserstoffe sind makromolekulare Stoffe, die sich als textile Faserstoffe verarbeiten lassen.	
Halbsynthetische Chemiefaserstoffe	**Vollsynthetische Chemiefaserstoffe**
werden aus natürlichen Ausgangsstoffen (z. B. Zellulose) hergestellt.	werden aus synthetischen Ausgangsstoffen hergestellt (z. B. Polyakrylnitril aus Akrylnitril).

③ ↗ S. 132

6.1. Bedeutung der Plaste und Chemiefaserstoffe

Die Deutsche Demokratische Republik verfügt über eine hochentwickelte chemische Industrie, die neben anderen Erzeugnissen zahlreiche Plaste und Chemiefaserstoffe für den Maschinenbau, die elektronische Industrie, das Bauwesen, den Fahrzeugbau, die Landwirtschaft, den Haushalt und den Handel liefert (↗ Tab. 29 und Tab. 30, S. 100, S. 101).
Plaste und Chemiefaserstoffe sind hochwertige Werkstoffe, die bei Berücksichtigung ihrer Eigenschaften in vielen Bereichen der Volkswirtschaft eingesetzt werden können. Vielfach sind sie den herkömmlichen Werkstoffen sogar überlegen.

- Lagerschalen aus Phenoplast sind bedeutend leichter als Lager aus Hartblei oder Bronze (Dichte von Phenoplasten etwa $\varrho = 1{,}7\ g \cdot cm^{-3}$, von Bronze etwa $\varrho = 8\ g \cdot cm^{-3}$), sie sind länger haltbar und können mit Wasser geschmiert werden.
- Sys-PUR aus dem Synthesewerk Schwarzheide, ein Plastwerkstoff aus Polyurethan, wird anstelle bisher verwendeter Werkstoffe an schnell verschleißenden Fördereinrichtungen in der Braunkohlenindustrie eingesetzt. PUR-Verschleißbeläge an Förderbrücken und Baggern nutzen sich weniger schnell ab als aufgeschweißte Stahlplatten und mindern zusätzlich das lästige Anbacken von Kohle beziehungsweise Erde.
- Eisenbahnschienen, deren Schotterbett oft durch Wassereinbrüche verunreinigt wird, werden in der DDR auf synthetischen Textilverbundstoff gebettet. Die bisher verwendete Sandunterlage wird durch spezielle Stoffbahnen ersetzt, die unter der Schotterbettung verlegt werden. Diese lassen zwar das Wasser, aber nicht den Schlamm durch, der sonst den Schotter verrutschen läßt. Die Zeit zwischen zwei Instandsetzungen konnte durch diese Methode auf das Fünf-

Tabelle 29 Überblick über wichtige Plaste, deren Handelsnamen und Verwendung [1]

Chemisch-technische Bezeichnung des Plasts	Handelsnamen in der DDR	Verwendung
Phenoplast (Bakelite)	Edelkunstharz Plastadur Phenozell Phenotex	Teile von Beleuchtungskörpern, Griffe, Lagerschalen, Zahnräder, Möbel und Wandverkleidungen
Aminoplaste	Piatherm Preßmassen Sprelakart	Isoliermaterial, Elektro- und Haushaltsartikel, Möbel
Polyamide	Polyamid B Miramid	Maschinenbau, Wasserleitungshähne, Küchengeräte
Polyester	Polyester G	Autokarosserien, Flugzeugverkleidung, Bootskörper
Polyurethane	Vario pur	Fasern, Klebstoffe, Möbel, Schuhe, Lacke
Polyäthylen	Mirathen	Eimer, Flaschen, Kanister, Wasserleitungsrohre, Frischhaltebeutel
Polystyrol	Polystyrol	Isolierteile in der Elektrotechnik, Haushaltsgeräte
Polyvinylchlorid	Dezelith Ekadur Ekalit Ekazell	Rohre und Rohrverbindungen, Dachrinnen, Schläuche, Fußboden- und Möbelbelege, Täschnerwaren
Polymethylmethakrylat	Piakryl P	Verglasung im Flugzeug- und Automobilbau, Lampen, Modellbau

④ ↗ S. 132

fache verlängert werden. Diese Art der Stoffbettung findet auch beim Bau von Fernverkehrsstraßen in unserer Republik Anwendung.

■ Einer Arbeitsgemeinschaft aus Vertretern der chemischen Industrie, der Bauindustrie sowie der Wasserversorgung gelang es, glasfaserverstärkte, ungesättigte Polyesterharze für das Auskleiden von Becken und für den Bau von Behältern einzusetzen. Die neuen Fertigungstechnologien steigern die Arbeitsproduktivität auf 400%! Baukapazitäten im Werte von einer halben Million Mark und 250000 Mark Investitionsmittel wurden durch solche Behälter schon eingespart. In Schmiedefeld bewährt sich bereits ein solches „Wasserfaß" mit 500 m³ Inhalt. Die früher übliche 20 ··· 25 cm starke Betonwand ersetzt hier ein nur acht bis zehn Millimeter starker Plastwerkstoff. Der Arbeitsaufwand sank von 4500 h auf ganze 650 h je Behälter. Ein 200 m³ Güllebehälter für die Land-

Tabelle 30 Überblick über wichtige Chemiefaserstoffe, deren Handelsnamen und Verwendung [1] [3]

Faserart	Handelsnamen in der DDR	Verwendung
Polyesterfaser	Grisuten	Kleider, Hemden, Segel, Filtertücher, Seile, Garne, Förderbänder
Polyamidfaser	Dederon	Strümpfe, Ober- und Unterbekleidung, Planen, Fischfangnetze, Seile, chirurgisches Nahtmaterial
Polyakrylnitrilfaser	Wolpryla	Oberbekleidung, Trikotagen, Berufs-, Regen- und Tropenbekleidung, Filtertücher, Segel, Netze
Polyvinylchloridfaser	Piviazid PeCeU	Säureschutzkleidung, Unterwäsche mit medizinischer Wirkung, Teppiche, Borsten, Dichtungen, Planen

⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ↗ S. 132

wirtschaft kann nach diesem Verfahren schon in 6 Wochen (bisher etwa ein Jahr) fertiggestellt werden. Zur Zeit wird daran gearbeitet, großvolumige Plastbehälter bis etwa 7000 m³ zu entwickeln und zu bauen, die auch für die Fernwasserversorgung bedeutsam werden können.

■ Eine Produktionsanlage zur Verwertung kaum genutzter Polyesterabfälle der Chemiefaser- und Filmindustrie bewährt sich in Glauchau im Dauerbetrieb. Das Verfahren führt in nur zwei Fertigungsstufen zu einem hochwertigen Textilerzeugnis. Aus den Abfällen entsteht ein Produkt „Florofol", das sich ausgezeichnet als Trägermaterial für textilen Fußbodenbelag eignet. Gegenüber vergleichbaren Produkten aus Jute zeichnet sich das Erzeugnis durch seine geringe Feuchtigkeitsaufnahme und größere Strapazierfähigkeit aus. Das hochproduktive Verfahren wurde in Gemeinschaftsarbeit von Fachleuten der chemischen Industrie und der Technischen Universität Dresden entwickelt. ⑩ ↗ S. 132

Obwohl bereits heute eine große Anzahl von Plasten und Chemiefaserstoffen eingesetzt werden, arbeiten Wissenschaftler, Techniker und Chemiefacharbeiter weiter an der Herstellung neuer Plaste und Chemiefaserstoffe beziehungsweise an der Erweiterung der Einsatzgebiete für diese Stoffe.

6.2. Eigenschaften wichtiger Plaste und Chemiefaserstoffe

Eisen, Holz, Glas und andere Werkstoffe sind den Menschen seit Jahrtausenden bekannt und werden entsprechend ihren Eigenschaften verwendet. Die Eigenschaften der im Vergleich zu diesen Werkstoffen noch recht „jungen" Werkstoffe Plaste und Chemiefaserstoffe werden vom Verbraucher teilweise noch falsch eingeschätzt, da ihre spezifischen Eigenschaften nicht in dem Maße bekannt sind, wie das von den erstgenannten Werkstoffen der Fall ist.
Die Eigenschaften von Plasten und Chemiefaserstoffen werden in den Betriebslaboratorien experimentell bestimmt. Aus den Untersuchungsergebnissen können die spezifischen Einsatzgebiete für die untersuchten makromolekularen Werkstoffe abgeleitet werden. Im folgenden werden wichtige Untersuchungsmethoden beschrieben.

▶ **Plaste werden nach ihrem Verhalten beim Erwärmen in Thermoplaste und Duroplaste eingeteilt** (↗ S. 98).

Optisch ist eine Zuordnung der Plaste zu den Thermo- oder Duroplasten nicht oder nur schwer möglich. Exakt kann die Zuordnung nur nach experimentellen Untersuchungen vorgenommen werden.

49
▼ *Erwärmen Sie verschiedene Plastproben!*

Geräte: Regulierbarer Brenner (elektrischer Strahler oder Stativheizplatte), Tiegelzange

Chemikalien: Verschiedene Plastproben zu Streifen geschnitten

Durchführung

Halten Sie den Plaststreifen jeweils waagerecht über die Sparflamme des Brenners! Der Abstand zwischen der Brennerflamme und dem Plaststreifen muß so groß sein, daß eine Zersetzung des Plasts vermieden wird.

Auswertung

Tragen Sie die Ergebnisse Ihrer Untersuchungen in folgende Tabelle ein!

Plastprobe	Verhalten beim Erwärmen		Zuordnung zu den	
	erweicht	bleibt hart	Thermoplasten	Duroplasten

Im Wohnungsbau und in der Industrie werden oft Wasserleitungsrohre und Abflußrohre aus Plast installiert. Da Plaste die Eigenschaft haben, bei bestimmten Temperaturen zu erweichen, zu schmelzen oder sich zu zersetzen, muß man vor dem Einsatz für solche Zwecke die Erweichungstemperatur des Plasts experimentell ermitteln.

49 ▼ *Bestimmen Sie die Erweichungstemperatur von Plasten!*

Geräte: Eisentiegel, Brenner (oder Stativheizplatte), Thermometer, Dreifuß, Tondreieck, Eisenblech

Chemikalien: Sand (trocken, feinkörnig), Thermoplaststreifen (10 cm × 1 cm, Stärke: 0,5 mm ··· 1 mm)

Durchführung

1. Füllen Sie den Eisentiegel mit trockenem, feinkörnigem Sand!
2. Stecken Sie in den Sand einen Thermoplaststreifen und daneben ein Thermometer! Thermoplaststreifen und Thermometer dürfen den Boden des Eisentiegels nicht berühren!
3. Setzen Sie den so vorbereiteten Eisentiegel etwas schräg auf ein Tondreieck!
4. Erwärmen Sie mit kleiner Brennerflamme, so daß das Thermometer nur langsam steigt!

Verhindern Sie durch ein Eisenblech, daß die aufsteigenden heißen Brennergase den Plaststreifen zersetzen!

Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Untersuchungsergebnisse in eine Tabelle ein!
2. Vergleichen Sie die ermittelten Meßgrößen mit Meßgrößen im Tabellenbuch Chemie [19]!

Plastart	Ermittelte Erweichungstemperatur	Abweichung vom Tabellenwert	Schlußfolgerung auf zulässige Temperaturbelastung

⑪ ⑫ ↗ S. 132

Auch Chemiefaserstoffe verändern bei bestimmten Temperaturen ihre Eigenschaften.

In modernen Waschvollautomaten werden zum Beispiel weiße Textilien aus Leinen oder Baumwolle bei einer Temperatur von etwa 92 °C, synthetische Textilien dagegen bei etwa 40 ··· 60 °C gewaschen.

50 ▼ *Ermitteln Sie die Eigenschaften einiger Chemiefaserstoffe nach dem Behandeln mit siedendem Wasser!*

Geräte: Brenner, Becher (400 cm³), Drahtnetz, Tondreieck

Chemikalien: Chemiefaserstoffproben (Gewebestückchen)

Durchführung

1. Geben Sie eine Chemiefaserstoffprobe in einen Becher, der zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist!
2. Erhitzen Sie den Becher, bis das Wasser siedet, und halten Sie die Temperatur längere Zeit bei etwa 100 °C!
3. Nehmen Sie das Gewebestückchen aus dem Wasser, und spülen Sie es mit kaltem Wasser ab!

Auswertung

1. Beurteilen Sie Aussehen, Griff und Zerreißfestigkeit! ⑬ ⑭ ⑮ ↗ S. 132
2. Vergleichen Sie die Proben mit dem entsprechenden Ausgangsmaterial!

Die synthetischen makromolekularen Werkstoffe können aufgrund ihrer **chemischen Beständigkeit** und Korrosionsbeständigkeit auf vielen Gebieten eingesetzt werden, wo metallische Werkstoffe versagen würden.

▶ **Unter der Korrosion versteht man die Zerstörung von Werkstoffen durch äußere Einflüsse, die über chemische Reaktionen auf den Werkstoff einwirken. Korrodierende Mittel sind Lösungen von Säuren, Basen und Salzen, metallische und nichtmetallische Schmelzen sowie Gase.**

Folgende Experimente sollen die chemische und Korrosionsbeständigkeit der Plaste und Chemiefaserstoffe veranschaulichen.

51 ▼ *Untersuchen Sie die chemische Beständigkeit verschiedener Plaste und Chemiefaserstoffe in Natriumhydroxidlösung (50%ig), Schwefelsäure (50%ig), konzentrierter Chlorwasserstoffsäure, verdünnter Salpetersäure, Benzol, Toluol, Zyklohexan und Wasser!*

Vorbetrachtung

1. Aussagen über die chemische Beständigkeit und Korrosionsbeständigkeit der Plaste und Chemiefaserstoffe können nur dann getroffen werden, wenn innerhalb der Experimentreihen für jedes einzelne Experiment gleiche Bedingungen geschaffen werden. Überlegen Sie, wie Sie diese Bedingungen durch die Geräteauswahl, Wahl der Temperatur, Form der Stoffproben und andere Faktoren schaffen können!
2. Beachten Sie, daß einige Chemikalien giftig, aggressiv, leicht flüchtig sind beziehungsweise aggressive Dämpfe bilden!

3. Die Experimente können frühestens in einer Woche ausgewertet werden. Überlegen Sie, wo und wie die Experimentieranordnungen über diesen Zeitraum aufgestellt werden!

Auswertung

Tragen Sie die Experimentergebnisse in folgende Tabelle ein!

Plast Chemiefaserstoff	Chemikalien	Beobachtungen	Schlußfolgerungen (+: beständig 0: bedingt beständig — unbeständig)

⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ↗ S. 133

Neben anderen Eigenschaften ist beim Einsatz eines Werkstoffes seine Dichte von Bedeutung.

52 ▼ *Bestimmen Sie die Dichte von Plasten!*

Vorbetrachtung

1. Definieren Sie den Begriff der Dichte! (↗ PhiÜb, S. 50)
2. Informieren Sie sich im Schulbuch „Physik in Übersichten" über Volumenmessungen und Massenbestimmungen!

Durchführung

1. Planen Sie dieses Experiment selbständig!
2. Erläutern Sie Ihrem Arbeitsgemeinschaftsleiter, wie Sie vorgehen wollen, und arbeiten Sie erst, wenn er Ihrem Arbeitsvorhaben zugestimmt hat!
3. Fordern Sie die notwendigen Geräte und Chemikalien beim Arbeitsgemeinschaftsleiter an!

Auswertung

1. Stellen Sie die erhaltenen Meßgrößen tabellarisch den aus der Literatur entnommenen Werten gegenüber! [19]
2. Welche Ursachen für eventuelle Abweichungen der ermittelten Meßgrößen von den Angaben in der Literatur [19] gibt es? ⑳ ↗ S. 133

Eine weitere Bestimmung der Eigenschaften von Plasten und Chemiefaserstoffen erfolgt durch die Brennprobe.

Durch die Brennprobe können Plaste und Chemiefaserstoffe identifiziert werden. Dabei werden die Verbrennungsweise, die bei der Verbrennung auftretenden Gerüche sowie der eventuell verbleibende Rückstand bestimmt.

53 ▼ *Verbrennen Sie einige Plaste und Chemiefaserstoffe!*

Vergleichen Sie Ihre Beobachtungen bei der Verbrennung verschiedener Plaste und Chemiefaserstoffe mit den in den Tabellen 31 und 32 enthaltenen Aussagen! Beim Durchführen der **Brennprobe** wurde festgestellt, daß bei den einzelnen Plasten beziehungsweise Chemiefaserstoffen verschiedene Zersetzungsprodukte entstehen. Diese können mit zur Identifizierung von Plasten und Chemiefaserstoffen herangezogen werden.

Tabelle 31 Beobachtungen beim Verbrennen einiger Chemiefaserstoffe [17]

Faserart	Beobachtungen bei der Verbrennung	Geruch	Rückstände
Baumwolle Flachs Hanf	leicht entzündlich, verbrennt rasch	nach verbrennendem Papier	weißgrau bis gelblich, fühlt sich glatt an
Wolle Naturseide	weniger leicht entzündlich, verbrennt langsam	nach verbrannten Haaren	blasig, verkohlt, fühlt sich sandig an
Viskose-Kupferkunstfaser	leicht entzündlich, verbrennt rasch	nach verbrennendem Papier	weißgrau, fühlt sich glatt an
Azetatkunstfaser	entzündlich, schmilzt beim Erhitzen	stechend sauer	zunächst blasige Kugeln, später weiße Asche
Polyamidfaser (Dederon)	schmilzt zusammen	schwach amidartig	braun, zusammengeschmolzen
Polyvinylchloridfaser	entflammt nicht, schmort zusammen	stechender Geruch	schwarz, zusammengeschmort
Polyakrylnitrilfaser (Wolpryla)	schmilzt erst zusammen, verbrennt dann rasch mit rußender Flamme	schwach	schwarzbraun, blasig verkohlt
Polyesterfaser	schmilzt erst zusammen, verbrennt dann rasch	süßlich	braun, zusammengeschmolzen
Glasfaser	nicht brennbar, bei sehr heißer Flamme schmelzen die Fasern	—	glasig-brüchig

Tabelle 32 Beobachtungen beim Verbrennen von Plasten [17]

Plast	Beobachtungen in der Brennerflamme	Geruch	Bemerkungen
Polyvinylchlorid (PVC)	verbrennt schwer, die Flamme ist etwas grünlich gefärbt	stechend, nach Chlorwasserstoff	verbrennt nicht weiter, wenn die Probe aus der Flamme genommen wird
Polyvinylazetat (PVAC)	verbrennt mit bläulicher Flamme, die eine gelbe Spitze hat, schmilzt	stechend, etwas schweißartig	tropft beim Verbrennen, Tropfen verbrennen nicht weiter
Polyäthylen	verbrennt am Anfang mit bläulicher, dann mit gelber Flamme, schmilzt	wie verlöschende Kerze	tropft beim Verbrennen, Tropfen verbrennen weiter
Polyamid	verbrennt mit bläulicher, gelbgesäumter Flamme, schmilzt, Blasenbildung	nach verbranntem Eiweiß	tropft beim Verbrennen in Fäden ab
Polystyrol	brennt mit leuchtend gelber Flamme, schmilzt	süßlich und nach Benzol	tropft nicht beim Verbrennen
Polyester	schwer zu entzünden, verbrennt mit gelber, rußender Flamme	süßlich	kann durch Zusätze fast nicht entflammbar sein
Polymethakrylsäureester	verbrennt mit gelber, knisternder Flamme	fruchtartig, süßlich	
Zelluloid	verbrennt sehr heftig mit gelber Flamme	nach Kampfer	feuergefährlich
Zelluloseazetat	verbrennt mit etwas sprühender Flamme	nach Essig	tropft beim Verbrennen, Tropfen verbrennen weiter
Phenoplaste	verbrennt schwer, wobei das Material platzt und verkohlt, gelbe Flamme	nach Phenol und Methanal	Füllstoffe können Verbrennen und Geruch stark beeinflussen

Tabelle 32 (Fortsetzung)

Plast	Beobachtungen in der Brennerflamme	Geruch	Bemerkungen
Aminoplaste	verbrennt schwer, wobei das Material unter knackendem Geräusch verkohlt	unangenehm fischartig, z. T. nach Ammoniak und Methanol	Füllstoffe können verbrennen und Gerüche stark beeinflussen
Epoxidharz	verbrennt langsam mit helloranger, bläulich gesäumter Flamme, rußend	etwas nach Phenol	

54 ▼ *Verbrennen Sie Polyvinylchlorid, und bestimmen Sie die auftretenden Zersetzungsprodukte!*

Geräte: Brenner, Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Reagenzglashalter

Chemikalien: PVC-Streifen oder PVC-Pulver, Unitestpapier oder Lackmuspapier, Ammoniaklösung (etwa 25%ig)

Durchführung

1. Erhitzen Sie im Reagenzglas mit dem Brenner PVC-Streifen!
2. Halten Sie an die Öffnung des Reagenzglases einen feuchten Streifen Unitestpapier und einen Glasstab mit einem Tropfen Ammoniaklösung!

Auswertung

1. Welche Veränderung konnten Sie feststellen?
2. Wie sind diese Veränderungen zu erklären?
3. Stellen Sie für die abgelaufenen Reaktionen die chemischen Gleichungen auf!

55 ▼ *Untersuchen Sie nach der Durchführung des Experiments 53 und 54 weitere Plaste und Chemiefaserstoffe!*

Verschiedene Plaste sind Halogenderivate der Kohlenwasserstoffe. (↗ ChiÜb, S. 104)
Die in Halogenderivaten enthaltenen Halogene lassen sich mit Hilfe der **Beilsteinprobe** nachweisen. Man kann mit der Beilsteinprobe das Vorhandensein von Halogenen, aber nicht ein bestimmtes Halogen nachweisen.

56 ▼ *Weisen Sie Chlor als Bestandteil des Polyvinylchlorid nach!*

Geräte: Brenner, Tiegelzange, Kupferdrahtöse

Chemikalien: PVC-Streifen (oder PVC-Pulver)

Durchführung

1. Biegen Sie das Ende eines Kupferdrahtes zu einer engen Öse, und glühen Sie die Öse so lange in der entleuchteten Flamme des Brenners aus, bis keine Flammenfärbung mehr auftritt!
2. Tauchen Sie die heiße Kupferdrahtöse in die Polyvinylchlorid-Probe, und erhitzen Sie das an der Kupferdrahtöse haftende Polyvinylchlorid in der nichtleuchtenden Flamme des Brenners!

Auswertung

Kupfer bildet mit dem im Polyvinylchlorid enthaltenen Chlor ein Salz, das Kupfer(II)-chlorid, das die Flamme grün bis grünblau färbt.

57 ▼ *Untersuchen Sie verschiedene Naturfaserstoffe und Chemiefaserstoffe mit der Lupe und mit dem Schülermikroskop auf ihre Oberflächenbeschaffenheit!*

Betrachten Sie Gewebeverband und Querschnittsbild der einzelnen Fäden!

Geräte: Lupe, Schülermikroskop, Skalpell (oder Rasierklinge)

Chemikalien: Verschiedene Naturfaser- und Chemiefaserstoffproben

Durchführung

Betrachten Sie mit der Lupe und dem Mikroskop die Oberfläche und den Querschnitt der Fäden!

Auswertung

Tragen Sie Ihre Beobachtungen in folgende Tabelle ein!

Faserart	Faseroberfläche	Faserquerschnitt

Die Trageeigenschaften eines Gewebes aus einer bestimmten Faserart sind davon abhängig, wieviel Luft die Fasern in sich einschließen beziehungsweise wieviel Luft sich zwischen den einzelnen Fäden (Elementarfäden) des Gewebes befindet. Parallel liegende Elementarfäden können nur sehr wenig Luft enthalten. Ein aus solchen Fäden hergestelltes Gewebe hält nicht warm, es wirkt sogar kühlend. Dieses Gewebe kann sehr wenig oder gar keine Feuchtigkeit aufnehmen.
Aus diesen Gründen bestand ein wesentliches Ziel der Chemiefaserstofforschung darin, in die Elementarfäden und in das daraus gebildete Gewebe den Baustein „Luft" einzubeziehen. Das führte zur Herstellung von *Hohlfasern* beziehungs-



Abb. 30
Querschnitte von Spinndüsenöffnungen

weise zu den *Hohlprofilfasern*, die man durch eine entsprechende Gestaltung des Querschnitts der Spinndüsenöffnung erhält (Abb. 30).
Beim *Bauschverfahren* werden einzelne Elementarfäden miteinander verschlungen. Dadurch wird eine Volumenvergrößerung der Fasern erzielt und ein größerer Lufteinschluß erreicht. Diese Fasern besitzen ein gutes Wärmehaltevermögen und können mehr Feuchtigkeit aufnehmen. Die Faser erhält durch diese Eigenschaften Wollcharakter (z. B. Wolpryla).
Häufig ist es erforderlich zu ermitteln, was für ein Plast oder Chemiefaserstoff vorliegen kann.

58 ▼ *Identifizieren Sie einen unbekannten Plast und einen unbekannten Chemiefaserstoff!*

Durchführung

1. Versuchen Sie, den Plast nach seinem Erscheinungsbild zu bestimmen!
2. Ermitteln Sie, ob es sich um einen Thermoplast oder Duroplast handelt (↗ S. 98)!
3. Bestimmen Sie bei einem vorliegenden Thermoplast die Erweichungstemperatur (↗ S. 102 ... 103)!
4. Ermitteln Sie die Beständigkeit des vorliegenden Plasts gegenüber verschiedenen Chemikalien (↗ S. 104 ... 105)!
5. Erhitzen Sie den Plast, und versuchen Sie, die Zersetzungsprodukte zu bestimmen (↗ S. 108)!
6. Führen Sie die Brennprobe durch (↗ S. 106 ... 108)!
7. Untersuchen Sie den vorliegenden Plast auf das Vorhandensein von Halogenen (↗ S. 108)!

Beim Identifizieren eines Chemiefaserstoffes gehen Sie in gleicher Weise vor!

Auswertung

Vervollständigen Sie folgende Tabelle!

Durchgeführte Untersuchung	Beobachtung	Schlußfolgerung

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, daß Plast- und Chemiefaserstoffe neben vielen vorteilhaften auch ungünstige Eigenschaften haben.

6.3. Chemische Grundlagen der Herstellung von Plasten und Chemiefaserstoffen

Plaste und Chemiefaserstoffe sind aus **Makromolekülen** aufgebaut, die viele Tausende, ja bis zu einigen Millionen Atome enthalten können. Ein Makromolekül ist aus vielen einfach gebauten Grundbausteinen aufgebaut. Die Ausgangsstoffe nennt man **Monomere**, das aus ihnen gebildete Makromolekül **Polymermolekül.** Ein Polymermolekül bildet sich durch die Verknüpfung vieler Monomermoleküle. Je nach Art und Weise, wie die Verknüpfung der Monomermoleküle zum Polymermolekül erfolgt, unterscheidet man verschiedene Reaktionen, von denen die **Polymerisation** und die **Polykondensation** genauer betrachtet werden.

6.3.1. Polymerisation

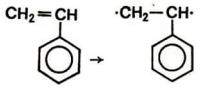
▶ **Die Polymerisation ist eine chemische Reaktion, bei der aus ungesättigten Monomermolekülen Polymermoleküle entstehen. Dabei werden keine Nebenprodukte gebildet. Das Vorliegen von Mehrfachbindungen im Monomermolekül ist eine Voraussetzung für die Polymerisation.**

■ Ein ungesättigtes Monomermolekül ist zum Beispiel das Styrol.

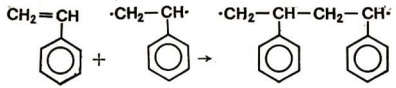


㉑ ㉒ ↗ S. 133

Die zwischen den beiden Kohlenstoffatomen des Styrolmoleküls bestehende Doppelbindung kann unter dem Einfluß von Katalysatoren, Initiatoren, Licht, Wärme oder Strahlung aufgespalten werden. Es bilden sich aktive Monomermoleküle, die als Radikale bezeichnet werden.



Die Radikale reagieren mit nichtaktivierten Styrolmolekülen durch fortgesetzte Addition zum Dimer-, Trimer- ... usw. bis zum Polymermolekül.



Vereinfacht kann diese Polymerisationsreaktion durch folgende chemische Gleichung dargestellt werden:



Lesen Sie!

Aus *n* Molekülen	bildet	ein aus *n* Styrolmolekülen
Styrol	sich	aufgebautes Polystyrolmolekül.

Die Enden des Polymermoleküls sind mit Atomen oder Atomgruppen abgesättigt, die in der Formel nicht angegeben werden. Die Striche an den Enden der Formel kennzeichnen keine Elektronenpaare.

59

Stellen Sie Polystyrol her!

Geräte: Halbmikro-Reagenzglas, Gasentwickler für Kohlendioxid, Trockenschrank

Chemikalien: Styrol, Kohlendioxid

Durchführung

1. Füllen Sie 1 ··· 2 ml Styrol in ein Halbmikro-Reagenzglas!
2. Verdrängen Sie die Luft über dem Styrol restlos durch Kohlendioxid! (Das geschieht zur Verhinderung des Entzündens des Styrols beim nachfolgenden Erwärmen.)
3. Danach verschließen Sie das Halbmikro-Reagenzglas locker mit einem Wattebausch und schmelzen es so zu, daß die Wandstärke nicht wesentlich verringert wird!
4. Erwärmen Sie das Halbmikro-Reagenzglas 25 ··· 30 Minuten im Trockenschrank auf eine Temperatur von 180 °C!
5. Entnehmen Sie das Halbmikro-Reagenzglas dem Trockenschrank, und bewegen Sie es leicht um die Senkrechte!
6. Stellen Sie das Reagenzglas im Reagenzglasständer ab, und lassen Sie es abkühlen!

Auswertung

1. Stellen Sie das Aussehen des Reaktionsprodukts fest, und prüfen Sie das Reaktionsprodukt mit dem Glasstab auf Festigkeit!
2. Stellen Sie die chemische Gleichung für die abgelaufene Polymerisationsreaktion auf!

60 ▲ *Untersuchen Sie die Eigenschaften von Polystyrol!*

Durchführung

1. Zertrümmern Sie das Reagenzglas aus Experiment 59, Seite 112, und teilen Sie das Polystyrol in mehrere möglichst gleichgroße Stücke!
2. Bestimmen Sie die thermoplastischen Eigenschaften, die Erweichungstemperatur, die Dichte, die Beständigkeit gegenüber Chemikalien, und führen Sie die Brennprobe durch!

Auswertung

1. Stellen Sie die ermittelten Meßgrößen und die Meßgrößen aus Tabellenbüchern in einer Tabelle zusammen!
2. Diskutieren Sie auftretende Abweichungen!

In ähnlicher Weise bildet sich aus Äthen (Äthylen) das Polyäthylen, aus Monochloräthen (Vinylchlorid) das Polyvinylchlorid (PVC) und aus Akrylnitril das Polyakrylnitril (Wolpryla). ㉓ ↗ S. 133

6.3.2. Polykondensation

Durch Polykondensationsreaktionen werden ebenfalls makromolekulare Stoffe gebildet. ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ↗ S. 133

61 ▼ *Stellen Sie einen Aminoplast aus Harnstoff und Methanal her!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Becher

Chemikalien: Harnstoff, Methanallösung (35%ig), Chlorwasserstoffsäure (10%ig)

Durchführung

Vorsicht, die Reaktion ist stark exotherm und verläuft manchmal so heftig, das Teile des Stoffgemisches aus dem Reagenzglas herausspritzen! Deshalb muß das Reagenzglas unmittelbar nach der Zugabe der Chlorwasserstoffsäure mit einem Becher abgedeckt werden!

1. Erwärmen Sie in einem Reagenzglas 4 g Harnstoff mit 4 ml Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!), bis sich der Harnstoff gelöst hat!
2. Stellen Sie das Reagenzglas in einem Reagenzglasgestell ab!
3. Geben Sie zur noch warmen Lösung 3 ... 4 Tropfen Chlorwasserstoffsäure, und decken Sie das Reagenzglas sofort mit dem Becher ab!

Auswertung

Es bildet sich Harnstoffharz (Karbamidharz), eine weiße, feste Masse.
Die Bildung des Aminoplasts erfolgt durch Polykondensation. Es wird ange-

nommen, daß als erstes Zwischenprodukt Methylolharnstoff gebildet wird.

$NH_2—CO—NH_2 + HCHO \rightarrow NH_2—CO—NH—CH_2—OH$

Harnstoff Methanal Methylolharnstoff

Aus dem Methylolharnstoff bilden sich unter Wasseraustritt makromolekulare Stoffe mit langen kettenförmigen Molekülen und im weiteren Verlauf der Reaktion Stoffe mit dreidimensional vernetzten Makromolekülen, die unlöslich und nicht schmelzbar sind.

62 ▼ *Stellen Sie einen Aminoplastschaum her!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Halbmikro-Tropfer

Chemikalien: Harnstoff, Methanallösung (35%ig), Fewa, konzentrierte Chlorwasserstoffsäure

Durchführung

Vorsicht, das Schütteln muß mit ausgestrecktem Arm erfolgen, da manchmal etwas Lösung herausspritzt!

1. Erwärmen Sie in einem Reagenzglas etwa 4 g Harnstoff, eine Spatelspitze Fewa und 4 ml Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!) leicht, bis sich alle Feststoffe gelöst haben!
2. Verschließen Sie das Reagenzglas mit einem Stopfen, und schütteln Sie das Reagenzglas so lange kräftig in der Längsrichtung, bis eine hohe Schaumschicht entstanden ist!
3. Fügen Sie 5 Tropfen Chlorwasserstoffsäure (Vorsicht, Gift 2, ätzend!) zu!
4. Stellen Sie das Reagenzglas nach kurzem Schütteln mit ausgestrecktem Arm im Reagenzglasgestell ab!

Auswertung

Nach kurzer Zeit wird die schaumige Masse fest.
Durch Polykondensation bildet sich aus Harnstoff und Methanal ein Karbamidharz, das viele kleine, luftgefüllte Hohlräume einschließt (↗ LB 9).

Solche Schaumstoffe haben eine geringe Dichte und isolieren gut gegen Wärme und Schall. Der Aminoplastschaum Piatherm vom VEB Stickstoffwerk Piesteritz ist ein vielseitig verwendeter Isolierstoff. ㉘ ↗ S. 133

63 ▼ *Stellen Sie einen Kauritleim her, und erproben Sie diesen!*

Geräte: Reagenzgläser (16 mm × 160 mm), Reagenzglasgestell, Halbmikro-Tropfer, Brenner, Spritzflasche mit Wasser, Spatellöffel, Glasstab, einige Stücke Furnierholz, Schere, Büroklammern, Drahtnetz, Dreifuß, Becher

Chemikalien: Harnstoff, Methanallösung (etwa 40%ig), Natriumhydroxidlösung (10%ig), gesättigte Ammoniumchloridlösung, Tischlerleim

Durchführung

1. Füllen Sie ein Reagenzglas zur Hälfte mit Harnstoff, und geben Sie dann so viel Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!) zu, daß der Harnstoff bedeckt ist!
2. Fügen Sie 20 Tropfen Natriumhydroxidlösung (Vorsicht, Gift 2, ätzend!) zu!
3. Erhitzen Sie das Reagenzglas, und lassen Sie die Lösung unter dauerndem Schütteln weiter sieden (Siedeverzug!), bis die Lösung leicht viskos wird!
4. Geben Sie ein Viertel der Masse in ein zweites Reagenzglas, fügen Sie Ammoniumchloridlösung zu, und erwärmen Sie das Reagenzglas leicht!
5. Schneiden Sie aus dünnem Furnierholz gleich lange Streifen!
6. Bestreichen Sie einen Streifen möglichst dick mit der Masse aus dem ersten Reagenzglas!
7. Tränken Sie den zweiten Streifen mit gesättigter Ammoniumchloridlösung!
8. Legen Sie beide Streifen aufeinander, und halten Sie diese durch Büroklammern zusammen!
9. Erwärmen Sie die Streifen auf einem Drahtnetz vorsichtig auf eine Temperatur von etwa 160 °C!
10. Leimen Sie von dem gleichen Holz zwei gleich große Streifen mit Tischlerleim zusammen!
11. Legen Sie die verleimten Hölzer über Nacht in einen Becher mit Wasser!

Auswertung

Die in das zweite Reagenzglas überführte Masse kondensiert nach Zusatz von Ammoniumchlorid, das als Katalysator wirkt, zu einem Aminoplast. Nach dem Erwärmen der beiden mit Kauritleim bestrichenen beziehungsweise mit Ammoniumchlorid getränkten Holzstreifen wird die Polykondensationsreaktion abgeschlossen. Die Holzstreifen sind fest miteinander verbunden.
Der Vergleich der mit Kauritleim beziehungsweise Tischlerleim verleimten Holzstreifen zeigt deutlich die größere Festigkeit der mit Kauritleim verleimten Furnierhölzer. ㉙ ↗ S. 133

64 ▼ *Prüfen Sie den Einfluß eines Katalysators auf eine Polykondensationsreaktion!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Becher (400 cm^3)

Chemikalien: Harnstoff, Methanallösung (35%ig), Chlorwasserstoffsäure (etwa 10%ig)

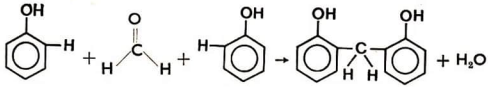
Durchführung

1. Lösen Sie, wie nach Experiment 63, Seite 114, beschrieben, Harnstoff in Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!), und erhitzen Sie die Lösung bis zum Sieden!
2. Entfernen Sie das Reagenzglas von der Brennerflamme, sobald die Lösung siedet, und beobachten Sie die Veränderung der Lösung!
3. Treten keine Veränderungen mehr auf, fügen Sie 5 Tropfen Chlorwasserstoffsäure (Vorsicht, Gift 2, ätzend!) zu!

Auswertung

An der zunehmenden Zähflüssigkeit der Lösung ist die ablaufende Polykondensationsreaktion erkennbar. Sie verläuft aber nur bis zur Bildung einer noch ausgießbaren, viskosen Masse.
Durch die Zugabe von Chlorwasserstoffsäure wird die Polykondensation katalytisch beeinflußt. Die vorher viskose Masse erstarrt rasch zum festen Aminoplast.
(30) ↗ S. 133

Eine weitere Gruppe von Plasten, die durch Polykondensation entstehen, sind die **Phenoplaste**. Sie bilden sich durch Reaktion des Methanals mit Phenol oder phenolähnlichen Verbindungen.
Beim Phenolmolekül reagiert jedoch nicht die funktionelle Gruppe, sondern es reagieren besonders reaktionsfähige Wasserstoffatome des Ringes (↗LB 9).



Phenol Methanal Phenol

Für die technische Durchführung der Phenoplastherstellung ist von großer Bedeutung, daß bei kontinuierlicher Erhöhung der Temperatur auf etwa 200 °C die Polykondensation bis zum fertigen Endprodukt verläuft. Sie kann aber auch durch Temperaturerniedrigung zu beliebigen Zeitpunkten unterbrochen werden. Bei entsprechender Wahl dieser Zeitpunkte erhält man folgende drei Produkte (↗ Tab. 33), die sich nach dem Grad der Bildung und Verknüpfung

Tabelle 33 Übersicht über mögliche Produkte der Phenoplastbildung

Bezeichnung der Produkte	Eigenschaften (Reaktionstemperatur)	Besonderheit
Resol (A-Harz)	leicht schmelzbar, thermoplastisch (etwa 100 °C)	Moleküle noch nicht räumlich vernetzt
Resitol (B-Harz)	nur noch in der Hitze plastisch (bei etwa 150 °C), noch löslich	Moleküle schon räumlich vernetzt, aber noch reaktionsfähige Gruppe im Molekül vorhanden
Resit	fest, unlöslich, nicht mehr schmelzbar (etwa 160 ... 200 °C)	räumliche Vernetzung der Moleküle ist abgeschlossen, keine reaktionsfähigen Gruppen mehr vorhanden

der Makromoleküle und demzufolge in ihren Eigenschaften unterscheiden (↗ LB 9).

65
▼ *Stellen Sie einen Phenoplast her!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Spatellöffel, Halbmikro-Tropfer, Brenner, Becher (400 cm^3)

Chemikalien: Phenol, Methanallösung (35 ··· 40%ig), konzentrierte Chlorwasserstoffsäure

Durchführung

Achtung! Phenol (Vorsicht, Gift 2!) wirkt ätzend!
Die Bildung eines Phenoplasts ist ein exothermer Vorgang und verläuft meist mit so großer Heftigkeit, daß Teile des Reaktionsgemisches aus dem Reagenzglas herausspritzen.
Sie dürfen daher das Reagenzglas nicht in der Hand halten, wenn Sie die konzentrierte Chlorwasserstoffsäure zugeben.
Nach erfolgter Zugabe decken Sie das Reagenzglas sofort mit einem Becher ab!
1. Füllen Sie ein Reagenzglas etwa 2 cm hoch (keinesfalls mehr) mit Phenol (Vorsicht, Gift 2!)!
2. Fügen Sie so viel Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!) zu, daß das Phenol von der Methanallösung gerade bedeckt ist, und erwärmen Sie vorsichtig, bis sich das Phenol gelöst hat!
3. Stellen Sie das Reagenzglas mit der noch warmen Lösung in ein Reagenzglasgestell, und fügen Sie mit ausgestrecktem Arm 3 Tropfen Chlorwasserstoffsäure (Vorsicht, Gift 2, ätzend!) zu!
4. Decken Sie das Reagenzglas sofort mit dem Becher ab!

Auswertung

Das zunächst dünnflüssige, klare Gemisch trübt sich und geht, je nach dem Mischungsverhältnis von Phenol und Methanal, in ein dickflüssiges bis festes Produkt über.
Die Wasserstoff-Ionen der Chlorwasserstoffsäure beschleunigen die Polykondensation katalytisch.

Von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung sind die **Polyester**, deren Bildung durch Polykondensations- und Polymerisationsreaktionen erfolgt. Wir wollen nur den Teil der Reaktion betrachten, der der Polykondensation zugeordnet werden kann. Polyester bilden sich aus Monomeren, die zwei und mehr reaktionsfähige funktionelle Gruppen im Molekül enthalten. Das sind Dikarbonsäuren (Karbonsäuren, die im Molekül zwei Karboxylgruppen enthalten) und Alkohole mit zwei beziehungsweise drei Hydroxylgruppen im Molekül.

■ Zu den Dikarbonsäuren gehören zum Beispiel:
Adipinsäure $HOOC-(CH_2)_4-COOH$, Sebazinsäure $HOOC-(CH_2)_8-COOH$ und Maleinsäure $HOOC-CH=CH-COOH$. Die allgemeine Formel der Dikarbonsäuren lautet $HOOC-R-COOH$.

■ Zu den Alkoholen, die zwei beziehungsweise drei Hydroxylgruppen im Molekül enthalten, gehören:
Äthandiol $HO-(CH_2)_2-OH$, Propantriol $HO-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-OH$.

Die allgemeine Formel für Alkohole mit mehreren Hydroxylgruppen im Molekül lautet $HO-R-OH$ oder $HO-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{R}}-OH$

(31) ↗ S. 133

Die Polyesterbildung läßt sich vereinfacht wie folgt darstellen:

Eine Karboxylgruppe der Dikarbonsäure und eine Hydroxylgruppe eines Alkohols mit zwei Hydroxylgruppen im Molekül verestern unter Wasseraustritt.

$$HOOC-R-COOH + HO-R-OH \rightleftarrows HOOC-R-COO-R-OH + H_2O$$

(32) ↗ S. 133

In der gleichen Weise finden sowohl an der verbleibenden Karboxylgruppe als auch an der Hydroxylgruppe weitere Veresterungen statt. Es bildet sich so ein makromolekularer Stoff mit linearer Struktur heraus.
Bei der Reaktion einer Dikarbonsäure mit einem Alkohol mit drei Hydroxylgruppen im Molekül führt die Veresterung aller funktionellen Gruppen zur Bildung eines makromolekularen Stoffes mit räumlich vernetzter Struktur.

$$HOOC-R-COOH + HO-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{R}}-OH + HOOC-R-COOH \cdot$$
$$+$$
$$HOOC-R-COOH \rightarrow$$

$$HOOC-R-COO-\underset{\displaystyle OOC-R-COOH}{\underset{|}{R}}-COO-R-COOH + 3\,H_2O$$

Dieses Zwischenprodukt enthält reaktionsfähige funktionelle Gruppen, an denen weitere Veresterungen möglich sind. Das entstehende Makromolekül ist räumlich vernetzt. (33) ↗ S. 133

6.4. Technische Herstellung einiger Plaste

6.4.1. Polyvinylchlorid (PVC)

▶ **Polyvinylchlorid (PVC) wird durch Polymerisation von Monochloräthen (Vinylchlorid) gewonnen. Seine Herstellung kann auf der Basis von Kohle, aber auch aus Erdöl erfolgen.**

Herstellung von Polyvinylchlorid auf Kohlebasis

Durch die Verkokung der Kohle gewinnt man Koks. Aus Kalkstein wird im Kalkschachtofen Branntkalk hergestellt (↗ LB 8). Branntkalk und Koks reagieren im Karbidofen zu Kalziumkarbid (↗ LB 8).
Aus Kalziumkarbid wird im Äthinentwickler Äthin hergestellt. Durch Addition von Chlorwasserstoff an Äthin entsteht Monochloräthen (Vinylchlorid).
(34) (35) (36) ↗ S. 134

Herstellung von Polyvinylchlorid auf Erdölbasis.

Bei der fraktionierten Destillation des Erdöls fällt die Benzinfraktion an, aus der durch Pyrolyse (↗ S. 86) Äthen gewonnen wird. (37) ↗ S. 134

$C_8H_{18} \rightarrow C_3H_8 + C_2H_4 + C_3H_6$

Äthen reagiert mit Chlor zu Dichloräthan, aus dem katalytisch Chlorwasserstoff abgespalten wird.

$CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl{-}CH_2Cl$

$CH_2Cl{-}CH_2Cl \rightarrow CH_2{=}CHCl + HCl$

Das Monochloräthen (Vinylchlorid) hat eine sehr niedrige Siedetemperatur, die bei —14 °C liegt. Es ist also unter Normalbedingungen gasförmig. Die Polymerisation wird deshalb in Autoklaven (Druckbehältern) durchgeführt.

$n\ CH_2{=}CHCl \rightarrow [{-}CH_2{-}CHCl{-}]_n$

Zur technischen Durchführung wird das Monochloräthen (Vinylchlorid) in Wasser fein verteilt (Emulsion) und in einem Rollautoklaven zur Reaktion gebracht. Rollautoklaven sind etwa 12 ··· 20 m lange Druckbehälter, die um ihre Längsachse rotieren. Da die Polymerisation eine exotherme Reaktion ist, muß gut gekühlt werden. Nach 10 ··· 20 h ist die Reaktion beendet. Polyvinylchlorid wird aus dem Wasser durch Zerstäubungstrocknung, Zentrifugieren oder durch Drehfilter als lockeres, weißes Pulver abgetrennt.

▼ 66 *Weisen Sie im Polyvinylchlorid (PVC) Chlor nach!* (↗ Experiment 56, S. 108)

Polyvinylchlorid ist ein Thermoplast, der bei Temperaturen von 130 ··· 140 °C verformt werden kann.

67 ▼ *Weisen Sie die thermoplastischen Eigenschaften des Polyvinylchlorids nach* (↗ Experiment 49, S. 103)!

Wird reines Polyvinylchlorid verarbeitet, erhält man harte Produkte, die die Bezeichnung *PVC-Hart* (z. B. Ekadur, Doxolith) tragen. Durch verschiedene Zusätze (Weichmacher) werden die Produkte weichgummiartig, *PVC-Weich* (z. B. Ekalith).

PVC-Hart wird vorwiegend durch Erwärmen, aber auch spangebend verformt.

Bei der Verarbeitung von PVC-Hart werden folgende Technologien angewendet:

Beim *Strangpressen* beziehungsweise *Schneckenpressen* wird das durch Erwärmen plastisch gewordene Polyvinylchlorid-Pulver von einem Stempel oder einer Schnecke — nach dem Prinzip des Fleischwolfs — durch einen Spritzkopf gepreßt.

Man kann so Rohre, Profile und Stäbe herstellen.

Beim *Schlagpressen* wird plastisches Polyvinylchlorid durch einen Stempel in eine Form gepreßt, deren Temperatur unter dem Erweichungspunkt des Polyvinylchlorid liegt. Dadurch beginnt die Erstarrung schon während der Verformung.

Als *Kalandieren* bezeichnet man eine Methode, bei der Polyvinylchlorid-Pulver über beheizte und kühlbare Walzen transportiert wird. Es entstehen dabei Folien unterschiedlicher Dicke.

Beim *Tiefziehen* werden Polyvinylplatten oder Polyvinylfolien in einfachen Pressen auf die erforderliche Temperatur erhitzt und durch einen entsprechend geformten Stempel in die gewünschte Form gedrückt.

Polyvinylchlorid-Weich ist geschmeidig bis zäh. Der Grad der Weichheit hängt sowohl von der Art als auch von der Masse des zugesetzten Weichmachers ab.

68 ▼ *Untersuchen Sie die Wirkung von Weichmachern!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Reagenzglashalter, Brenner, Filterpapier

Chemikalien: Polyvinylchlorid-Weich, Methanol

Durchführung

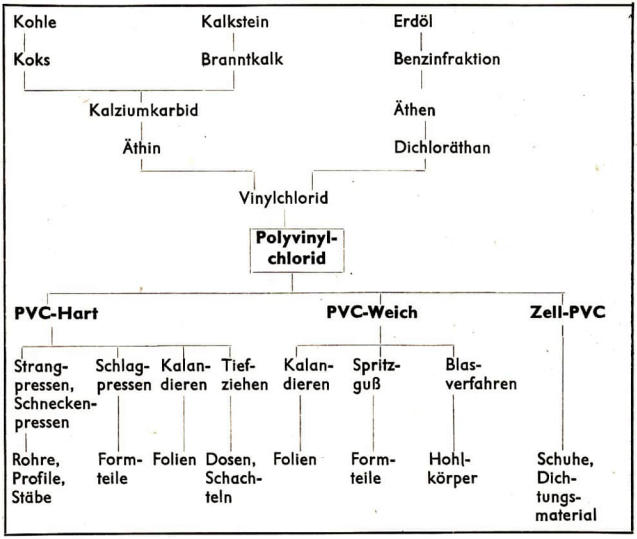
1. Übergießen Sie ein kleines Stück Polyvinylchlorid-Weich in einem Reagenzglas mit soviel Methanol (Vorsicht, Gift 2!), daß die Plastprobe gerade bedeckt ist!
2. Erhitzen Sie das Reagenzglas etwa 30 s bis zum Sieden!
3. Nehmen Sie das Polyvinylchlorid-Weich aus dem Reagenzglas, und trocknen Sie es zwischen Filterpapier!

Auswertung

Methanol löst aus dem Polyvinylchlorid-Weich die Weichmacher heraus. Die Plastprobe verliert ihre Geschmeidigkeit, sie wird hart und spröde.

Polyvinylchlorid-Weich eignet sich besonders zum Kalandieren und zur Verarbeitung in Spritzguß- beziehungsweise Blasautomaten.
Ein weiteres Verfahren zur Verformung von Polyvinylchlorid ist das *Spritzgußverfahren.* Dabei wird Polyvinylchlorid durch eine Heizung plastiziert und mit einem Stempel oder einer Schnecke in eine angeschlossene Form gespritzt. So können verschiedene Formteile, auch Profile und Schläuche hergestellt werden.
Eine weitere Verarbeitungsmöglichkeit ist mit dem *Blasautomaten* gegeben. Das plastische Polyvinylchlorid wird durch Druckluft in eine Form gepreßt. Auf diese Weise werden die verschiedensten Hohlkörper hergestellt.
Polyvinylchlorid-Pulver wird auch zu sogenanntem Zell-PVC verarbeitet. Dazu vermischt man Polyvinylchlorid-Pulver mit gasabspaltenden Treibmitteln. Man erhält das Zell-PVC, das in sich zahlreiche kleine Hohlräume einschließt. Es

Übersicht 2 Herstellung und Verwendung von PVC [2]



wird als Zell-PVC-Hart und als Zell-PVC-Weich hergestellt. In der Übersicht 2, Seite 121, sind die Herstellung und die Verwendung von Polyvinylchlorid zusammengefaßt.

Erdöl und Kohle haben als chemische Rohstoffe für unsere Volkswirtschaft eine große Bedeutung.

Ein Vergleich der Herstellung von Monochloräthen (Vinylchlorid) aus Kohle und Erdöl macht die Vorteile des Einsatzes von Erdöl deutlich.

Die chemisch-technischen Verfahren auf Erdölbasis zeichnen sich im Vergleich zur Kohlechemie durch höhere Effektivität und Produktivität aus, weil

- der Anteil der körperlichen Arbeit geringer ist,
- die Produktionsprozesse meist kontinuierlich verlaufen und weniger energieintensiv sind,
- relativ kurze Produktionszyklen und Massenproduktion mit hoher Umsatzgeschwindigkeit vorherrschen,
- die Rohstoffe rationeller transportiert und weitgehend genutzt werden können,
- die Erdölverarbeitung umweltfreundlicher ist.

Aus ökonomischen Erwägungen (Nutzung einheimischer Rohstoffe und vorhandener technischer Anlagen, Einsparung von Devisen) heraus bleibt aber die Kohle für die Volkswirtschaft unserer Republik auch weiterhin ein wichtiger Rohstoff.

6.4.2. Polyäthylen (Polyäthen)

Das Monomere zur Herstellung von **Polyäthylen (Polyäthen)** ist das Äthen (Äthylen). Es kann aus Kohle oder aus Erdöl gewonnen werden. Durch die Lieferungen von Erdöl aus der Sowjetunion hat die Herstellung von Äthen aus Erdöl in unserer Republik immer mehr an Bedeutung gewonnen.

Bei der Herstellung aus Erdöl bildet sich Äthen beim Kracken der Benzinfraktion (↗ S. 44).

Zur Herstellung von Polyäthylen aus dem gewonnenen Äthen werden verschiedene Verfahren angewendet, die sich technologisch unterscheiden und zu Endprodukten mit unterschiedlichen Eigenschaften führen. Im folgenden wird nur das Hochdruckverfahren betrachtet.

Beim *Hochdruckverfahren* wird Äthen mit einem Katalysator gut vermischt und in beheizte Röhren geleitet. Darin wird es stufenweise bei 1000 ··· 3000 Pa komprimiert. Bei Temperaturen von 120 ··· 200 °C polymerisiert ein Teil des Gases. Das Polymerisat wird als Schmelze abgezogen. Ein Abscheider trennt nicht umgesetztes Äthen ab, das im Kreislauf erneut eingesetzt wird.

(38) ↗ S. 134

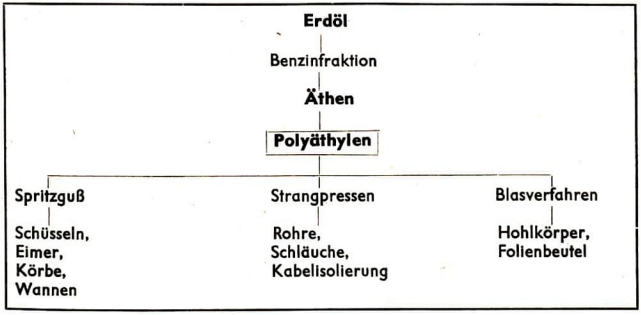
Das entstandene Polymerisat hat thermoplastische Eigenschaften und wird nach den bei Thermoplasten behandelten Verarbeitungsmethoden wie Spritzgießen,

Strangpressen, Hohlkörperblasen, verarbeitet. Besondere Bedeutung hat das Blasverfahren gewonnen (↗ S. 121).

69
▼ *Weisen Sie die thermoplastischen Eigenschaften des Polyäthylens nach, und bestimmen Sie dessen Erweichungstemperatur!* (↗ Experiment 48 und Experiment 49, S. 102 und S. 103)

Die folgende Übersicht 3 gibt einen Überblick über Herstellung, Verarbeitung und Verwendung von Polyäthylen.

Übersicht 3 Herstellung, Verarbeitungsverfahren und Verwendung von Polyäthylen [2]



6.4.3. Phenoplaste

Die Eigenschaften von Phenoplasten sind von den Ausgangsstoffen und den gewählten Reaktionsbedingungen (Reaktionszeit, Temperatur, Katalysatorenart und Massenverhältnissen) abhängig (↗ Tab. 33, S. 116).
Je nach der Wahl dieser Bedingungen bilden sich Novolacke, Resole oder Resite.
Novolacke sind halbflüssige Produkte, die nur durch Zusatz anderer Stoffe in harte Plaste überführt werden können.
Zu ihrer Herstellung wird mit einem Überschuß an Phenol und einem geringen Zusatz Schwefelsäure (saure Kondensation) gearbeitet. Die Moleküle des Polykondensats sind nur linear verknüpft. Die Novolacke finden als Lackharz vielseitig Verwendung, können aber auch zu Preßmassen verarbeitet werden.
Zur Bildung von *Resolen* werden Phenol und Methanal im Volumenverhältnis 1:1 bis 1:2,5 verwendet. In Gegenwart von Ammoniak, Natrium- oder Kaliumhydroxidlösung als Katalysatoren verläuft die Reaktion zu einem makromole-

kularen Stoff, in dem die Verknüpfungen der Moleküle dreidimensional sind. Der Reaktionsverlauf ist über drei Stufen (Resol—Resitol—Resit) steuerbar. Als Resit wird ein Phenoplast bezeichnet, der unlöslich, hart und nicht mehr formbar ist. Deshalb wird die Polykondensation von Phenol mit Methanal zunächst bei einer Temperatur von 100 °C durchgeführt. Die Moleküle verknüpfen sich bei dieser Temperatur linear. Es entsteht ein flüssiges oder festes Produkt, das aber in jedem Fall schmelzbar, also thermoplastisch ist — das Resol.

70 ▼ *Stellen Sie ein Resol her!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Reagenzglashalter, Reagenzglasgestell, Spatellöffel, Halbmikro-Tropfer, Brenner

Chemikalien: a) Paraformaldehyd, Phenol, Natriumhydroxidlösung (10%ig)
b) Phenol, Methanallösung (40%ig), Natriumhydroxidlösung (50%ig)

Durchführung a

1. Füllen Sie ein Reagenzglas zunächst 1,5 cm hoch mit Paraformaldehyd, dann 3 cm hoch mit Phenol (Vorsicht, Gift 2!)!
2. Erwärmen Sie das Reagenzglas leicht!
3. Zur entstandenen Lösung fügen Sie 3 Tropfen Natriumhydroxidlösung (Vorsicht, Gift 2, ätzend!) zu!
4. Erwärmen Sie danach das Reagenzglas nochmals 3 min!

Durchführung b

1. Versetzen Sie in einem Reagenzglas eine etwa 4 cm hohe Schicht Phenol (Vorsicht, Gift 2!) mit so viel Methanallösung (Vorsicht, Gift 2!), daß das Phenol eben bedeckt ist!
2. Geben Sie etwas Natriumhydroxidlösung zu, und erhitzen Sie das Reagenzglas so lange, bis die Lösung siedet und viskos wird!
3. Unterbrechen Sie das Erhitzen, wenn entstehende Blasen einige Zeit auf der Oberfläche der Reaktionsmasse stehenbleiben!

Auswertung

Es bildet sich nach Durchführung a eine klare, viskose, meist farblose Flüssigkeit, die beim Abkühlen fest wird. Sie kann durch erneutes Erhitzen wieder geschmolzen werden. Es ist ein Resol entstanden.
Nach Durchführung b erhält man je nach der Dauer des Erhitzens Produkte, die beim Abkühlen flüssig bleiben oder fest werden, in jedem Fall aber schmelzbar sind. Auch nach Durchführung b entsteht ein Resol.

71 ▼ *Untersuchen Sie die Eigenschaften eines Resols!*

Geräte: Reagenzgläser (16 mm × 160 mm), Spritzflasche mit Wasser, Brenner

Chemikalien: Resol aus Experiment 70, Äthansäureäthylester

Durchführung

1. Füllen Sie ein Reagenzglas etwa zu einem Fünftel mit Äthansäureäthylester und ein zweites Reagenzglas mit dem gleichen Volumen von Wasser!
2. Erwärmen Sie in einem Reagenzglas etwa 2 ml Resol!
3. Verteilen Sie je ein Drittel des geschmolzenen Resols auf die beiden Reagenzgläser, schütteln Sie diese kräftig, und erwärmen Sie die Reagenzgläser schwach!

Auswertung

Das Resol ist thermoplastisch. Es läßt sich schmelzen. In Wasser sind Resole unlöslich, jedoch löslich in organischen Lösungsmitteln, wie zum Beispiel in Äthansäureäthylester.

72 ▼ *Prüfen Sie die Eigenschaften von Resolharzen!*

Geräte: Glattes Stück Holz, Trockenschrank

Chemikalien: Resol, in Äthansäureäthylester gelöst (aus Experiment 71, S. 124)

Durchführung

1. Gießen Sie eine Resollösung (↗ Experiment 71, S. 124) auf ein glattes Stück Holz!
2. Verteilen Sie die Lösung durch Drehen des Holzes auf der Holzoberfläche!
3. Lassen Sie das Lösungsmittel verdunsten!
4. Prüfen Sie Aussehen und Beschaffenheit der Holzoberfläche!
5. Trocknen Sie das Holz in einem Trockenschrank längere Zeit bei etwa 160 °C!

Auswertung

Nach dem Verdunsten des Lösungsmittels verbleibt auf dem Holz ein dünner Lackfilm, der jedoch klebrig ist (Resol). Nach dem Trocknen im Trockenschrank klebt der Lackfilm nicht mehr, da das Resol in Resit übergegangen ist (Einbrennen des Lacks). Der Lackfilm ist nun sehr widerstandsfähig gegen Feuchtigkeit und andere Einflüsse.
Bemerkung: Das Reagenzglas mit dem restlichen Resol (nach Experiment 71) ist für weitere Untersuchungen aufzubewahren.

Das gewonnene Resol kann nach verschiedenen technologischen Verfahren weiterverarbeitet werden. Es kann zum Beispiel in Formen gegossen und in diesen langsam auf eine Temperatur von 160 ··· 200 °C erwärmt werden. Dabei setzt sich der Polykondensationsvorgang fort. Über die Stufe des *Resitols* bilden sich dreidimensional verknüpfte Makromoleküle aus (Resit). Der Phenoplast ist nun ausgehärtet, unlöslich und nicht mehr formbar. Derartige Produkte heißen *Gießharze* oder *Edelkunstharze*. Der weitaus größte Teil des Resols wird aber, nachdem es erstarrt ist, gemahlen und mit Holzmehl, Gesteinsmehl, Asbest, Papierschnitzeln und anderen Stoffen gut vermischt und auf eine Temperatur

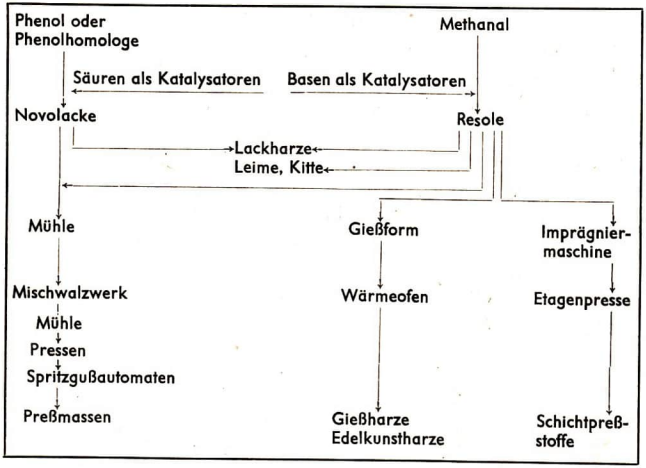
von etwa 150 °C erwärmt. Bei dieser Temperatur bildet sich durch weitere Polykondensation Resitol. Nach dem Erstarren wird auch dieses Produkt gemahlen und in Tabletten- oder Pulverform der weiterverarbeitenden Industrie zugeführt.

Die Verarbeitung der Resitoltabletten beziehungsweise des Resitolpulvers erfolgt in hydraulischen Pressen oder Strangpressen beziehungsweise Spritzgußautomaten. Dabei wird das Resitol zunächst auf 160 ··· 200 °C erwärmt und danach zum gewünschten Gegenstand geformt. Durch weitere Erwärmung wird der geformte Gegenstand ausgehärtet. Man erhält so *Preßmassen*.

Eine andere Verarbeitungsart besteht darin, mehrere Papier- oder Stofflagen übereinander zu schichten und mit Resol zu durchtränken. In einer Etagenpresse erfolgt durch Erhitzen auf eine Temperatur von 160 ··· 200 °C die Aushärtung zum *Schichtpreßstoff*.

Resole können auf Grund ihrer Eigenschaften gut als Leime, Kitte und Anstrichmittel verwendet werden (↗ Übersicht 4).

Übersicht 4 Herstellung und Verwendung von Phenoplasten [1]



73 ▼ *Wandeln Sie ein Resol in ein Resit um!*

Geräte: Halbmikro-Tropfer, Reagenzglashalter, Brenner

Chemikalien: Resol (↗ Experiment 71, S. 124), Chlorwasserstoffsäure (10%ig)

Durchführung

Vorsicht, die Reaktion verläuft mitunter mit so großer Heftigkeit ab, daß Teile der heißen Reaktionsmasse aus dem Reagenzglas spritzen!

1. Erwärmen Sie das Reagenzglas mit dem Rest des Resols aus dem Experiment 71, Seite 124!
2. Fügen Sie der entstandenen Lösung 5 Tropfen Chlorwasserstoffsäure zu!

Auswertung

Die klare Flüssigkeit wird sehr heiß, verfärbt sich milchig trübe und wird dann fast schlagartig fest. Durch die katalytische Wirkung der Wasserstoff-Ionen der Chlorwasserstoffsäure erfolgt die Umwandlung des Resols in das Resit stark beschleunigt.

6.5. Technische Herstellung der Polyakrylnitrilfaser

▶ **Ausgangsstoff für die Herstellung der Polyakrylnitrilfaser ist das Akrylnitril $CH_2{=}CH{-}CN$, das aus Kohle oder aus Erdöl hergestellt werden kann.**

Herstellung von Akrylnitril auf Kohlebasis

Der Ausgangsstoff für die Akrylnitrilherstellung ist das aus Kohle und Kalk hergestellte Äthin.
Das Äthin reagiert mit Zyanwasserstoff (Blausäure) zu Akrylnitril.

$$CH{\equiv}CH + HCN \rightarrow CH_2{=}\underset{\displaystyle CN}{\underset{|}{CH}}$$

Äthin + Zyanwasserstoff → Akrylnitril

Diese Reaktion findet bei einer Temperatur von etwa 80 °C statt. Als Katalysator wird eine wäßrige Lösung von Kupfer(I)-chlorid und Ammoniumchlorid verwendet.
Da hier außer Akrylnitril durch Nebenreaktionen noch andere Produkte gebildet werden, ist das Akrylnitril verunreinigt. Es wird durch Waschen, Wasserdampfdestillation und nochmalige Destillation gereinigt.

Herstellung von Akrylnitril auf Erdölbasis

Beim Kracken der Benzinfraktion, die bei der Erdöldestillation anfällt, bildet sich Propen (↗ S. 44).
Aus diesem bildet sich durch eine Reaktion mit Ammoniak und Sauerstoff Akrylnitril.

$$2\,CH_2{=}CH{-}CH_3 + 2\,NH_3 + 3\,O_2 \rightarrow 2\,CH_2{=}CHCN + 6\,H_2O$$

Die Polymerisation des Akrylnitrils ist nur möglich, wenn die im Molekül enthaltene Doppelbindung „aufgerichtet" wird. Das kann durch den Zusatz sogenannter *Initiatoren* erreicht werden. Ein Initiator ist ein Stoff, der den Anstoß zu einer Reaktion gibt.
Als Initiatoren eignen sich Wasserstoffperoxid und Kaliumpersulfat.
Die Polymerisation des Akrylnitrils verläuft in wäßriger Lösung. Da Polyakrylnitril aber in Wasser nicht löslich ist, fällt es aus der Lösung aus.

$$n\ CH_2{=}CH \rightarrow \left[-CH_2-\underset{\displaystyle CN}{\underset{|}{CH}}- \right]_n$$

Das eingesetzte Akrylnitril reagiert nicht vollständig zum Polyakrylnitril. Deshalb ist es notwendig, das nicht umgesetzte Akrylnitril aus der entstandenen Suspension, einer Flüssigkeit, in der feste Teilchen fein verteilt vorliegen, zu entfernen. Nach einer Destillation wird es erneut zur Herstellung von Polyakrylnitril eingesetzt. Durch einen Drehfilter wird das entstandene Polyakrylnitril vom Wasser getrennt, anschließend in einer Trockentrommel getrocknet und fein gemahlen.

▶ **Die Polyakrylnitrilherstellung ist ein Beispiel für eine Fällungspolymerisation. Das Monomer ist im Lösungsmittel löslich, das Polymer fällt aus der Lösung aus.**

▶ **Sind bei einer Polymerisationsreaktion das Monomer und das Polymer in dem Lösungsmittel löslich, so spricht man von einer Lösungspolymerisation.**

Bei einer Lösungspolymerisation muß nach beendeter Polymerisation die Zugabe eines Lösungsmittels erfolgen, in dem nur das Monomer löslich ist, damit das Polymer ausfällt.

6.6. Spinnverfahren zur Herstellung von Chemiefaserstoffen

Wesentlich für die Qualität von Chemiefasern ist die Güte und Art der Spinndüsen.
Spinndüsen werden aus hochwertigen Materialien (Edelmetall, Glas, Edelstahl, Tantal) hergestellt. Sie enthalten auf kleinster Fläche eine Vielzahl (bis zu 100000) feinster Bohrungen. Diese Bohrungen sind nicht kreisrund, sondern weisen verschiedenartige Querschnitte auf (↗ Abb. 30, S. 110). Dadurch ist es möglich, auch *Profil-* und *Hohlprofilfäden* herzustellen.

▶ **Allen Spinnverfahren ist gemeinsam, daß der Faserrohstoff als Lösung oder als Schmelze durch die feinen Öffnungen der Spinndüse gedrückt und nach dem Austritt zum Faden verfestigt wird.**

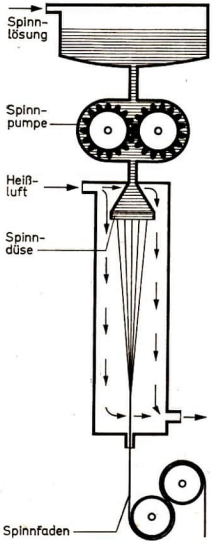


Abb. 31
Schema
des
Trocken-
spinn-
verfahrens

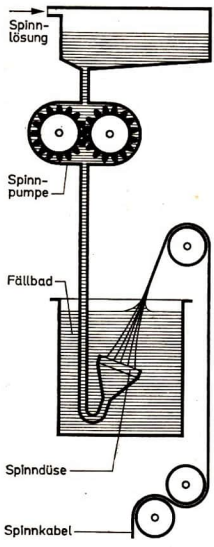


Abb. 32
Schema
des
Naßspinn-
verfahrens

Je nach der Art und Weise, wie dieses Grundprinzip realisiert wird, unterscheide man das *Trockenspinnen*, *Naßspinnen*, *Naßreckspinnen*, *Schmelzspinnen* und das *Extrusionsspinnen*.

Beim *Trockenspinnen* wird der Faserrohstoff in einem leicht flüchtigen Lösungsmittel gelöst und durch die Spinndüsen in einen von Heißluft durchströmten Schacht gepreßt. Das Lösungsmittel verdunstet und wird zur Wiederverwendung kondensiert und abgeleitet. Die entstehenden feinen Fäden werden am Schachtende aufgewickelt (Abb. 31).

Wie beim Trockenspinnen wird beim *Naßspinnen* eine Spinnlösung durch die Spinndüse gedrückt. Der Faden bildet sich beim Naßspinnen in einem „Fällbad" durch komplizierte chemische Reaktionen und physikalische Vorgänge (Abb. 32). Nach diesem Verfahren wird zum Beispiel die Wolprylafaser hergestellt. Als Lösungsmittel dient Dimethylformamid.

74 ▼ *Stellen Sie Polyakrylnitrilfäden her!*

Geräte: Injektionsspritze mit weiter Kanüle oder Halbmikro-Tropfer, Becher (600 cm^3), Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Meßzylinder, Waage

Chemikalien: Polyakrylnitril, Dimethylformamid

Durchführung

1. Stellen Sie eine etwa 8%ige Spinnlösung her, indem Sie in einem Reagenzglas 0,5 g Polyakrylnitril in 5 ml Dimethylformamid lösen!
2. Saugen Sie die erhaltene Lösung mit der Injektionsspritze oder mit einem Halbmikro-Tropfer auf!
3. Drücken Sie die Lösung langsam in das Wasser des Bechers, erfassen Sie mit einem Glasstab den sich bildenden Faden, und ziehen Sie diesen ab!
4. Prüfen Sie den gebildeten Faden auf seine Festigkeit!

Auswertung

Beim Eindrücken in das Wasser erstarrt die Lösung zu einem Faden, der aber eine unzureichende Festigkeit hat, da die Bedingungen des Experiments von denen der technischen Durchführung erheblich abweichen.

Das *Naßreckspinnen* unterscheidet sich vom Naßspinnen im wesentlichen dadurch, daß der Faden nach dem Austritt aus der Spinndüse noch formbar ist und schneller abgezogen wird, als er aus der Düse austritt. Dabei wird er auf das

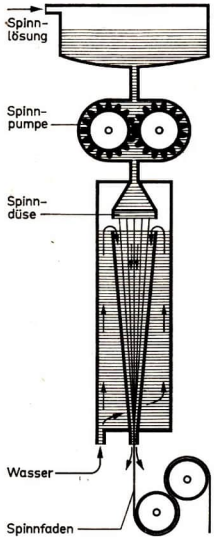


Abb. 33
Schema
des
Naßreck-
spinn-
verfahrens

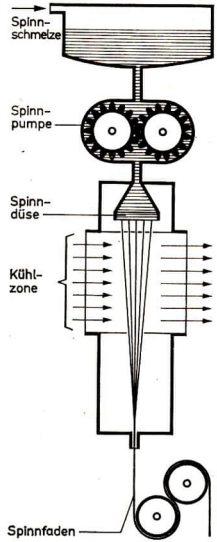


Abb. 34
Schema
des
Schmelz-
spinn-
verfahrens

etwa 300fache seiner ursprünglichen Länge gestreckt, was zu einer bedeutenden Verbesserung der Fadenstruktur führt (Abb. 33).
Beim *Schmelzspinnen* wird der Faserrohstoff geschmolzen und mit hohem Druck durch die Spinndüsenöffnungen gedrückt. In einem Kühlschacht erstarrt die Schmelze dann zum Faden (Abb. 34).

75 ▼ *Stellen Sie Dederonfäden her!*

Geräte: Reagenzglas (16 mm × 160 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Brenner

Chemikalien: Polykaprolaktam (oder ein Stück Dederonstrumpf)

Durchführung

1. Schmelzen Sie etwas Polykaprolaktam sehr vorsichtig im Reagenzglas!
2. Ist eine Schmelze entstanden, so tauchen Sie den Glasstab hinein, und ziehen Sie aus der Schmelze einen Faden!
3. Versuchen Sie den Faden nach dem Erkalten zu strecken!

Auswertung

Dederon beziehungsweise Polykaprolaktam schmilzt leicht und läßt sich zu einem Faden ausziehen, der sich nach dem Erkalten strecken läßt. Beim Strecken werden die Makromoleküle parallel ausgerichtet. Dadurch nimmt die Reißfestigkeit des Fadens zu.

Ein Nachteil des Schmelzspinnens liegt darin, daß die Verweilzeit des Faserrohstoffes im geschmolzenen Zustand lang und schwer beeinflußbar ist.
Dieser Nachteil wird durch das *Extrusionsspinnen* vermieden. Der Faserrohstoff wird erst unmittelbar vor der Spinndüse geschmolzen und als Schmelze vollständig sowie in relativ kurzer Zeit durch die heiße Zone transportiert (Abb. 35). Die Vorteile des Extrusionsspinnens sind eine hohe Schmelzleistung, kurze Verweilzeit des Rohstoffs in der heißen Zone, exakte Temperaturführung, kontinuierliche Arbeitsweise und Energieeinsparung.

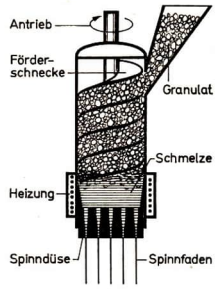


Abb. 35 Schema des Extrusionsspinnverfahrens

Aufgaben zum Kapitel 6

① Nennen Sie einige Ihnen bekannte Werkstoffe, und zeigen Sie, daß die Verwendungsmöglichkeiten der Werkstoffe durch deren Eigenschaften bestimmt werden!

② Nennen Sie, ausgehend von der Definition der Thermo- und Duroplaste, Einsatzgebiete für Thermoplaste und Duroplaste!

③ Erläutern Sie am Beispiel der vollsynthetischen Chemiefaserstoffe, daß es dem Menschen möglich ist, die wirkenden Naturgesetze zu erkennen und diese Erkenntnisse zu seinem Vorteil zu nutzen!

④ Nennen Sie einige Plaste, und schließen Sie von der Verwendung auf die Eigenschaften dieser Plaste!

⑤ Nennen Sie einige Chemiefaserstoffe, und schließen Sie von deren Verwendung auf die Eigenschaften, über die diese Chemiefaserstoffe verfügen!

⑥ Informieren Sie sich im Geografielehrbuch der Klasse 10 über die Standortverteilung der chemischen Industrie der DDR! In welchen Chemiebetrieben werden Plaste bzw. Chemiefaserstoffe hergestellt?

⑦ Welche Aussagen können Sie anhand der Tabellen 29 und 30, Seite 100 und Seite 101, über die Stellung der Plast- und Chemiefaserstoffproduktion innerhalb der chemischen Industrie der DDR treffen?

⑧ Welche Bedeutung hat die Plast- und Chemiefaserstoffproduktion für die gesamte Volkswirtschaft unserer Republik?

⑨ Geben Sie Beispiele für die Verwendung der Plaste und Chemiefaserstoffe im Haushalt an!

⑩ Welche Vorteile bietet der Einsatz der Plaste und Chemiefaserstoffe gegenüber herkömmlichen Werkstoffen im Haushalt?

⑪ Nennen Sie Ursachen für die Abweichung der im Experiment 49, Seite 103, ermittelten Erweichungstemperatur von Plasten von den Tabellenwerten im Tabellenbuch Chemie [19]!

⑫ Schlußfolgern Sie von den im Experiment 49, Seite 103, ermittelten zulässigen Temperaturbelastungen der einzelnen Plaste auf ihre mögliche Verwendung!
Nennen Sie geeignete und ungeeignete Einsatzgebiete für die einzelnen Plaste!

⑬ Schlußfolgern Sie aus den Untersuchungsergebnissen des Experiments 50, Seite 104, auf die wahrscheinlichen Wasch- und Bügeltemperaturen dieser Chemiefaserstoffarten!

⑭ Warum ist ein moderner Haushalt ohne Reglerbügeleisen nicht mehr denkbar?

⑮ Welche Behandlungssymbole an Kleidungsstücken gibt es, und was für eine Bedeutung haben sie?

⑯ Schätzen Sie anhand der Untersuchungsergebnisse aus Experiment 52, Seite 104, die Korrosionsbeständigkeit der Plaste ein!
Vergleichen Sie die Korrosionsbeständigkeit der Plaste mit der Korrosionsbeständigkeit der Metalle!

⑰ Warum werden Metalle mit Plasten beschichtet?

⑱ Begründen Sie die bessere Haltbarkeit eines Anstrichs mit Zweikomponenten Pur-Farbe beziehungsweise Alkydharzfarbe im Vergleich zu Ölfarbenanstrichen!

⑲ Textilien werden neben Behandlungssymbolen auch mit Symbolen für die chemische Reinigung gekennzeichnet.
Welche Symbole sind Ihnen bekannt?
Welche Bedeutung haben sie?

⑳ Leiten Sie aus den Ergebnissen der Dichtebestimmung nach Experiment 52, Seite 105, wichtige Einsatzgebiete der untersuchten Plaste ab! Begründen Sie diese!

㉑ Erläutern Sie am Beispiel des Phenolmoleküls, wodurch eine aromatische Verbindung gekennzeichnet ist!

㉒ Welche Bindungsarten sind Ihnen aus der organischen Chemie bekannt?

㉓ Stellen Sie die allgemeine chemische Gleichung für dieBildung von Polyäthylen, Polyvinylchlorid, Polyakrylnitril auf!

㉔ Was verstehen Sie unter Polykondensation?

㉕ Informieren Sie sich über die Bildung polymerer Stoffe durch Polykondensation! (↗ ChiÜb, S. 56, ↗ LB 9)

㉖ Erläutern Sie den Vorgang der Polykondensation, und vergleichen Sie diese mit der Hydrolyse!

㉗ Vergleichen Sie Polymerisationsreaktionen und Polykondensationsreaktionen miteinander! Arbeiten Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Polymerisationsreaktionen und Polykondensationsreaktionen heraus!

㉘ Konstruieren Sie sich aus Piathermabfällen eine Schachtel, installieren Sie darin eine Klingel, und schalten Sie diese ein! Versuchen Sie mit dieser Piathermschachtel die Wärmeisolierung des Piatherms nachzuweisen!

㉙ Wofür kann Kauritleim verwendet werden?

㉚ Definieren Sie den Begriff Katalysator, und schildern Sie den Einfluß von Katalysatoren auf chemische Reaktionen, insbesondere auf solche, die zu einem chemischen Gleichgewicht führen!

㉛ Erläutere die Begriffe Karbonsäuren, Alkohole, Alkansäuren und Alkanole?
Welcher Zusammenhang besteht zwischen diesen Stoffgruppen¿

㉜ Beweisen Sie, daß die auf Seite 118 angeführte Reaktion eine Esterbildung, eine Kondensation und eine Substitution ist!
Welcher Zusammenhang besteht zwischen diesen Reaktionsarten?

㉝ Stellen Sie die Polymerisation in einer Tabelle der Polykondensation gegenüber!

Reaktionsart	Polymerisation	Polykondensation
Begriff		
Reaktionstyp		
Voraussetzungen in den Monomermolekülen		
Nebenprodukte		
Prozentuale Zusammensetzung des Makromoleküls im Vergleich zum Monomermolekül		

㉞ Entwickeln Sie für die Reaktion von Branntkalk und Koks und für die Reaktion von Kalziumkarbid und Wasser die chemischen Gleichungen!

㉟ Bauen Sie eine Apparatur zur Darstellung und zum pneumatischen Auffangen von Äthin auf!
Stellen Sie Äthin dar, fangen Sie es pneumatisch auf, und weisen Sie die im Äthin vorliegenden Mehrfachbindungen nach!

㊱ Entwickeln Sie für die Bildung von Polyvinylchlorid aus Kohle und Kalkstein beziehungsweise aus Erdöl die chemischen Gleichungen!

㊲ Entwickeln Sie eine chemische Gleichung für die Bildung von Äthen durch Kracken von Benzin!

㊳ Erläutern Sie am Beispiel der Bildung von Polyäthylen die Polymerisation, ordnen Sie diese einem Reaktionstyp zu!

Anhang

A1 ▼ *Weisen Sie in einer Erdölprobe die Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff qualitativ nach!*

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 mm × 160 mm), durchbohrte Stopfen, rechtwinklig gebogenes Glasrohr, Brenner

Chemikalien: Erdöl, Kupfer(II)-oxid, Kalziumhydroxidlösung

Durchführung

1. Füllen Sie etwa 0,5 ml Erdöl in ein Reagenzglas (Abb. 36), und spannen Sie das Reagenzglas schräg in ein Stativ ein!

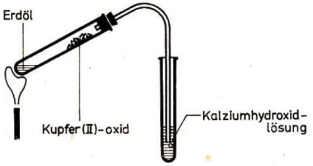


Abb. 36 Nachweis von Kohlenstoff

2. Geben Sie in die Mitte des Reagenzglases eine Spatelspitze Kupfer(II)-oxid!
3. Schließen Sie an das Reagenzglas mit Hilfe eines durchbohrten Stopfens das gebogene Glasrohr an!
4. Füllen Sie ein zweites Reagenzglas zur Hälfte mit Kalziumhydroxidlösung, und schieben Sie es über den freien Teil des gebogenen Glasrohres!
5. Erhitzen Sie das Kupfer(II)-oxid (Gift 2!) erst vorsichtig, dann kräftig!
6. Erhitzen Sie kurz die Flüssigkeit, damit Dämpfe entstehen und über das glühende Kupfer(II)-oxid streichen!

A2 ▼ *Trennen Sie ein Gemisch von Speiseöl und Tetrachlormethan durch Destillation!*

Geräte: Destillierkolben (250 cm^3), Laborthermometer (0/+200 °C), Mohrscher Kühler (l = 400 mm), Becher (100 cm^3), Brenner, Babotrichter, Siedesteine

Chemikalien: Tetrachlormethan, Speiseöl

Durchführung

1. Füllen Sie ein Gemisch aus etwa 25 ml Tetrachlormethan (Vorsicht, Gift 2!) und 25 ml Speiseöl in den Destillierkolben (Abb. 37), und geben Sie einige Siedesteine zu!
2. Verbinden Sie den Mohrschen Kühler mit dem Ableitungsrohr, und schließen Sie die Schläuche für Wasserzuleitung und -abfluß an!
3. Befestigen Sie das Thermometer so im Destillierkolben, daß sich die Quecksilberkugel in Höhe des Ansatzrohres befindet!
4. Stellen Sie die Vorlage unter das Kühlerende!
5. Erhitzen Sie den Destillierkolben vorsichtig, so daß das Destillat tropfenweise in die Vorlage tropft!
6. Beenden Sie die Destillation, sobald die Temperatur schnell über 80 °C ansteigt!
7. Geben Sie nach dem Abkühlen sowohl zum Destillat als auch zum Rückstand etwas gefärbtes Wasser!

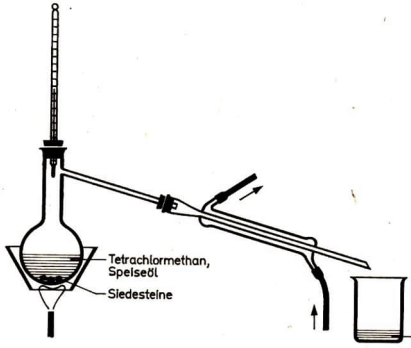


Abb. 37
Trennung eines Tetrachlormethan-Speiseölgemisches

Auswertung

Tragen Sie Ihre Ergebnisse in eine Tabelle ein!

	Stoff	Dichte im Vergleich zum Wasser
Destillat		
Rückstand		

A3

Trennen Sie ein Stoffgemisch durch Vakuumdestillation!

Geräte: Rundkolben (250 cm³) mit Claisenaufsatz, Siedekapillare, Laborthermometer (0/+300 °C), Liebigkühler (l = 400 mm), Vakuumvorstoß, Rundkolben (50 cm³), Quecksilbermanometer, Woulffesche Flasche (500 cm³, dreifach tubuliert), Meßzylinder (100 cm³), elektrische Heizplatte oder Sandbad, Wasserstrahlpumpe, Vakuumschlauch, Schutzbrille

Chemikalien: Stoffgemisch aus Benzol und Tetrachlormethan

Durchführung

Vorsicht! Schutzbrille benutzen!

1. Füllen Sie 50 ml des Stoffgemisches in den Rundkolben (Abb. 38)!
2. Stellen Sie die Apparatur nach Abbildung 38 zusammen!
3. Stellen Sie mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe ein Vakuum her, und überprüfen Sie die Apparatur auf Dichtheit (Vorsicht, Schutzbrille benutzen!)!
4. Erhitzen Sie das Flüssigkeitsgemisch im Rundkolben bis zum Sieden, und notieren Sie die Siedetemperatur und den bei dieser Temperatur herrschenden Druck!
5. Destillieren Sie weiter bis zum Siedebeginn des zweiten Stoffes!
6. Beim Beenden der Destillation öffnen Sie zuerst den Hahn an der Woulffeschen Flasche und stellen erst dann die Wasserstrahlpumpe ab!

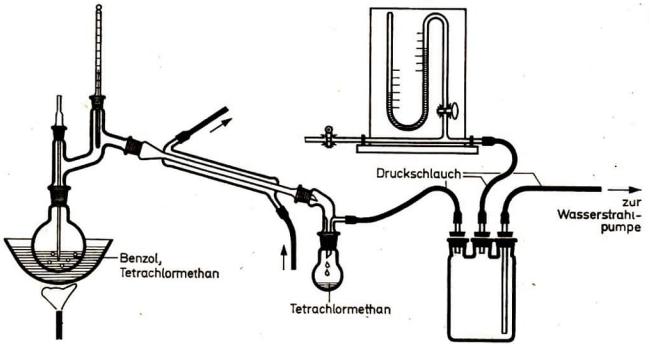


Abb. 38 Apparatur zur Vakuumdestillation

Bemerkung: Wenn kein Manometer vorhanden ist, kann das Vorliegen eines Vakuums durch Prüfen der Saugwirkung am oberen Ende der Siedekapillare beziehungsweise des Claisenaufsatzes festgestellt werden.

A4

Zerlegen Sie langkettige Kohlenwasserstoffverbindungen durch Kracken!

Geräte: Fraktionierkolben (100 cm³), Tropftrichter (50 cm³), Reagenzglas mit Ansatzrohr (30 mm × 200 mm), 2 Reagenzgläser (16 mm × 160 mm), Becher (600 cm³), pneumatische Wanne, 2 Abdampfschalen aus Porzellan (d = 50 mm)

Chemikalien: Paraffinöl, Stahlwolle, Bromwasser

Durchführung

1. Geben Sie die Stahlwolle in den Fraktionierkolben (Abb. 39) und das Paraffinöl in den Tropftrichter!
2. Stellen Sie die Apparatur nach Abbildung 39 zusammen!
3. Erhitzen Sie den Fraktionierkolben anfangs vorsichtig, später stark, bis die Stahlwolle rotglühend wird!
4. Tropfen Sie langsam (1 Tropfen je 2 Sekunden) Paraffinöl auf die Stahlwolle!
5. Fangen Sie das entstehende Gas pneumatisch auf!
6. Überprüfen Sie das entstehende Gas auf Brennbarkeit!
7. Füllen Sie einen Teil des Destillats und etwas Paraffinöl in je ein Reagenzglas!
8. Versetzen Sie die Proben in den Reagenzgläsern mit Bromwasser, und zählen Sie dabei die Tropfen des benötigten Bromwassers, bis keine Entfärbung des Bromwassers mehr auftritt!
9. Füllen Sie den Rest des Destillats und etwas Paraffinöl in je eine Abdampfschale!
10. Versuchen Sie, beide Flüssigkeiten zu entzünden!

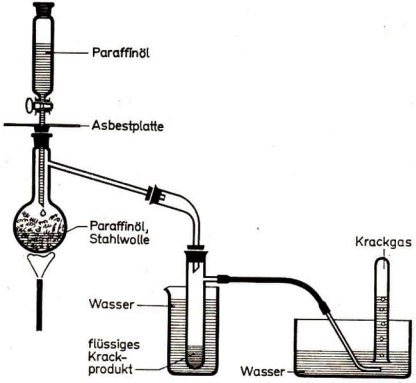


Abb. 39
Kracken von Paraffinöl

A5 ▼ *Ermitteln Sie die Dichte von Benzindämpfen im Vergleich zur Dichte der Luft!*

Geräte: Eisenblech 400 mm × 80 mm, Brenner oder Kerze, Schutzbrille

Chemikalien: Benzin, Watte

Durchführung

Vorsicht! Schutzbrille benutzen!

1. Biegen Sie das Eisenblech zu einer V-förmigen Rinne, und befestigen Sie diese in einer Schräglage von etwa 45° an einem Stativ (Abb. 40)!
2. Tränken Sie einen Wattebausch mit Leichtbenzin, und legen Sie die getränkte Watte in die Mitte der Rinne!
3. Prüfen Sie mit einem Brenner, an welchem Ende der Rinne sich die entstehenden Benzindämpfe entzünden lassen!

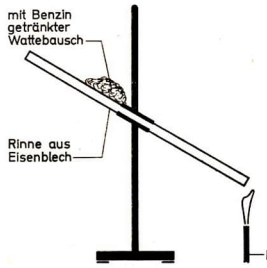


Abb. 40
Bestimmen der Dichte von Benzindämpfen

Bemerkung: An Stelle einer Eisenrinne kann auch ein Verbrennungsrohr benutzt werden.

A6 ▼ *Prüfen Sie Benzol auf das Vorhandensein von Mehrfachbindungen!*

Geräte: Reagenzglas

Chemikalien: Benzol, Bromwasser oder Baeyers Reagens

Durchführung

1. Geben Sie 1 ml Benzol in ein Reagenzglas!
2. Versetzen Sie das Benzol mit dem doppelten Volumen an Bromwasser oder Baeyers Reagens, und schütteln Sie das Reagenzglas!

Literaturverzeichnis

[1] ABC Chemie in zwei Bänden. VEB F. A. Brockhaus-Verlag, Leipzig 1965.
[2] Arbeits- und Brandschutzanordnung ASAO 850/1.
[3] Autorenkollektiv: Chemie, Nachschlagebücher für Grundlagenfächer. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1963.
[4] Chemiefaser ABC. Warenzeichenverband für Kunststofferzeugnisse der DDR-e.V., Rudolstadt/Thüringen.
[5] Just: Es geht nicht ohne Plaste. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1962.
[6] Keune, H., Filbry, W.: Chemische Schulexperimente, Band 2. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1976.
[7] Keune, H., Kuhnert, R.: Chemische Schulversuche, Teil 4. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1967.
[8] Lingelbach, A., Sommer, K., Wolffgram: Vom Rohstoff zum Chemieprodukt. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1967.
[9] Lohs: Wissenschaft und Fortschritt (1975), H. 1, S. 185.
[10] Meinhold, R., Gindorf, L., Preuß, B.: Urania **53** (1977), H. 2, S. 10ff.
[11] Prinzler, H.: Einführung in die Technologie des Erdöls. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1961.
[12] Schäfer, W.: Chemie in Theorie und Praxis, Band 3. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1961.
[13] Schiller, G.: Das Erdöl und seine Verarbeitung. Methodische Beiträge zum Unterricht im Fach Chemie. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1960.
[14] Schrader, W., Franke, W.: Kleiner Wissensspeicher Plaste. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1970.
[15] Schwabe, G.: Chemie in der Schule **20** (1973), H. 11, S. 469ff.
[16] Sommer, K.: Wissensspeicher Chemie. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977.
[17] Just, M., Hradetzky, A.: Chemische Schulexperimente, Band 4. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977.
[18] Statistisches Jahrbuch der DDR 1980, Staatsverlag der DDR, Berlin 1980.
[19] Tabellenbuch Chemie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975.
[20] Taubert, H., Steinbach, E.: Rationelle Energieanwendung. Urania-Schriftenreihe, Berlin 1972.
[21] Meinhold, R., Pätz, H.: Erdöl und Erdgas — vom Plankton bis zur Pipeline, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1978.
[22] Erdöl: Horizont (1975), H. 7, S. 21.
[23] Winkler, H.: Erdöl, Horizont (1981), H. 8, S. 23.

A

Akrylnitril 127
Alkane 76
—, Chlorierung 87
Alkanthiole 49
Alkene 76
—, Darstellung 77
Altöl 62
Aminoplast 100
Aminoplast, Darstellung 113
Aminoplastschaum 114
Arex-Verfahren 86
Aromaten 81
Asphalt 44
Äthan, Darstellung 79
Äthanal, Darstellung aus Äthanol 93
Äthanol, Darstellung aus Äthen 92
Äthen, Darstellung 77ff.
—, Reaktionen 90
—, Verwendung 91
Äthinhydrierung 78
Auspuffgase 55, 56

B

Beilsteinprobe 108
Benzin 43 44 53
—, Dichte 55
—, Eigenschaften 61
—, Entflammbarkeit 55
—, Mischbarkeit 55
Benzol, Darstellung 82
—, Eigenschaften 81
—, Nachweis 84
—, Produkte 95
—, Reaktionen 95
Beständigkeit, chemische 104
Bitumen 24 43
Blasautomat 121
Bleinachweis 54
Bleitetraäthyl 54
Brennprobe 106 107
Brennpunkt 15
Brenntemperatur 15
BTX-Aromaten 86

C

Chemiefaserstoffe, Bedeutung 99
—, Eigenschaften 102 104
—, Faserarten 106
—, halbsynthetische 99
—, Handelsnamen 101
—, Oberflächenbeschaffenheit 109 110
—, Verwendung 101
—, vollsynthetische 99

D

Dederonfäden, Darstellung 131
Destillatbenzin 53
Destillation, einfache 34
—, fraktionierte 35

—, unter Vakuum 137
Dichtebestimmung 105
Dieselklopfen 61
Dieselkraftstoff 60
—, Eigenschaften 61
—, Zündwilligkeit 61
Drehbohrverfahren 28
Druckwasserstoffraffination 50
Drushba-Trasse 31 32
Duroplaste 98 102

E

Edelkunstharze 125
Erdgas 10
—, Fördergebiete 11
—, Förderländer 30
Erdöl 10
—, Destillation 40
—, Eigenschaften 11 12
—, Erkundung 27
—, Erschließung 28
—, Förderländer 29
—, Förderung 28 29 30
—, Fraktionen 43
—, Lagerstätten 25
—, Monopole 21
—, Muttergestein 24 25
—, Schwefelnachweis 13 14
—, Transport 30ff.
—, Vorräte 26
—, Zusammensetzung 10 11 13
Erosionsbohrverfahren 28
Extrusionsspinnen 129 131

F

Fällungspolymerisation 128
Flammpunkt 15 57
Fraktion 35

G

Gasolin 43
Gasöl 43 44
Gebrauchsenergie 16
Gefahrklassen 57
Gießharze 125
Glockenboden 41

H

Heizwert 17
Hohlfasern 109
Hohlprofilfasern 110 128
Hydrofining 50

I

Isomerisierung 48

J

Jodoformprobe auf Äthanol 93

K

Kalandieren 120 121
Kennziffer 58
Klopfen 46
Korrosion 104
Krackbenzin 53
Kracken 44ff. 138
—, hydrierendes 47
Kraftstoffe 53
—, Kennziffer 58
—, Siedeanalyse 58

L

Leichtbenzin 43
Leichtöl 43
Leuchtöl 43
Leunawerke 72
Lösungspolymerisation 128

M

Makromoleküle 111
Maschinenöl 62
Monomere 111

N

Naßreckspinnen 129
Naßspinnen 129

O

Oktanzahl 46 47
Olefine 86
OPEC 22

P

Paraffin 43 58 76
—, Arten 68
—, Löslichkeit 66
—, *n*-Paraffin 75 84 89
—, — Reaktionen 89
—, — Oxydation 87
—, Schmelztemperaturen 67
—, Verwendung 68
Parex-Verfahren 84 85
Petrolasphalt 43
Petroläther 43
Petrolchemie 9 71
—, Entwicklung in der DDR 71
petrolchemischer Grundstoff 76
Petrolchemisches Kombinat Schwedt 72
Petroleum 43 44
Petrolkoks 43 46
Phenol 50
Phenoplaste 100 116 117 126
—, Herstellung 126
—, Verwendung 126
Platformer 48
Platforming-Verfahren 48
Plaste 98
—, Bedeutung 99
—, chemische Beständigkeit 102
—, Dichtebestimmung 105
—, Eigenschaften 102
—, Erweichungstemperatur 103
—, Handelsnamen 100
—, technische Herstellung 119
—, Verbrennung 107
—, Verwendung 100
Polyakrylnitrilfaser, technische Herstellung 127
Polyakrylnitrilfäden, Herstellen 129
Polyamide 100
Polyäthylen 100 122 123
Polyester 100 117
Polykondensation 113
Polymerisation 111
Polymermolekül 111
Polystyrol 100 111ff.
Polyvinylchlorid 100 119
—, Chlorbestimmung 108
—, Darstellung 119
—, Eigenschaften 112f.
—, Hart 120
—, Herstellung 121
—, technische Herstellung 119
—, thermoplastische Eigenschaften 119 120
—, Verwendung 121
—, Weich 120
Primärenergieträger 17
Propen, Reaktionen 94 95
Pyridin 50
Pyrolyse-Prozesse 86

R

Raffination 49
Reformieren 44 47 49
Reformingbenzin 53
Reforming-Prozeß 47
Rektifikation 38
Rektifikationskolonne 40
Resit 116 124ff.
Resitol 116 124ff.
Resol 116 123 124
Resolharze, Eigenschaften 125

RGW, Entwicklung 20
Rohbraunkohle, Förderung 10
Röhrenerhitzer 40
Rotary-Verfahren 28

S

Schlagpressen 120
Schmelzprobe 102
Schmelzspinnen 129 131
Schmieröl 43 44 62
—, Viskosität 63
Schwefelwasserstoffentfernung 51
Schwerbenzin 43
Seifen, Herstellung 88
Seilschlagverfahren 28
Seismik 27
seismische Verfahren 27
Siedeanalyse 58
Siedetemperaturen 40
Spindelöl 62
Spinndüsen 128
Spinnverfahren 128
Spritzguß 121
Stockpunkt 16
Stocktemperatur 16
—, Ermittlung 65
Strangpressen 120
Synthesegas 76

T

Thermoplast 98 102
Tiefziehen 120
Toluol, Produkte 95
—, Reaktionen 95
Trockenspinnen 129
Turbinenbohren 28

U

ungesättigte Verbindungen 60
—, Nachweis 60
Urbitumen 24

V

Vakuumdestillation 37 137
Vergaserkraftstoff 46 53
—, Arten 60
Viskosimeter 63
Viskosität 16 63
—, Messung 64
—, Temperaturabhängigkeit 66

W

Waschmittelherstellung 89
Wassernachweis im Altöl 62
Weichmacher, Wirkung 120
Werkstoffe 98

X

Xylol-Oxydation 95

Z

Zähigkeit 16
Zetanzahl 61
Zündwilligkeit 61
Zyklisierung 48
Zyklohexan, Dehydrierung 82
Zylinderöl 62

Abbildungsnachweis

ADN — ZB / Busch (Abb. 8, 9), ADN — ZB / Hartmetz (Abb. 15), ADN — ZB / Siebahn (Abb. 2), ADN — ZB / Tass (Abb. 5), VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt / Wendland (Abb. 11), Ziemann (Abb. 1).

Kurzwort: 03 17 14 Chemie d. Erdoels