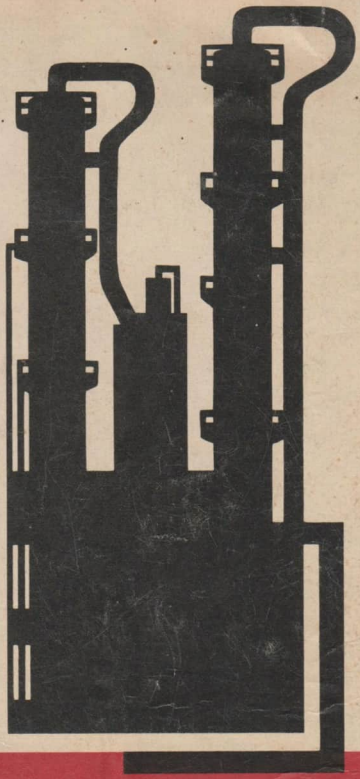
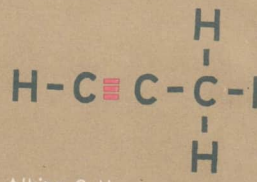


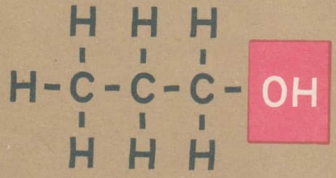


Organische CHEMIE

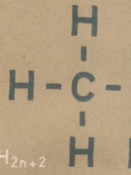
03930-1



Alkine C_nH_{2n-2}

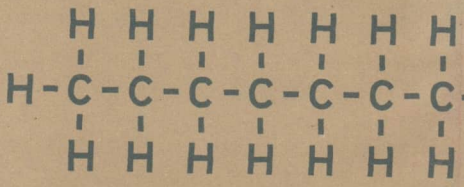


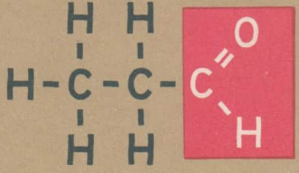
Alkanole $C_nH_{2n+1} \cdot OH$



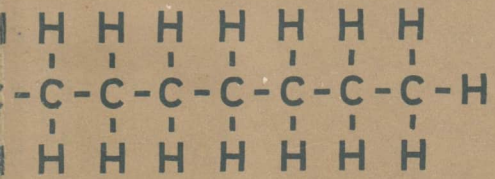
Alkane C_nH_{2n+2}

Alkansäuren
$C_nH_{2n+1} \cdot COOH$



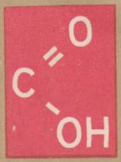


Alkanale $C_n H_{2n+1} \cdot CHO$





Alkene $C_n H_{2n}$



Organische Chemie

Lehrbuch für die Oberschule

9. und 10. Klasse

VOLK UND WISSEN

VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1962

Das Manuskript für dieses Lehrbuch verfaßten
Dipl.-Ing. Albert Hradetzky (1.–14. Kapitel)
und Prof. Dr. Werner Renneberg (Anhang)

Bearbeitet von Klaus Sommer

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik
als Lehrbuch für die allgemeinbildende polytechnische Oberschule bestätigt.

Ausgabe 1962

Stark veränderte Ausgabe des Buches „Organische Chemie" (Best.-Nr. 03918)

1. KAPITEL

Einführung in die organische Chemie

Begriff der organischen Chemie 8
Aufbau organischer Verbindungen 10
Einteilung der organischen Verbindungen 12
Wiederholungsfragen und Aufgaben 14

2. KAPITEL

Kettenförmige Kohlenwasserstoffe

Alkane 16
Alkene 31
Alkadiene 38
Alkine 38
Wiederholungsfragen und Aufgaben 45

3. KAPITEL

Erzeugung von Kohlenwasserstoffen aus Kohle

Kohlenveredlung 48
Verkokung und Vergasung 48
Schwelung der Braunkohle 50
Synthesen nach FISCHER-TROPSCH und FISCHER-PICHLER 53
Hochdruckhydrierung nach BERGIUS 57
Kraftstoffe 60
Die Kohlenveredlungsindustrie unserer Republik 63
Wiederholungsfragen und Aufgaben 66

4. KAPITEL

Technische Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus Erdöl und Erdgas

Erdöl 68
Erdgas 77
Die Erdöl- und Erdgasindustrie der Deutschen Demokratischen Republik 78
Wiederholungsfragen und Aufgaben 81

5. KAPITEL

Derivate der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe

Alkanole (einwertige gesättigte Alkohole) 84
Alkandiole und Alkantriole (mehrwertige gesättigte Alkohole) 95
Wiederholungsfragen und Aufgaben 96
Alkanale (Aldehyde) 98
Wiederholungsfragen und Aufgaben 105
Gesättigte Monocarbonsäuren; Alkansäuren 106
Ungesättigte Monocarbonsäuren; Alkensäuren 115
Gesättigte Dicarbonsäuren; Alkandisäuren 116
Hydroxysäuren (Oxysäuren) 118
Wiederholungsfragen und Aufgaben 119

6. KAPITEL

Aminosäuren – Eiweiße

Aminosäuren 122
Eiweiße 123
Wiederholungsfragen und Aufgaben 127

7. KAPITEL

Ester

Aufbau, Benennung und Arten 130
Fette 132
Wiederholungsfragen und Aufgaben 140

8. KAPITEL

Seifen und Neutralwaschmittel

Seifen 142
Wasserhärte und Wasserenthärtung 149
Neutralwaschmittel 152
Wiederholungsfragen und Aufgaben 156

9. KAPITEL

Ringförmige Kohlenwasserstoffe und ihre Derivate

Benzol 158
Benzolderivate 162
Wiederholungsfragen und Aufgaben 170

10. KAPITEL

Kohlenhydrate

Zucker 172
Die industrielle Gewinnung des Zuckers aus Zuckerrüben 176
Stärke 182
Cellulose 185
Zellstoff 187
Kunstseiden und Zellwollen 190
Wiederholungsfragen und Aufgaben 196

11. KAPITEL

Plaste

Allgemeines 198
Polymerisationsprodukte 199
Polykondensationsprodukte 208
Kautschuk 219
Die Plastindustrie der Deutschen Demokratischen Republik 223
Wiederholungsfragen und Aufgaben 225

12. KAPITEL

Chemiefasern

Allgemeines 228
Chemiefasern auf Cellulosebasis 228
Vollsynthetische Chemiefasern 228
Die Chemiefaserindustrie der Deutschen Demokratischen Republik . . 235
Wiederholungsfragen und Aufgaben 238

13. KAPITEL

Explosivstoffe

Grundlagen der Chemie der Explosivstoffe 240
Schießstoffe 243
Sprengstoffe 244
Zündstoffe – Zündmittel 245
Bedeutung der Explosivstoffe 247
Wiederholungsfragen und Aufgaben 249

14. KAPITEL

Organisch-chemisches Praktikum – Schülerversuche

Qualitative elementaranalytische Untersuchungen 251

Identifizierungsreaktionen der funktionellen Gruppen der Alkanole, der Alkanale und der Alkansäuren 252
Nachweis der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung. 253
Darstellung einiger organischer Substanzen 254
Einfache fraktionierte Destillation 254
Versuche mit Plasten und Fasern 254
Schülerversuche
1. Untersuchung organischer Substanzen 256
2. Kettenförmige Kohlenwasserstoffe und Halogenderivate 258
3. Hydroxylderivate kettenförmiger Kohlenwasserstoffe 267
4. Alkanale 271
5. Kettenförmige Carbonsäuren. 275
6. Eiweiße 277
7. Ester 278
8. Seifen und Neutralwaschmittel 281
9. Ringförmige Kohlenwasserstoffe und einige Derivate 283
10. Kohlenhydrate 284
11. Plaste und Chemiefasern 286

ANHANG

Zur geschichtlichen Entwicklung des Atombegriffs 289

Sach- und Namenregister 295

Zeichenerklärung

Unterrichtsversuche

Unterrichtsversuche, die mit besonderer Vorsicht durchgeführt werden müssen

Merksätze

Fragen und Aufgaben

1. KAPITEL

Einführung in die organische Chemie

In den Forschungslaboratorien, wie hier im VEB Filmfabrik Wolfen, sind Chemiker und Laboranten unermüdlich tätig, die Eigenschaften chemischer Verbindungen zu untersuchen. Vom Kohlenstoff kennt man heute mehr als eine halbe Million Verbindungen. Daher werden diese Stoffe in einem besonderen Zweig der Chemie, der Chemie der Kohlenstoffverbindungen oder organischen Chemie, zusammengefaßt. Bis Anfang des 19. Jahrhunderts nahm man an, daß organische Verbindungen nur im pflanzlichen oder tierischen Organismus unter dem Einfluß einer geheimnisvollen „Lebenskraft" entstehen könnten. Heute stellen die Chemiker viele organische Naturstoffe synthetisch her. Unsere chemische Industrie erzeugt sogar organische Stoffe, die in der Natur überhaupt nicht existieren und die weit bessere Eigenschaften als Naturstoffe haben.



Begriff der organischen Chemie

In der Reihe der chemischen Elemente nimmt der Kohlenstoff dadurch eine besondere Stellung ein, daß er eine sehr große Anzahl von Verbindungen bildet. Fast alle Kohlenstoffverbindungen zeigen gegenüber Verbindungen anderer Elemente Besonderheiten in ihrem Aufbau und ihren Eigenschaften. Aus diesen Gründen bilden die Kohlenstoffverbindungen mit wenigen Ausnahmen einen besonderen Teil der Chemie, den man als **Chemie der Kohlenstoffverbindungen** oder **organische Chemie** bezeichnet.

Kohlenstoffverbindungen kommen in allen Organismen vor. Aber auch unsere Nahrungsmittel, Kleidung, Wäsche und viele Dinge des täglichen Gebrauchs sind oder enthalten Kohlenstoffverbindungen, so zum Beispiel Brot, Früchte, Fleisch, Fett, Wolle, Kunstseide, Zellwolle, Leder, Papier, Braunkohlen, Holz, Plaste, Gummi, Lacke, Klebstoffe, Schuhcreme, Kerzen, Benzin, Schmieröle und die meisten Medikamente und Farbstoffe.

- *Untersuchen Sie nach Versuch S 2 kleine Mengen (höchstens Erbsengröße) von Kerzenparaffin, eines Plastes, einer Acesal-Tablette, von Gummi, Baumwolle, Dederon oder anderen wasserfreien organischen Verbindungen.*
  Was schließen Sie aus der Veränderung in der Bariumhydroxidlösung?
  Was beweist die Bildung von Wassertröpfchen am kalten Teil des waagerechten Reagenzglases?

Wir kennen gegenwärtig weit über eine halbe Million Verbindungen des Kohlenstoffs. Demgegenüber stehen nur etwa 60000 kohlenstofffreie Verbindungen.

Viele organische Verbindungen, die für unser Leben bedeutsam sind, werden heute in den Werken unserer chemischen Industrie hergestellt. Lange Zeit bestand jedoch bei den Menschen die falsche Vorstellung, organische Verbindungen könnten nur im lebenden Organismus entstehen. Im folgenden soll in einem kurzen geschichtlichen Überblick erläutert werden, durch welche Forschungsergebnisse diese Annahmen eindeutig widerlegt werden konnten.

Im 16. Jahrhundert war die Anzahl der erforschten Stoffe schon verhältnismäßig groß, und man begann, eine gewisse Ordnung in diese Kenntnisse zu bringen. Die Naturforscher jener Zeit teilten die chemischen Verbindungen entsprechend ihrer Herkunft in mineralische, animalische (tierische) und vegetabilische (pflanzliche) Stoffe ein. Sie sahen es als eine feststehende Tatsache an, daß sich die mineralischen Stoffe in ihren Eigenschaften grundlegend von den Stoffen des Tier- und Pflanzenreiches unterscheiden.

Später faßte man die animalischen und vegetabilischen Stoffe unter der Bezeichnung „organische Verbindungen" zusammen und erklärte, diese Verbindungen könnten nur im lebenden Organismus durch die Wirkung einer geheimnisvollen, übernatürlichen „Lebenskraft" (vis vitalis) entstehen. Aus dieser unwissenschaftlichen Lehre mußte gefolgert werden, daß organische Stoffe nicht außerhalb des Organismus (künstlich) hergestellt werden können. So schrieb zum Beispiel der Engländer Gren in seinem Buch „Grundriß der Naturlehre" im Jahre 1808: „Was sich in den Gefäßen organischer Körper aus den Grundstoffen bildet, das macht kein Chemiker in Kolben und Schmelztiegeln nach." Das bedeutete für viele Wissenschaftler den Verzicht auf weitere Forschungen in dieser Richtung.

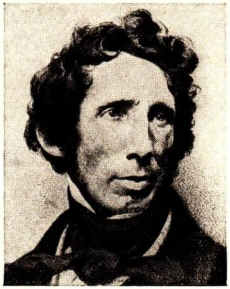


Abb. 1 FRIEDRICH WÖHLER

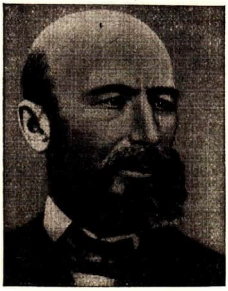


Abb. 2 A. M. BUTLEROW

Erst als es dem deutschen Chemiker FRIEDRICH WÖHLER (Abb. 1) gelang, im Jahre 1824 die organische Verbindung Äthandisäure (Oxalsäure) und 1828 den Harnstoff, ebenfalls eine organische Verbindung, aus anorganischen Verbindungen herzustellen, war die Irrlehre von der geheimnisvollen „Lebenskraft" erschüttert. Gleichzeitig zeigten WÖHLERS Synthesen, daß für anorganische und organische Verbindungen die gleichen chemischen Gesetzmäßigkeiten gelten. In der Folgezeit wurden die Forschungen WÖHLERS auch von anderen Chemikern bestätigt und ergänzt. So stellte 1854 der französische Chemiker MARCELLIN BERTHELOT synthetisch Fette her. Im Jahre 1861 gelang dem russischen Gelehrten ALEXANDER MICHAILOWITSCH BUTLEROW (Abb. 2) die künstliche Herstellung von Zuckerarten.

Die Forschungen WÖHLERS und anderer Wissenschaftler bewiesen, daß man organische Stoffe synthetisch herstellen kann. Noch lange Zeit versuchten jedoch die Anhänger der „vis vitalis", ihre mystische Theorie zu halten und die Existenz einer Lebenskraft zu rechtfertigen. Die Harnstoffsynthese hatte aber den Weg zur modernen Chemie frei gemacht. Die Wissenschaftler begannen allmählich zu erkennen, daß die Welt ihrer Natur nach materiell ist und daß es möglich sein wird, alle Erscheinungen der Natur auf der Grundlage wissenschaftlicher Forschungen zu erklären. In unermüdlicher Forschungsarbeit gelang es den Chemikern, Farbstoffe, Kautschuk, Heilmittel, Vitamine und Hormone im Laboratorium herzustellen. Heute werden von unserer chemischen Industrie sogar Stoffe hergestellt, die in der Natur überhaupt nicht vorkommen und die den Naturprodukten in ihren Eigenschaften weit überlegen sind, denken wir nur an die Plaste, an vollsynthetische Chemiefasern, Arzneimittel und viele andere synthetische Produkte.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß zwischen den kohlenstoffhaltigen (organischen) und den kohlenstofffreien Verbindungen keine grundsätzlichen Unterschiede bestehen. Der Begriff „organische Chemie" ist also heute nicht mehr gerechtfertigt. Richtiger ist die Bezeichnung Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Der Begriff organische Chemie für die Chemie der Kohlenstoffverbindungen ist aber auch heute noch allgemein gebräuchlich. Der elementare Kohlenstoff und einige einfache Kohlenstoffverbindungen, wie seine Oxide, die Kohlensäure und ihre Salze, werden jedoch dem Gebiet der „anorganischen Chemie" zugerechnet. Für die Einteilung chemischer Verbindungen ergeben sich also zwei Hauptgruppen, die **organischen** und die **anorganischen Verbindungen.**

Organische Verbindungen sind Kohlenstoffverbindungen.

Kohlenstoff, das wichtigste Element der organischen Verbindungen, steht in der 4. Hauptgruppe des Periodensystems. Das Kohlenstoffatom besitzt auf seiner Außenschale vier Elektronen, die als Valenzelektronen die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs bedingen (Abb. 3). Kohlenstoffatome zeigen die besondere Eigenschaft, sich untereinander zu verbinden und eine praktisch unbegrenzte Anzahl von ketten- oder ringförmigen Verbindungen zu bilden. Auch Silizium, das im Periodensystem unter dem Kohlenstoff steht, zeigt in einigen Fällen ähnliche Eigenschaften. Während jedoch die Bindung zwischen Siliziumatomen nur locker ist, bilden die Kohlenstoffatome untereinander ziemlich feste Bindungen aus. Auch die Bindung von Kohlenstoff an Wasserstoff ist sehr fest. Aus diesen Gründen sind Stoffe mit C—C-Bindungen und mit C—H-Bindungen verhältnismäßig reaktionsträge und die Reaktionsgeschwindigkeiten bei der Umsetzung der Kohlenstoffverbindungen im allgemeinen gering. Wegen der typischen Struktur, vor allem aber wegen der sehr großen Anzahl der Kohlenstoffverbindungen erscheint eine Zusammenfassung in einem gesonderten Teil der Chemie, der organischen Chemie, zweckmäßig.

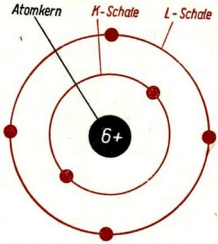


Abb. 3 Modell eines Kohlenstoffatoms

Die Vielzahl der organischen Verbindungen beruht auf der Eigenschaft der Kohlenstoffatome, sich untereinander verbinden zu können.

Aufbau organischer Verbindungen

Eine Besonderheit ist auch die Tatsache, daß außer Kohlenstoff meist nur wenige Elemente am Aufbau organischer Verbindungen beteiligt sind, hauptsächlich Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Wasserstoff als Bestandteil organischer Verbindungen haben wir bereits bei Durchführung des Versuches S 2 durch Bildung der Wassertröpfchen nachgewiesen.
Wir weisen nun Stickstoff in organischen Verbindungen nach.

1

Ein Stückchen sorgfältig entrindetes Natrium von etwa halber Erbsengröße geben wir in ein trockenes Reagenzglas und fügen etwas von der zu untersuchenden stickstoffhaltigen organischen Substanz (z. B. Keratin oder Thioharnstoff) hinzu. Wir befestigen das Glas fast senkrecht in einer Stativklemme und erhitzen, bis die Reaktion eintritt. (Vorsicht! Schutzbrille benutzen!) Dann werfen wir ein zweites, gleich großes Stückchen Natrium in das Reagenzglas und erhitzen kurze Zeit auf Rotglut. Das noch heiße Glas wird in ein Becherglas, das etwa 10 ml destilliertes Wasser enthält, getaucht. Unter Entzündung von möglicherweise noch nicht umgesetztem Natrium zerspringt das Rea-

genzglas. (Vorsicht! Schutzbrille!) Die im Becherglas befindliche Lösung (Lösung I) filtrieren wir in ein Reagenzglas. Nun geben wir in ein Reagenzglas eine kleine Spatelspitze Eisen(II)-sulfat und 5 ml destilliertes Wasser, verschließen das Glas und schütteln. Die Lösung darf nicht erwärmt werden. Anschließend gießen wir ein Drittel der Lösung I in ein Reagenzglas, setzen etwa 2 Tropfen Eisen(II)-sulfatlösung hinzu und prüfen mit Lackmus. Falls die Lösung nicht alkalisch reagiert, ist Natronlauge hinzuzugeben. Dann erhitzen wir die Flüssigkeit und lassen sie etwa 3 min unter Schütteln sieden. (Vorsicht! Siedeverzug!) Danach säuern wir mit verdünnter Schwefelsäure an (Prüfung mit Lackmus) und setzen einen Tropfen Eisen(III)-chloridlösung hinzu.

Was beobachten Sie? Stellen Sie einen auf die Anwesenheit von Stickstoff hindeutenden tiefblauen Niederschlag (Berliner Blau) fest oder ist nur die Lösung blau gefärbt?

● *Führen Sie den Stickstoff-Nachweis bei Harnstoff nach Versuch S 3 durch.*

Weniger häufig als die genannten Elemente treten Schwefel und Halogene als Bausteine organischer Verbindungen auf. Die übrigen Elemente kommen in organischen Stoffen nur selten vor. Wir prüfen, ob die im Versuch 1 eingesetzte Substanz auch schwefelhaltig ist.

2

Ein Drittel der Lösung I vom Versuch 1 wird in einem Reagenzglas mit konzentrierter Äthansäure angesäuert (Vorsicht!) und $10^0/_0$ige Bleiäthanatlösung hinzugegeben. Ein dunkelbrauner Niederschlag von Blei(II)-sulfid zeigt uns die Anwesenheit von Schwefel in der untersuchten Substanz an.

Stellen Sie einen derartigen Niederschlag fest?

Der Halogennachweis kann mit Hilfe der „Salpeterschmelze" durchgeführt werden:

3

Eine kleine Spatelspitze einer halogenhaltigen organischen Substanz (z. B. das Mottenschutzmittel Globol) wird mit der etwa 20fachen Menge Kaliumnitrat in einer Reibschale gut verrieben. Von dieser Mischung füllen wir einen Teil (höchstens etwa 1 cm hoch) in ein schwerschmelzbares Reagenzglas. Dieses Glas befestigen wir nicht ganz lotrecht an einem Stativ und erhitzen erst vorsichtig, später kräftig, bis sich eine klare Schmelze gebildet hat. Vorsicht! Die Reaktion verläuft am Anfang meist sehr heftig! Nach dem Abkühlen setzen wir etwas Wasser hinzu und lösen die Schmelze durch Erwärmen und Schütteln des Glases. Die entstandene klare Flüssigkeit säuern wir mit verdünnter Salpetersäure an (Prüfung mit Lackmus) und setzen einige Tropfen $5^0/_0$ige Silbernitratlösung hinzu. Falls Chlor in der Probe vorliegt, bildet sich ein weißer käsiger Niederschlag von Silberchlorid, der sich bei Zugabe von $10^0/_0$iger Ammoniaklösung auflöst. Fällt ein blaß gelbgrün gefärbter Niederschlag aus, der sich erst in konzentrierter Ammoniaklösung auflöst, so liegt Brom in der untersuchten Substanz vor. Ein gelber Niederschlag, der in konzentrierter Ammoniaklösung unlöslich ist, beweist die Anwesenheit von Jod.

Was beobachten Sie und was schlußfolgern Sie aus Ihrer Beobachtung?

● *Welche Formeln haben die Stoffe, die als gelbgrüner beziehungsweise gelber Niederschlag auftreten?*

● *Untersuchen Sie halogenhaltige organische Verbindungen (z. B. den Plast PVC) mit Hilfe der Beilstein-Probe nach Versuch S 4! Welche Flammenfärbung stellen Sie fest? Was schließen Sie aus Ihrer Beobachtung?*

Die organischen Verbindungen zeigen noch weitere Eigentümlichkeiten. Viele dieser Stoffe sind wasserunlöslich. Die wasserlöslichen sind im allgemeinen keine Elektrolyte.

4

Wir untersuchen die Löslichkeit von Benzin, Schmieröl, Paraffin, Plasten, Harnstoff und Sacharose in Wasser.
Was stellen Sie fest?

5

Die bei Versuch 4 entstandenen wäßrigen Lösungen prüfen wir in der Versuchsanordnung nach Abbildung 4 auf elektrische Leitfähigkeit.
Beobachten Sie das Amperemeter!
Was folgern Sie aus Ihrer Beobachtung?

● *Erläutern Sie den Unterschied von Elektrolyten und Nichtelektrolyten!*
Nennen Sie anorganische Verbindungen, deren wäßrige Lösungen den elektrischen Strom leiten!

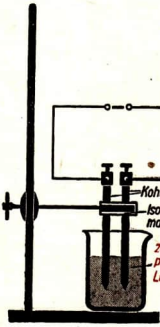


Abb. 4
Prüfung wäßriger Lösungen auf elektrische Leitfähigkeit

Viele organische Verbindungen verdampfen oder zersetzen sich bei Temperaturerhöhung.

● *Prüfen Sie das Verhalten organischer Stoffe beim Erhitzen nach Versuch S 1!*
Wie verhalten sich die untersuchten Stoffe?
Vergleichen Sie Ihre Beobachtungen mit dem Verhalten anorganischer Salze, Oxide und Hydroxide beim Erhitzen!

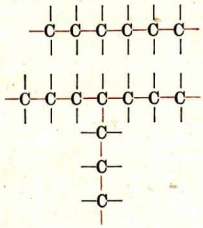
Die Verbindungen der organischen Chemie unterscheiden sich durch ihr chemisches und physikalisches Verhalten meist von den anorganischen Verbindungen.

Trotz dieser Unterschiede zwischen den organischen und anorganischen Verbindungen muß man stets beachten, daß für beide Gruppen dieselben Gesetzmäßigkeiten gelten. Organische Chemie und anorganische Chemie sind Teile ein und derselben Wissenschaft und bilden ein Ganzes.

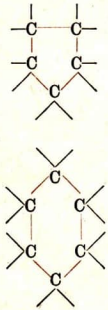
Einteilung der organischen Verbindungen

Die Kohlenstoffatome können sich miteinander zu offenen Ketten und zu Ringen verschiedener Formen verbinden. Diese Tatsache liegt der Einteilung organischer Verbindungen zugrunde. Alle Verbindungen, in denen die Kohlenstoffatome in Form of-

fener Ketten miteinander verbunden sind, nennt man **kettenförmige** oder **azyklische**[1] Verbindungen.
Die Ketten können unverzweigt oder verzweigt sein:



Alle Verbindungen, in denen die Kohlenstoffatome zu ringförmigen Molekülen zusammengetreten sind, werden als **ringförmige** oder **zyklische** Verbindungen bezeichnet:



Wir unterscheiden bei den organischen Verbindungen nach der Art des „Kohlenstoffgerüstes" zwei Hauptgruppen: kettenförmige und ringförmige Verbindungen.

[1] Vorsilbe a (griech.) = nicht; cyclos (griech.) = Kreis

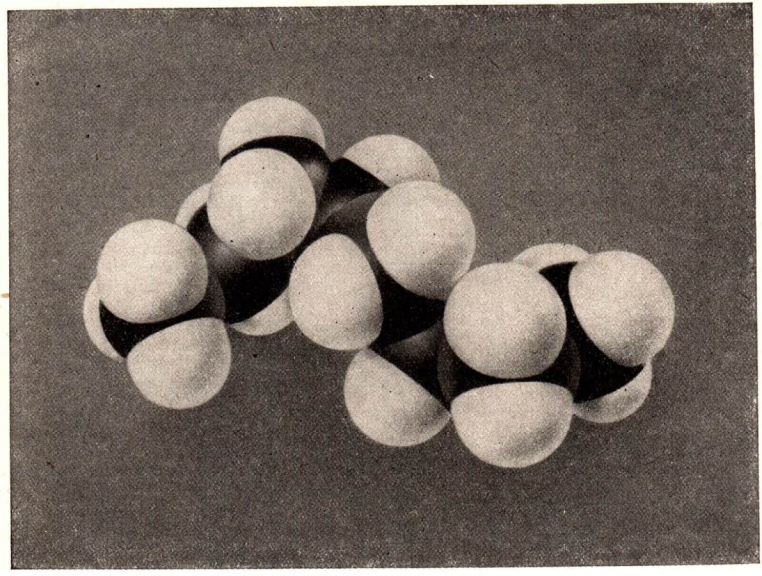
Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Welche Verbindungen werden zur organischen Chemie gerechnet?
2. Nennen Sie Artikel des täglichen Gebrauchs, die aus organischen Verbindungen bestehen!
3. Erläutern Sie die Entwicklung des Begriffs „organische Chemie"!
4. Sprechen Sie über die Bedeutung der Arbeiten WÖHLERS, BERTHELOTS und BUTLEROWS!
5. Wie werden die organischen Verbindungen eingeteilt?
6. Wodurch unterscheiden sich in chemischer Beziehung organische von anorganischen Verbindungen?
7. Welche unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften bei organischen und anorganischen Stoffen sind Ihnen bekannt?
8. Welche Elemente sind hauptsächlich am Bau organischer Stoffe beteiligt?
9. Wie führen Sie den Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff in organischen Verbindungen durch?

2. KAPITEL

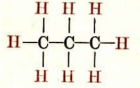
Kettenförmige Kohlenwasserstoffe

Für die chemische Forschung ist nicht nur die Zusammensetzung, sondern auch die Struktur der Verbindungen von Bedeutung. Stoffe gleicher Zusammensetzung, aber unterschiedlicher Struktur zeigen in den meisten Fällen auch unterschiedliche Eigenschaften. Durch den Bau von Molekülmodellen kann man eine annähernde Vorstellung von der Struktur einer Verbindung erhalten. Die Atome des Kohlenstoffs haben eine besondere Eigenschaft. Sie können sich untereinander verbinden und bilden auf diese Weise eine große Anzahl von kettenförmigen oder ringförmigen Verbindungen. Am Aufbau dieser Stoffe sind außer dem Kohlenstoff noch der Wasserstoff, in einigen Fällen auch Sauerstoff, Stickstoff und andere Elemente beteiligt. Eine wichtige Gruppe von Kohlenstoffverbindungen sind die kettenförmigen Kohlenwasserstoffe.



Alkane

1. Aufbau. Stoffe, die nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind, werden als Kohlenwasserstoffe bezeichnet. Eine wichtige Gruppe der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe sind die **Alkane.** Eine Verbindung aus der Gruppe der Alkane ist zum Beispiel das **Propan C_3H_8**. Für Propan kann folgende Strukturformel aufgestellt werden:



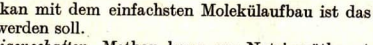
Die Formel zeigt uns, daß bei diesem kettenförmigen Kohlenwasserstoff zwischen den Kohlenstoffatomen einfache Bindungen bestehen. Die restlichen, nicht an der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung beteiligten Wertigkeiten dienen zur Bindung von Wasserstoffatomen. Da damit alle Wertigkeiten des Kohlenstoffs abgesättigt sind, können weitere Wasserstoffatome nicht mehr gebunden werden. Deshalb bezeichnet man die Alkane auch als gesättigte Kohlenwasserstoffe.

▶ **Alkane sind gesättigte kettenförmige Kohlenwasserstoffe.**

Innerhalb der Alkanmoleküle treten nur reaktionsträge Bindungen zwischen den Atomen auf. Deshalb nennt man die Alkane auch **Paraffine**[1]. Alkane sind reaktionsträger als viele andere Verbindungen, aber nicht reaktionsunfähig. In der chemischen Technik spielen Umsetzungen der Alkane (z.B. deren Oxydation) eine wichtige Rolle.

2. Methan. Das Alkan mit dem einfachsten Molekülaufbau ist das Methan, das als erstes untersucht werden soll.

Darstellung und Eigenschaften. Methan kann aus Natriumäthanat (Natriumazetat, Salz der im Essig enthaltenen Äthansäure) und Natriumhydroxid hergestellt werden:



Natriumäthanat — Methan

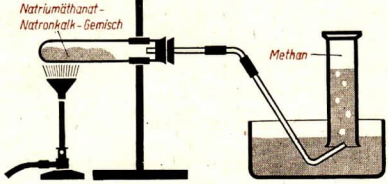
6

Wir geben in eine Reibschale wasserfreies Natriumäthanat und mischen es mit wasserfreiem Natronkalk[2]. Das Gemisch wird in ein einseitig zugeschmolzenes Rohr aus schwerschmelzbarem Glas eingefüllt und bis zur beginnenden Rotglut erhitzt (Abb. 5). Dabei entsteht Methan, das wir in mehreren Standzylindern pneumatisch auffangen.

[1] Parum affinis (lat.) = wenig verwandt. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, daß die Paraffine wenig Neigung zu chemischen Reaktionen zeigen.

[2] Natronkalk ist ein Gemisch von Natriumhydroxid und Kalziumoxid. Bei der Methanbildung reagiert das Natriumäthanat nur mit dem Natriumhydroxid. Das beigemengte Kalziumoxid hält das Gemisch beim Verreiben durch Bindung der Luftfeuchtigkeit trocken und verhindert, daß das Reaktionsgemisch beim Erhitzen leicht schmilzt.

Abb. 5 Darstellung von Methan



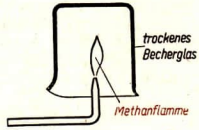


Abb. 6
Verbrennen von Methan

7

Nachdem die Zylinder in Versuch 6 mit Methan gefüllt sind, vertauschen wir das Glasrohr am Ende des Gummischlauches mit einem anderen, bei dem ein Schenkel zur Spitze ausgezogen ist, und entzünden das ausströmende Methan. Über die Flamme halten wir ein trockenes Becherglas mit der Öffnung nach unten (Abb. 6).
Was beobachten Sie an der Wand des Becherglases?
Was beweist Ihre Beobachtung?

8

Wir entzünden Methan in einem der Zylinder.
Beobachten Sie die Flamme!
Wenn das Methan verbrannt ist, gießen wir etwas Bariumhydroxidlösung in den Standzylinder und schütteln um.
Was beobachten Sie?

- *Was beweist die Reaktion des bei der Methanverbrennung entstandenen Gases mit der Bariumhydroxidlösung?*
  Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die bei den Versuchen 7 und 8 stattfindenden Umsetzungen auf!
  Stellen Sie Methan nach Versuch S 5 dar!

Methan ist ein farbloses Gas. In reinem Zustand ist es geruchlos. Methan ist brennbar. Bei seiner Verbrennung entstehen Kohlendioxid und Wasser. Damit ist nachgewiesen, daß Methan ein Kohlenwasserstoff ist.

Methan ist ein farbloses, geruchloses, brennbares Gas.

9

Wir füllen einen Zylinder zur Hälfte mit Methan und setzen das gleiche Volumen Luft hinzu. Dann verschließen wir den Zylinder mit einer plangeschliffenen Platte und mischen die Gase. Das Gasgemisch wird entzündet.
Was beobachten Sie?

10

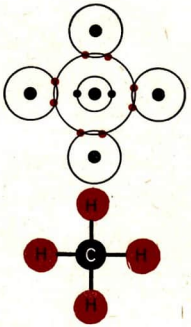
Einen starkwandigen Standzylinder mit plangeschliffenem Rand (höchstens 200 ml) füllen wir zu einem Drittel mit Methan und setzen das doppelte Volumen Sauerstoff

hinzu. Dann verschließen wir den Zylinder mit einer Glasplatte und mischen die Gase durch Schwenken des Zylinders. Das Gemisch wird aus einiger Entfernung mit einer Flamme am Ende eines langen Stabes entzündet.
Was beobachten Sie?

Ein Gemisch von einem Raumteil Methan mit zwei Raumteilen Sauerstoff ist explosiv. Ein Methan-Luft-Gemisch mit 50 Vol.-% Methan brennt bei Entzündung ruhig ab, weil die Zusammensetzung des Gemisches außerhalb der Explosionsgrenzen liegt. Methan-Luft-Gemische explodieren jedoch mit großer Heftigkeit, wenn sie 5 bis 15 Vol.-% Methan enthalten.

Methan bildet mit dem doppelten Volumen Sauerstoff oder mit dem etwa zehnfachen Volumen Luft stark explosive Gemische.

Zusammensetzung. Durch genaue Untersuchungen wurde festgestellt, daß ein Methanmolekül aus einem Atom Kohlenstoff und vier Atomen Wasserstoff besteht. **Methan** hat demnach die Formel $\mathbf{CH_4}$. Die Atome des Methanmoleküls liegen nicht in einer Ebene, sondern sind räumlich angeordnet. Für die zeichnerische Darstellung legt man aber alle Atome in eine Ebene und leitet davon die Strukturformel des Methanmoleküls ab:







Die Strukturformel stellt nicht die genaue räumliche Anordnung der Atome dar, sondern gibt in einfacher Form die Bindungsverhältnisse der Atome in einem bestimmten Molekül an.

- *Erläutern Sie aus der Stellung des Kohlenstoffs im Periodensystem, warum der einfachste Kohlenwasserstoff die Formel CH_4 haben muß!*
  Berechnen Sie mittels des Molvolumens das Litergewicht von Methan!

Vorkommen und Verwendung. Methan entsteht überall dort, wo Stoffe tierischer und pflanzlicher Herkunft verfaulen. Das soll im Versuch 11 gezeigt werden.

11

Wir füllen ein großes Glasgefäß (2000 ml) zu einem Viertel mit Schlamm vom Grunde eines flachen, stehenden Gewässers. Über den Schlamm stülpen wir einen umgekehrten Trichter und verbinden Trichterrohr und ein zur Spitze ausgezogenes Glasrohr mit Hilfe eines kurzen Schlauchstückes (Abb. 7). Glasgefäß und Trichter werden bis zur Mitte der Schlauchverbindung mit lauwarmem Teichwasser gefüllt. Dann wird das Schlauchstück mit einem Quetschhahn sorgfältig verschlossen. Die Versuchsapparatur lassen wir einige Tage in einem warmen Raum stehen. Dann öffnen wir den Quetschhahn und halten einen brennenden Span an das zur Spitze ausgezogene Glasrohr. *Was beobachten Sie?*

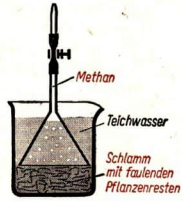


Abb. 7 Nachweis der Methanbildung bei der Zersetzung organischer Stoffe

In Sümpfen bildet sich **Sumpfgas,** ein Gemisch von Methan und Kohlendioxid. Im Hochsommer kommt es häufig zu Entzündungen dieses Gases, so daß man nachts kleine Flämmchen über dem Moore sehen kann (Irrlichter). Viele sagenhafte und mystische Vorstellungen und Erzählungen sind mit dieser Erscheinung verknüpft. Danach sind es meist Hexen und böse Geister, die mit dem Licht verirrte Fußgänger ins Moor locken. So wie diese „Irrlichter" lassen sich auch alle anderen Erscheinungen der Natur, über die die Menschen lange Zeit mystische und abergläubische Vorstellungen hatten, auf das Wirken der Naturgesetze zurückführen.

Bei der Abwässerreinigung großer Städte fällt in den Kläranlagen Schlamm an, der bei der Zersetzung ein **Klärgas** liefert, das bis zu 75% Methan enthält. Dieses Methan wird dem Stadtgas beigemischt.

Methan ist der Hauptbestandteil des **Erdgases,** das meist in Erdölgebieten dem Boden entströmt. Methan ist auch in den Kohlenflözen unter Druck eingeschlossen und entweicht oft in Stollen und Schächte der Bergwerke. Es wird vom Bergmann als **Grubengas** bezeichnet. Bei unzureichender Bewetterung der Bergwerke entstehen explosive Methan-Luft-Gemische, die zum Beispiel schon durch einen elektrischen Funken gezündet werden können und dann als „schlagende Wetter" schwere Zerstörungen verursachen. In unserer Republik wird der Einhaltung aller Sicherheitsvorschriften für den Bergbau besondere Beachtung geschenkt. Alle Kohlengruben sind mit ausreichenden Bewetterungsanlagen, Sicherheitslampen, funkensicheren elektrischen Anlagen und Warngeräten, die bei einem bestimmten Methangehalt der Luft in Tätigkeit treten, ausgestattet.

● *Berechnen Sie die Volumprozente Methan eines Erdgases, das aus Methan und Stickstoff besteht und von welchem 67,2 l (im Normzustand) bei der Verbrennung 88 g Kohlendioxid liefern!*

Methan entsteht in großen Mengen bei der **Verkokung** der Steinkohlen in Gaswerken und Kokereien. Steinkohlengas enthält im Durchschnitt etwa 30 Vol.-% Methan.

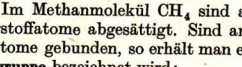
Die **Druckvergasung** von Braunkohlen liefert ebenfalls ein Gas mit hohem Methananteil. Auch bei verschiedenen anderen Prozessen der kohleverarbeitenden chemischen Industrie und bei der Erdölverarbeitung entstehen bedeutende Mengen Methan.

Methan ist Hauptbestandteil von Sumpfgas, Klärgas, Grubengas und Erdgas. Es entsteht in großen Mengen bei zahlreichen chemisch-technischen Verfahren.

Methan wird wegen seines hohen Heizwertes als Heizgas verwendet. Es ist auch ein wichtiger Ausgangsstoff für die chemische Industrie und dient zur Herstellung von Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Lösungsmitteln und anderen Produkten, zum Beispiel von Ruß für die Gummiindustrie.

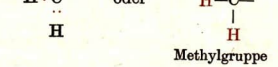
Methan wird als Heizgas und als Ausgangsstoff für die chemische Industrie verwendet.

3. Äthan, Propan, Butan. Im Methanmolekül CH_4 sind alle vier Wertigkeiten des Kohlenstoffs durch Wasserstoffatome abgesättigt. Sind an ein Kohlenstoffatom jedoch nur drei Wasserstoffatome gebunden, so erhält man einen einwertigen Molekülrest $-CH_3$, der als **Methylgruppe** bezeichnet wird:



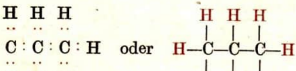
Methylgruppe

Als selbständiger Stoff ist die Methylgruppe nicht beständig. Denkt man sich in der Formel eines Methanmoleküls ein Wasserstoffatom durch eine Methylgruppe ersetzt, so entsteht ein Kohlenwasserstoff mit der Formel C_2H_6. Dieser Stoff hat den Namen **Äthan.** Das Äthanmolekül unterscheidet sich vom Molekül des Methans um ein Kohlenstoffatom und zwei Wasserstoffatome:



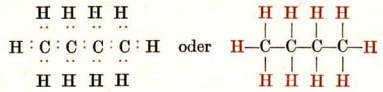
Äthan

Auch beim Äthan kann man ein Wasserstoffatom durch eine Methylgruppe $-CH_3$ ersetzen. Es entsteht der nächsthöhere Kohlenwasserstoff, das **Propan** C_3H_8, das sich vom Äthan um die Gruppe $-CH_2-$ unterscheidet und folgende Strukturformel hat:



Propan

Führt man den Austausch eines am Ende der Kette stehenden Wasserstoffatoms – man spricht von einem endständigen Wasserstoffatom – durch eine Methylgruppe auch beim Propan durch, so erhalten wir das **Butan** C_4H_{10}, dessen Molekül gegenüber dem Propanmolekül wiederum um eine $-CH_2-$-Gruppe größer ist:



Butan

Äthan C_2H_6, Propan C_3H_8 und Butan C_4H_{10} sind (wie Methan) farblose, ungiftige Gase, die an der Luft leicht zu Kohlendioxid und Wasser verbrennen. Äthan, Propan und Butan kommen neben Methan im Erdgas vor und fallen auch in großen Mengen bei der Benzinherstellung aus Teeren oder anderen Stoffen als Nebenprodukte an.
Äthan wird meist als Heizgas verwendet. Propan und Butan lassen sich leicht verflüssigen und werden daher auch als **Flüssiggase** bezeichnet. Flüssiggase kommen in Stahlflaschen unter einem Druck von 25 at zum Versand.
In ländlichen Wohngebieten, in abgelegenen Häusern, in Schulen und Laboratorien ohne Gasanschluß wird Propan an Stelle von Stadtgas verbraucht. Bei vielen technischen Arbeiten im Freien dient Propan als Heizquelle (Abb. 8). Neuerdings werden auch mit Propan gespeiste Schnellerhitzer und Warmluftwerfer bei Bauarbeiten im Winter verwendet. Dadurch kann Zeit beim Austrocknen der Gebäude eingespart werden. Das in unserer Republik handelsübliche „Propangas" besteht zu etwa 95% aus Propan. Den Rest bilden Äthan, Butan und geringe Mengen anderer Gase. Eine gewöhnliche Propanflasche hat 15 kg Inhalt.
Verflüssigte Gemische von Propan und Butan werden in großen Stahlflaschen an Stelle von Benzin als **Treibgas** für Lastkraftwagen verwendet. Gemische von Flüssiggasen mit Sauerstoff werden auch zum Schweißen von Aluminium, Kupfer sowie Messing und einer Reihe anderer Legierungen verwendet. Äthan, Propan und Butan dienen ferner in großem Umfang als Ausgangsstoffe zur Herstellung von Plasten, Lösungsmitteln, Benzin und anderen Produkten. In unserer Republik werden Flüssiggase im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", im VEB Synthesewerk Schwarzheide und im VEB Hydrierwerk Zeitz hergestellt.

Äthan, Propan und Butan sind farb- und geruchlose Gase. Sie werden als Ausgangsstoffe für die chemische Industrie, ferner als Heizgase, Treibgase und zum Schweißen verwendet.

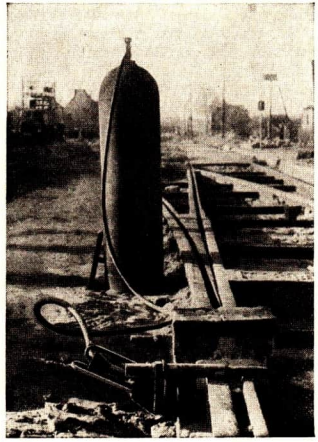


Abb. 8 Vorwärmen der Formen mit Propanbrennern beim aluminothermischen Schweißen

4. Mittlere Alkane. Die nächsthöheren Glieder in der Reihe der Alkane, vom **Pentan** C_5H_{12} bis zum **Pentadekan** $C_{15}H_{32}$, die sich jeweils um eine —CH_2—-Gruppe voneinander unterscheiden, sind bei Raumtemperatur farblose Flüssigkeiten. Sie haben als Bestandteile von Benzin, Petroleum, Dieselölen, Heizölen, Schmierölen usw. große technische Bedeutung. Einige dieser Alkane sind in Tabelle 1 auf Seite 24 angeführt.

5. Paraffin. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Alkane auch als Paraffine bezeichnet werden. Die Stoffbezeichnung **Paraffin** wird im Handel und in der Industrie für ein Gemisch fester Alkane verwendet. Paraffin ist eine feste, weiße, wachsartige Masse, die manchmal durchscheinend ist. Reines Paraffin ist geruchlos, ungiftig, unlöslich in Wasser, dagegen löslich in organischen Lösungsmitteln (z. B. in Benzin). Es schmilzt meist zwischen 45 und 62 °C.

● *Bestimmen Sie den Schmelzpunkt von Kerzenparaffin nach Versuch S 12!*

Die einzelnen Kohlenwasserstoffe, aus denen sich das als Paraffin bezeichnete Gemisch zusammensetzt, enthalten lange, unverzweigte und verzweigte Kohlenstoffketten mit 16 bis mehr als 40 Kohlenstoffatomen in einem Molekül, zum Beispiel das **Pentakosan** $C_{25}H_{52}$ oder das **Tetrakontan** $C_{40}H_{82}$.

▶ **Paraffin ist ein Gemisch fester Kohlenwasserstoffe.**

Die Verwendung von Paraffin ist sehr vielseitig. Es wird zur Herstellung von Kerzen, Bohnermassen, Schuhcreme, Raupenleim, Baumwachs, Kunstblumen, Möbel- und Metallpolituren verwendet. In der Elektroindustrie dient es als Isoliermittel bei Kabeln, in der pharmazeutischen Industrie zur Bereitung von Salben. Ferner wird Paraffin zum Imprägnieren von Zündhölzern, zum Wasserdichtmachen von Geweben und zu anderen Zwecken verwendet.
Synthetisch hergestelltes Paraffin dient als Ausgangsstoff für die Erzeugung von Fettsäuren für die Seifenindustrie. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Verwendung von Paraffin. Paraffin wird in der Deutschen Demokratischen Republik zum Beispiel im VEB Hydrierwerk Zeitz, im VEB Synthesewerk Schwarzheide, im VEB Paraffinwerk „Vorwärts" Webau, im VEB Teerverarbeitungswerk Rositz und im VEB Kombinat Gölzau hergestellt.

▶ **Paraffin ist ein wichtiger Ausgangsstoff zur Herstellung zahlreicher Produkte.**

● *Erklären Sie anhand der Strukturformel von Butan und Pentan, warum diese Verbindungen als gesättigte Kohlenwasserstoffe bezeichnet werden!*
Berechnen Sie, wieviel Liter Gas (im Normzustand) aus einer Stahlflasche entnommen werden können, die 5 kg flüssiges Propan enthält und ein Fassungsvermögen von 10 Litern hat (Restgas beachten)!

6. Homologe Reihe der Alkane. Die ersten Glieder der Reihe der Alkane sind:

Methan	CH_4
Äthan	C_2H_6
Propan	C_3H_8
Butan	C_4H_{10}
Pentan	C_5H_{12}

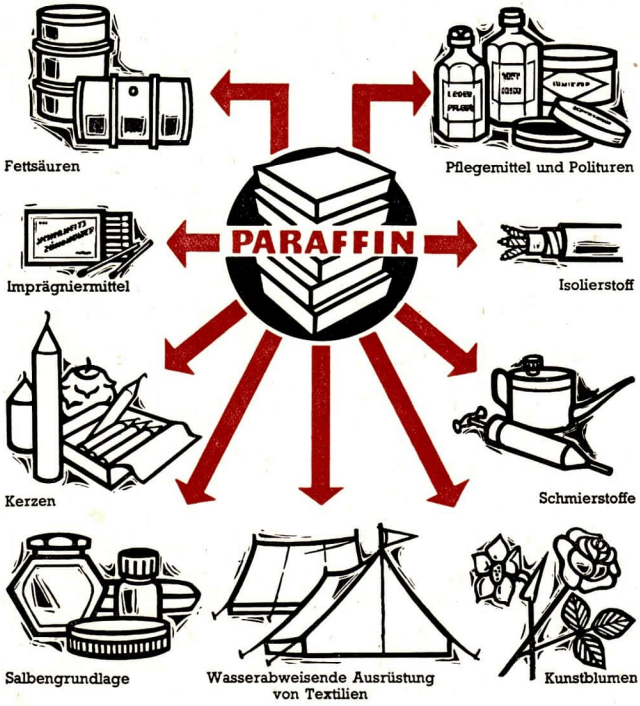


Abb. 9 Verwendung von Paraffin

Die Zahl der Kohlenstoffatome, die im Molekül eine unverzweigte Kette bilden, wird im Namen der Verbindung durch bestimmte Wortstämme angedeutet. So bedeutet der Wortstamm

Meth–	ein	Kohlenstoffatom
Äth–	zwei	Kohlenstoffatome
Prop–	drei	Kohlenstoffatome
But–	vier	Kohlenstoffatome
Pent–	fünf	Kohlenstoffatome usw.

Die Namen aller Alkane enden auf „-an". Diese Endung ist für die Namen der gesättigten Kohlenwasserstoffe festgelegt worden. Der Name Butan kennzeichnet demnach einen kettenförmigen gesättigten Kohlenwasserstoff, der eine unverzweigte Kette von vier Kohlenstoffatomen besitzt.

Die Namen aller gesättigten kettenförmigen Kohlenwasserstoffe (Alkane) enden auf „-an".

Betrachtet man die Formeln der genannten Alkane, so kann man feststellen, daß diese eine Reihe bilden, deren aufeinanderfolgende Glieder sich jeweils um —CH_2— voneinander unterscheiden. Das trifft auch für alle folgenden Glieder der Reihe zu, so daß wir für die Alkane die allgemeine Formel $\mathbf{C_nH_{2n+2}}$ aufstellen können. Eine solche Reihe chemisch ähnlicher Verbindungen, bei der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gliedern immer die gleiche Differenz von —CH_2— auftritt, wird als **homologe Reihe**[1] bezeichnet.

Die Alkane bilden eine homologe Reihe; ihre allgemeine Formel ist C_nH_{2n+2}.

Die Glieder einer homologen Reihe zeigen oft ähnliche chemische Eigenschaften. Alkane können zum Beispiel verhältnismäßig leicht oxydiert werden. Von den chemischen Eigenschaften eines Gliedes einer homologen Reihe kann man also auf die aller Glieder der gleichen Reihe schließen. Die physikalischen und einige chemische

[1] homologos (griech.) = übereinstimmend

Tabelle 1. Alkane

Formel	Name	Schmelzpunkt in °C	Siedepunkt in °C	Zustand bei Raumtemperatur
CH_4	Methan	—184	— 164	gasförmig
C_2H_6	Äthan	—172	— 88,5	gasförmig
C_3H_8	Propan	—189,9	— 42,06	gasförmig
C_4H_{10}	Butan	—135	+ 0,6	gasförmig
C_5H_{12}	Pentan	—130,8	+ 36,2	flüssig
C_6H_{14}	Hexan	— 94,3	+ 68,6	flüssig
C_7H_{16}	Heptan	— 90	+ 98,4	flüssig
C_8H_{18}	Oktan	— 56,5	+125,8	flüssig
C_9H_{20}	Nonan	— 53,9	+150,6	flüssig
$C_{10}H_{22}$	Dekan	— 30	+173,8	flüssig
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
$C_{15}H_{32}$	Pentadekan	+ 10	+270,5	flüssig
$C_{16}H_{34}$	Hexadekan	+ 17,8	+286,2	fest
$C_{17}H_{36}$	Heptadekan	+ 22,5	+303	fest
$C_{18}H_{38}$	Oktadekan	+ 28,1	+317	fest
$C_{19}H_{40}$	Nonadekan	+ 32	+330	fest
$C_{20}H_{42}$	Eikosan	+ 38	+344	fest

Eigenschaften der Verbindungen einer homologen Reihe ändern sich jedoch gesetzmäßig. Beim Vergleich der Siedepunkte der Alkane kann man feststellen, daß mit zunehmendem Molekulargewicht die Siedepunkte ansteigen.

Bei einer homologen Reihe tritt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gliedern immer die gleiche Differenz —CH_2— auf. Die Glieder einer homologen Reihe zeigen teils gleiche chemische, teils sich schrittweise ändernde physikalische und chemische Eigenschaften.

Aus der Tabelle 1 kann man erkennen: Von Verbindung zu Verbindung erfolgt eine Verlängerung der Kohlenstoffkette um die Gruppe —CH_2—. Diese quantitative Veränderung führt zu einer Änderung bestimmter Eigenschaften, also zu qualitativen Änderungen. Friedrich Engels schrieb in seinem 1876 bis 1878 verfaßten Werk „Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft" (meist unter der Bezeichnung „Anti-Dühring" bekannt) zum Problem der homologen Reihe der Alkane: „... kommt jedes neue Glied durch Hinzutritt von —CH_2—, von einem Atom Kohlenstoff und zwei Atomen Wasserstoff zur Molekularformel des vorigen Gliedes zustande, und diese quantitative Veränderung der Molekularformel bringt jedesmal einen qualitativ verschiedenen Körper hervor." Die Erscheinung, das quantitative Änderungen qualitative Änderungen hervorrufen, ist ein allgemeines Gesetz, dessen Gültigkeit auch in der Chemie immer wieder festgestellt werden kann. Friedrich Engels schreibt dazu: „... fast überall in der Chemie ... kann man sehen, wie Quantität in Qualität umschlägt ..."

7. Radikale. Im Methan sind alle vier Wertigkeiten des Kohlenstoffatoms durch vier Wasserstoffatome abgesättigt. Entfernt man aus dem Methanmolekül ein Wasserstoffatom, so bleibt eine einwertige Gruppe —CH_3 zurück. Man bezeichnet eine derartige Gruppe als **Radikal**[1] und den Molekülrest —CH_3 als Methylgruppe oder Methylradikal.

Tabelle 2. Radikale von Alkanen

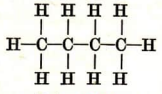
Molekül	Radikal	
Methan CH_4	Methyl—	CH_3—
Äthan C_2H_6	Äthyl—	C_2H_5—
Propan C_3H_8	Propyl—	C_3H_7—
Butan C_4H_{10}	Butyl—	C_4H_9—

So wie von Methan leiten sich auch von den anderen Kohlenwasserstoffen der Alkanreihe Radikale ab. (Siehe nebenstehende Tabelle.)
Die Namen der Radikale der Alkane leiten sich von den Namen der Alkane her. Bei gleichbleibendem Wortstamm wird die Endung „-an" des Kohlenwasserstoffs durch „**-yl**" ersetzt.
Radikale haben für organisch-chemische Reaktionen große Bedeutung. Sie können zwar allein nicht bestehen, sie verhalten sich aber bei verschiedenen Umsetzungen als Ganzes.
Radikale wie die Methylgruppe kann man bei vielen Reaktionen unverändert von einer Verbindung in die andere überführen.

Radikale sind Atomgruppen, die bei vielen Umsetzungen als Ganzes reagieren.

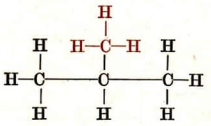
[1] radix (lat.) = Wurzel

8. Isomerie. Bei der Ableitung der Butanformel C_4H_{10} haben wir ein endständiges Wasserstoffatom des Propans durch die Methylgruppe $-CH_3$ ersetzt. Auf dieseWeise entsteht die Formel für Butan mit einer unverzweigten Kette von Kohlenstoffatomen:



Butan C_4H_{10}

Es ist aber auch möglich, ein Wasserstoffatom am mittleren Kohlenstoffatom des Propans durch eine Methylgruppe zu ersetzen. Die entstehende Verbindung, das Methylpropan, hat folgende Strukturformel:



Methylpropan C_4H_{10}

Beide Verbindungen – das Butan und das Methylpropan – haben zwar die gleiche Summenformel C_4H_{10}, aber verschiedene Strukturen. Man nennt solche Stoffe **isomere**[1] **Verbindungen.**

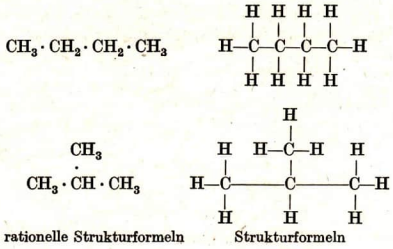
Verbindungen mit gleicher Summenformel, aber verschiedenen Strukturformeln werden als isomere Verbindungen bezeichnet.

Isomere Verbindungen unterscheiden sich auf Grund ihres unterschiedlichen Baues in ihren Eigenschaften, zum Beispiel:

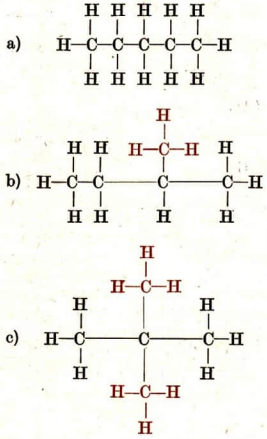
	Schmelzpunkt in °C	Siedepunkt in °C
Butan C_4H_{10}	—135	+ 0,6
Methylpropan C_4H_{10}	—145	—10,2

Zur eindeutigen Angabe einer organischen Verbindung ist es daher zweckmäßig – wenn man von wenigen sehr einfach gebauten Stoffen absieht –, immer die Strukturformel zu verwenden. Da die ausführliche Schreibweise, besonders bei höhermolekularen Verbindungen, sehr unübersichtlich ist, verwendet man meist eine vereinfachte (rationelle) Schreibweise der Strukturformeln:

[1] isos (griech.) = gleich; meros (griech.) = Teil. In isomeren Verbindungen liegen gleiche Anteile von Atomen vor.



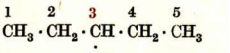
Mit steigender Anzahl der Kohlenstoffatome wächst auch die Anzahl der Isomeren. So gibt es drei isomere Verbindungen mit der Summenformel C_5H_{12}:



Man hat errechnet, daß von $C_{10}H_{22}$ 75, von $C_{12}H_{26}$ 355 und von $C_{20}H_{42}$ 366319 Isomere theoretisch möglich sind. Diese Zahlen zeigen, daß ein Grund für die Vielzahl der organischen Verbindungen auch die Bildung von Isomeren ist.

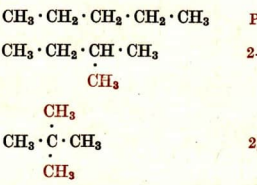
Zur Unterscheidung der zahlreichen isomeren Verbindungen wird ihre Struktur in den Namen gekennzeichnet. Das soll am Beispiel der Alkane erläutert werden. Die Bezeichnungen Butan, Pentan, Hexan, Heptan usw. bleiben den Verbindungen mit unverzweigter Kette vorbehalten. Eine verzweigte Kette trägt als Grundnamen die

Bezeichnung des längsten im Molekül enthaltenen unverzweigten Kohlenwasserstoffs. Die Namen der als Seitenketten enthaltenen Gruppen (Radikale) werden vorangestellt (Beispiel: Methylpropan).
Damit man die Stellung der Seitenketten angeben kann, werden die Kohlenstoffatome der Hauptkette numeriert. Die Numerierung beginnt an dem Ende, das einer Seitenkette am nächsten ist. Die Nummer des Kohlenstoffatoms, das die Seitenkette trägt, steht im Namen der Verbindung vor der Bezeichnung der Seitenkette, zum Beispiel:



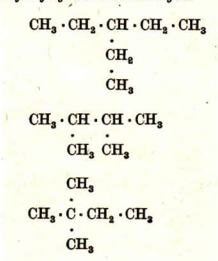
3-Methylpentan

Die drei Isomeren mit der Summenformel C_5H_{12} haben dementsprechend folgende wissenschaftlichen Namen:



Gelegentlich werden noch ältere Bezeichnungen verwendet. Verbindungen mit unverzweigten Ketten heißen **Normalverbindungen** (n-Verbindungen), Verbindungen mit verzweigten Ketten dagegen **Isoverbindungen** (i-Verbindungen). Dabei erhält die Verbindung ihren Namen nach der Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül. Das Pentan wird zum Beispiel als n-Pentan und das 2-Methylbutan als i-Pentan bezeichnet.

Stellen Sie die Strukturformel des 2-Methylpentans und die des 2,2-Dimethylhexans auf! Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:



9. Halogenderivate der Alkane. Wirken Halogene unter bestimmten äußeren Bedingungen auf Alkane ein, so werden Wasserstoffatome dieser Verbindungen gegen Halogene ausgetauscht. Bei diesen Reaktionen werden Halogenderivate der Alkane und die entsprechenden Halogenwasserstoffe gebildet.

Als **Derivate**[1] einer Verbindung bezeichnet man in der organischen Chemie alle Verbindungen, die durch Ersatz von Atomen oder Atomgruppen der Ausgangsverbindung entstanden sind.

Läßt man Chlor auf Methan unter Einfluß des Lichts einwirken, so bilden sich vier Derivate:

$$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$$
Monochlormethan

$$CH_3Cl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl_2 + HCl$$
Dichlormethan

$$CH_2Cl_2 + Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + HCl$$
Trichlormethan

$$CHCl_3 + Cl_2 \rightarrow CCl_4 + HCl$$
Tetrachlormethan

Bei der Bildung der verschiedenen Chlormethane werden Wasserstoffatome gegen Chloratome ausgetauscht. Man nennt solche Umsetzungen **Substitutionsreaktionen**[2]. Diese Reaktionsbezeichnung wird auch dann gebraucht, wenn Wasserstoffatome durch Atomgruppen ersetzt werden.

Werden Wasserstoffatome einer organischen Verbindung durch andere Atome oder Atomgruppen ersetzt, so heißt diese Umsetzung Substitutionsreaktion. Durch Substitution entstehen Derivate der Ausgangsstoffe.

Alle vier Derivate, die sich bei der Umsetzung von Methan mit Chlor bilden, haben technische Bedeutung.

Monochlormethan CH_3Cl, das auch als Methylchlorid bezeichnet wird, ist bei Raumtemperatur ein Gas, das süßlich riecht und sich leicht verflüssigen läßt. Wegen seiner hohen Verdampfungswärme wird Monochlormethan in der Kältetechnik (zum Beispiel als wärmeableitender Stoff in Kühlschränken) verwendet.

Dichlormethan CH_2Cl_2 ist eine farblose, nicht brennbare Flüssigkeit, die in der Industrie als Lösungsmittel für Fette, Plaste und andere Stoffe verwendet wird.

Trichlormethan $CHCl_3$, auch **Chloroform** genannt, ist eine süßlich riechende, farblose, unbrennbare Flüssigkeit. Da Trichlormethan unter dem Einfluß von Licht und Sauerstoff allmählich in (giftiges) Phosgen $COCl_2$ und Chlorwasserstoff umgesetzt wird, muß es in gut verschlossenen, braunen Flaschen aufbewahrt werden. Es löst sich in Wasser sehr wenig, ist aber ein gutes Lösungsmittel für Harze, Fette und viele andere Stoffe. Einatmen von Trichlormethan-Dämpfen bewirkt Bewußtlosigkeit. Deshalb verwendet man diesen Stoff auch zur Narkose. Von weit größerer Bedeutung ist die Verwendung von Trichlormethan als unbrennbares Lösungsmittel in der Indu-

[1] derivare (lat.) = ableiten
[2] substituere (lat.) = ersetzen

strie und im Laboratorium. Trichlormethan dient auch als Ausgangsstoff zur Erzeugung von Plasten.

● *Weisen Sie die Flüchtigkeit von Trichlormethan durch Versuch S 6 nach!*
Prüfen Sie, wie sich Trichlormethan gegenüber Wasser verhält! (Versuch S 7.)
Stellen Sie das Lösevermögen von Trichlormethan gegenüber Fetten oder fetten Ölen nach Versuch S 8 fest!
Warum erhalten Sie trübe Flüssigkeiten, wenn Sie beim letztgenannten Versuch Butter oder Margarine verwenden?

Werden alle vier Wasserstoffatome des Methans durch Chlor ersetzt, so erhält man das **Tetrachlormethan CCl_4**, auch **Tetrachlorkohlenstoff** oder kurz **„Tetra“** genannt. Diese Verbindung ist eine wasserhelle Flüssigkeit, die ätherisch riecht.

12

Wir gießen etwas Benzin in eine Eisenschale, entzünden es und versuchen vorsichtig, die Flamme mit Wasser zu löschen. Danach gießen wir ein etwa zu einem Drittel mit Tetrachlormethan gefülltes Reagenzglas in die Schale aus. Vorsicht! Der Versuch ist unter dem Abzug durchzuführen!
Was beobachten Sie?

Tetrachlormethan brennt nicht. Seine Dämpfe ersticken das Feuer. Tetrachlormethan ist ein Nichtleiter. Wegen dieser Eigenschaften dient es als Löschflüssigkeit in den **Tetralöschern** (Abb. 10). Ähnliche Eigenschaften weist auch das Monochlor-monobrommethan auf, das als Löschmittel in den **Bromidlöschern** verwendet wird. Die vom VEB Feuerlöschgerätewerk Neuruppin hergestellten Tetralöscher und Bromidlöscher dienen vor allem zur Bekämpfung von Bränden feuergefährlicher Flüssigkeiten und an elektrischen Anlagen. Auch durch Karbid verursachte Brände können damit gelöscht werden. Tetra- und Bromidlöscher werden von Kraftfahrzeugen und auf Schiffen mitgeführt. Die Anwendung dieser Feuerlöscher in geschlossenen Räumen ist wegen der damit verbundenen Phosgenbildung sehr gefährlich. Bei Benutzung ist auf jeden Fall für ausreichende Lüftung zu sorgen.

▶ **Vorsicht beim Feuerlöschen mit Tetra- und Bromidlöschern in geschlossenen Räumen!**
Wegen der Phosgenbildung besteht Vergiftungsgefahr!

13

Wir schütteln feste Speisefette und Pflanzenöle mit Tetrachlormethan in verschlossenen Reagenzgläsern.
Was beobachten Sie?

Tetrachlormethan ist fast unlöslich in Wasser. Es ist ein sehr gutes Lösungsmittel für viele organische Stoffe, so zum Beispiel für Fette, Öle, Harze und Wachse. Es wird als Lösungsmittel in der Industrie,



Abb. 10 Tetralöscher

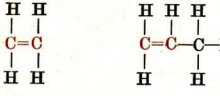
ferner im Haushalt als „Fleckenwasser" verwendet. Tetrachlormethan hat gegenüber den anderen Fettlösungsmitteln wie Benzin und Äther den Vorteil, daß es nicht brennt. Auch in den chemischen Reinigungsanstalten wird es angewendet. Beim Umgang mit Tetrachlormethan ist Vorsicht geboten, da die Dämpfe narkotisch (betäubend) wirken. Längeres Einatmen von Tetrachlormethan-Dämpfen kann zu schweren Krankheiten führen. Beim Arbeiten mit Tetrachlormethan muß man darauf achten, daß diese Flüssigkeit nicht auf die Haut kommt. Da Tetrachlormethan stark fettlösend wirkt, würde es die Haut entfetten und damit schädigen.

Vorsicht beim Arbeiten mit Tetrachlormethan!
Einatmen von Tetrachlormethandämpfen führt zu schweren Erkrankungen!

Alkene

1. Aufbau und Benennung. Alle Alkane zeigen ein besonderes Strukturmerkmal: Die Kohlenstoffatome, die das Grundgerüst der Moleküle bilden, sind stets durch einfache Bindungen C—C untereinander verknüpft. Es gibt aber auch organische Verbindungen mit Doppelbindungen zwischen zwei Kohlenstoffatomen. Kohlenwasserstoffe mit einer solchen **Doppelbindung** C = C heißen **Alkene** oder **Olefine.** Die einfachsten Beispiele für Alkene sind Äthen und Propen:

Strukturformeln:



Vereinfachte Strukturformeln: $CH_2{=}CH_2$ (Äthen) $CH_2{=}CH{-}CH_3$ (Propen)

Nach den Regeln für die wissenschaftliche Benennung organischer Verbindungen enden die Namen der Kohlenwasserstoffe mit einer Doppelbindung C = C im Molekül auf **„-en"**. Die Wortstämme Äth-, Prop-, But- usw. haben die gleiche Bedeutung wie bei den Alkanen.

Bei Alkenen mit vier und mehr Kohlenstoffatomen gibt es isomere Verbindungen durch verschiedene Lage der Doppelbindung im Molekül. Um in solchen Fällen zu eindeutigen Namen zu gelangen, gibt man die Nummer des Kohlenstoffatoms, von welchem die Doppelbindung ausgeht, durch eine in Klammern gesetzte Ziffer hinter dem Namen des Alkens an, zum Beispiel:

$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$ Buten-(1)
$CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3$ Buten-(2)

Nach diesen Regeln ergeben sich die wissenschaftlichen Bezeichnungen, die in Tabelle 3 (Seite 32) zusammen mit den älteren Namen angeführt sind.

Die Betrachtung der Summenformeln in Tabelle 3 zeigt, daß die Alkene die allgemeine Summenformel $\mathbf{C_nH_{2n}}$ haben. Weiter erkennen wir, daß von Verbindung zu Verbindung immer die gleiche Differenz $-CH_2-$ auftritt. Auch hier liegt eine homologe Reihe vor. Die Molekülvergrößerung von Alken zu Alken um $-CH_2-$ ist eine quan-

Tabelle 3. Alkene

Formel	wissenschaftliche Bezeichnung	ältere Bezeichnung	Siedepunkt in °C	Zustand bei Raumtemperatur
C_2H_4	Äthen	Äthylen	—102,4	gasförmig
C_3H_6	Propen	Propylen	— 47,7	gasförmig
C_4H_8	Buten-(1)	Butylen	— 6,5	gasförmig
C_5H_{10}	Penten-(1)	Amylen	+ 30,1	flüssig
C_6H_{12}	Hexen-(1)	Hexylen	+ 63,5	flüssig
C_7H_{14}	Hepten-(1)	Heptylen	+ 93,1	flüssig
C_8H_{16}	Okten-(1)	Oktylen	+122,5	flüssig
.	.	.	Schmelzpunkt in °C	.
.	.	.	.	.
$C_{16}H_{32}$	Hexadeken-(1)	—	+ 4,0	flüssig
$C_{17}H_{34}$	Heptadeken-(1)	—	+ 10,7	flüssig
$C_{18}H_{36}$	Oktadeken-(1)	—	+ 18,0	fest

titative Veränderung der Verbindungen, die zu qualitativen Änderungen, das heißt zu Änderungen der Eigenschaften (z. B. Erhöhung des Gefrierpunktes, des Siedepunktes) führt. Die Schmelzpunkte und Siedepunkte der Alkene liegen nur wenig tiefer als bei den Alkanen mit gleicher Anzahl von Kohlenstoffatomen. Alkene sind bis zum Buten bei Raumtemperatur gasförmig, vom Penten an flüssig und ab Oktadeken fest.

● *Vergleichen Sie diese Feststellung mit den entsprechenden Angaben bei den Alkanen!*

▶ **Alkene sind kettenförmige Kohlenwasserstoffe mit einer Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen. Ihre allgemeine Formel ist C_nH_{2n}.**

2. Äthen (Äthylen). Die einfachste Verbindung aus der Gruppe der Alkene ist das **Äthen $CH_2 = CH_2$.** Im Laboratorium kann Äthen durch Erhitzen eines Gemisches von Äthanol (Äthylalkohol) und konzentrierter Schwefelsäure dargestellt werden:

$$CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_2{=}CH_2 + H_2O$$

14

In einen Rundkolben (1000 ml) geben wir etwas trockenen Sand, gießen dann 50 ml 95%iges Äthanol (Brennspiritus) dazu und lassen unter Kühlung mit kaltem Wasser vorsichtig 90 ml konzentrierte Schwefelsäure zufließen. Dann verschließen wir den Kolben mit einem einfach durchbohrten Stopfen, durch den ein Gasableitungsrohr geführt ist (Abb. 11). Wir erwärmen den Kolben vorsichtig über einem Asbestdrahtnetz und leiten das entweichende Gas zur Reinigung durch zwei Waschflaschen, von denen die erste zu zwei Dritteln mit Wasser, die zweite zu einem Drittel mit etwa 30%iger Natronlauge gefüllt ist. Das gereinigte Gas wird pneumatisch in mehreren Zylindern aufgefangen.

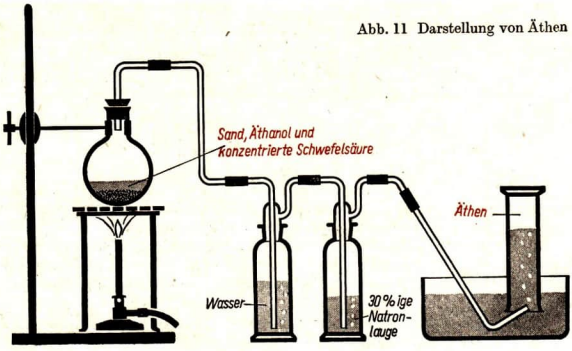


Abb. 11 Darstellung von Äthen

Äthen kann auch aus Äthanol durch katalytische Wasserabspaltung hergestellt werden:

$$CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH \xrightleftharpoons{\text{Kat.}} CH_2{=}CH_2 + H_2O$$

● *Stellen Sie Äthen auf diese Weise nach Versuch S 9 her!*
Wieviel Liter (Normzustand) Äthen bilden sich theoretisch aus 23 g 95%igem Äthanol?

Äthen ist ein farbloses Gas mit einem eigenartigen, etwas süßlichen Geruch. Wir untersuchen einige weitere Eigenschaften des Äthens.

15

Das bei Versuch 14 hergestellte Gas wird in dem zuletzt gefüllten Zylinder entzündet, da hier die Abwesenheit von Luft (Sauerstoff) gewährleistet ist. Gemische von Äthen mit Luft oder Sauerstoff sind sehr explosiv!
Was stellen Sie fest?

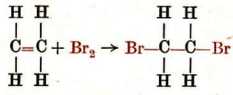
Äthen und alle anderen Alkene (allgemeine Formel C_nH_{2n}) enthalten einen höheren Prozentsatz Kohlenstoff als die Alkane (allgemeine Formel C_nH_{2n+2}). Alkene lassen sich entzünden; sie verbrennen jedoch nicht vollständig. Es bilden sich Kohlenstoffteilchen, die bei der hohen Temperatur aufglühen und eine leuchtende, schwach rußende Flamme erzeugen.

● *Berechnen Sie die Prozente Kohlenstoff und Wasserstoff bei Äthan und Äthen!*

16

Ein Standzylinder wird mit Bromgas gefüllt, indem wir aus einer Bromflasche die Bromdämpfe in den Zylinder fließen lassen. Ein zweiter, gleich großer Zylinder wird mit Äthen gefüllt. Wir verschließen beide Zylinder mit Deckplatten und stellen sie mit den Öffnungen aufeinander, so daß der mit Brom gefüllte Zylinder oben steht. Dann werden die Deckplatten herausgezogen.
Was beobachten Sie?

Dem in Versuch 16 untersuchten Vorgang liegt folgende Reaktion zugrunde:



Äthen Brom Dibromäthan

Äthen reagiert sehr leicht mit Brom. Dabei wird die Doppelbindung im Äthen „aufgerichtet" und mit Brom abgesättigt. Aus dieser Tatsache kann man erkennen, daß die Doppelbindung in den Alkenen wenig stabil ist und daher verhältnismäßig leicht in eine einfache Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung umgewandelt werden kann. Dieses Verhalten der Doppelbindung ist Ursache der großen Reaktionsfähigkeit der Alkene und aller anderen organischen Verbindungen, die solche Doppelbindungen enthalten.

● *Weisen Sie die Doppelbindung in dem von Ihnen hergestellten Äthen mit Bromwasser (Versuch S 10) nach!*

▶ **Bei den kettenförmigen Kohlenwasserstoffen sind Doppelbindungen zwischen Kohlenstoffatomen wenig stabil. Daher sind Äthen und alle anderen Verbindungen, die solche Doppelbindungen enthalten, sehr reaktionsfähig.**

Bei der Reaktion des Äthens mit Brom wird die Doppelbindung im Äthenmolekül aufgerichtet und Brom angelagert. Wie die Reaktionsgleichung zeigt, setzen sich hierbei zwei Ausgangsstoffe zu einem neuen Stoff um; Nebenprodukte entstehen nicht. Äthen verbindet sich mit Brom durch **Addition.**

▶ **Ein chemischer Vorgang wird als Addition bezeichnet, wenn aus zwei Ausgangsstoffen ein neuer Stoff gebildet wird, ohne daß dabei Nebenprodukte entstehen.**

Die bei den Versuchen 16 und S 10 beobachtete Entfärbung ist ein einfacher Nachweis für **Mehrfachbindungen.** Ebenso sind auch die Reaktionen von Alkenen mit **Baeyers Reagens** kennzeichnend für die Reaktionsfähigkeit der Mehrfachbindungen.

17

▲ Wir stellen Baeyers Reagens her, indem wir 10%ige Natriumkarbonatlösung mit wenig Kaliumpermanganatlösung mischen. Einige ml dieser violetten Lösung geben wir in einen mit Äthen gefüllten Zylinder. Wir verschließen den Zylinder sofort mit einer Glasplatte und schütteln kräftig.
Was beobachten Sie?

Baeyers Reagens verfärbt sich bei der Reaktion mit Äthen, und (braunes) Mangan(IV)-oxidhydrat flockt aus. Kaliumpermanganat gibt bei dieser Reaktion Sauerstoff ab. Wir können daher in die Reaktionsgleichung an Stelle von Kaliumpermanganat atomaren Sauerstoff einsetzen:

$$\underset{\text{Äthen}}{CH_2{=}CH_2} + H_2O + O \rightarrow \underset{\text{Äthandiol}}{CH_2(OH){-}CH_2(OH)}$$

Auch bei dieser Umsetzung wird im Äthen die Doppelbindung aufgerichtet.
Leitet man ein Gemisch von Äthen und Wasserstoff über einen Katalysator, so entsteht Äthan:

$$\underset{\text{Äthen}}{CH_2{=}CH_2} + H_2 \xrightarrow{\text{Katalysator}} \underset{\text{Äthan}}{CH_3{-}CH_3}$$

Äthen und andere Stoffe mit Mehrfachbindungen zwischen Kohlenstoffatomen werden als **ungesättigte Verbindungen** bezeichnet, weil sie Atome oder Atomgruppen anlagern können.

Äthen ist eine ungesättigte Verbindung. Es kann zum Beispiel Wasserstoff oder Brom anlagern (addieren).

Es wurde an Hand von Reaktionsgleichungen festgestellt, daß bei Additionsreaktionen keine Nebenprodukte auftreten. Damit unterscheidet sich dieser Reaktionstyp deutlich von den Substitutionsreaktionen. Bei diesen Umsetzungen müssen erst Wasserstoffatome von bestimmten Molekülen abgetrennt werden, damit dann der Ersatz (die Substitution) der abgetrennten Atome durch andere Atome oder Atomgruppen möglich ist. Die Wasserstoffabspaltung ist in der weiteren Folge die Ursache, weshalb sich Nebenprodukte bilden, denn diese Wasserstoffatome reagieren ihrerseits auch mit dem Stoff, der die Substitutionsreaktion bewirkt.

● *Welche Substitutionsreaktionen haben Sie kennengelernt?*
Stellen Sie Reaktionsgleichungen für die Umsetzungen von Chlor mit Äthen und Chlor mit Äthan auf! (Chlor reagiert mit Äthan in ähnlicher Weise wie mit Methan.)
Erläutern Sie die Unterschiede beider Reaktionsarten!

Infolge seiner Reaktionsfähigkeit dient Äthen in der chemischen Industrie zur Herstellung von zahlreichen Stoffen, so zum Beispiel von Lösungsmitteln und Plasten. Ein sehr wichtiger Plast, der aus Äthen hergestellt wird, ist das Polyäthylen.

Äthen ist auf Grund seiner großen Reaktionsfähigkeit ein wichtiger Ausgangsstoff für viele chemisch-technische Verfahren.

3. Homologe des Äthens. Neben Äthen haben auch seine nächsten Homologe, das **Propen** C_3H_6 und die **Butene** C_4H_8 ständig an Bedeutung gewonnen. Sie dienen infolge ihrer Reaktionsfähigkeit in zunehmendem Maße als Zwischenprodukte in der chemischen Industrie.

● *Worauf beruht die große Reaktionsfähigkeit dieser Verbindungen?*
Stellen Sie die Strukturformeln aller Verbindungen auf, welche die Summenformel C_4H_8 besitzen!

Die Herstellung von Propen, Butenen und höhermolekularen Alkenen erfolgt hauptsächlich durch katalytische und thermische Spaltung von Alkanen, wobei deren Molekülketten gespalten werden und neben anderen Stoffen auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe entstehen.
Wir führen das Verfahren der Hitzespaltung eines Alkangemisches als Versuch durch.

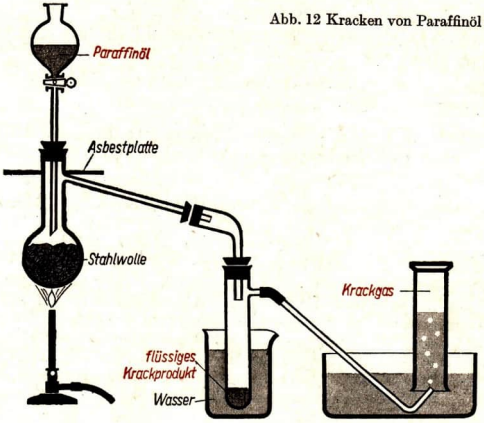


Abb. 12 Kracken von Paraffinöl

18

Die Apparatur wird nach Abbildung 12 zusammengestellt. Den Fraktionierkolben füllt man zu zwei Dritteln mit Stahlwolle oder Eisendrehspänen. Wir verschließen den Kolben mit einem Stopfen, durch den der Stiel eines Hahntrichters geführt ist, nachdem auf den Kolbenhals eine Asbestplatte mit Loch geschoben wurde. Die Platte schützt den Hahntrichter vor den heißen Verbrennungsgasen, die vom Brenner aufsteigen. Nachdem wir in den Trichter bei geschlossenem Hahn 20 ml Paraffinöl eingefüllt haben, erhitzen wir den Fraktionierkolben erst vorsichtig, dann mit entleuchteter Flamme, bis das Eisen Rotglut zeigt. Nun öffnen wir vorsichtig den Hahn des Zulauftrichters, so daß das Paraffinöl auf das glühende Eisen tropft (etwa 1 Tropfen je Sekunde). Das entstehende Gas fangen wir pneumatisch in einem Standzylinder auf.

Was beobachten Sie im Kolben und in dem mit Wasser gekühlten Reagenzglas?
Das Gas im Standzylinder prüfen wir mit Bromwasser!
Welche Veränderungen zeigt das Bromwasser?
Untersuchen Sie das zum Versuch verwendete Paraffinöl mit Bromwasser! Prüfen Sie das Kondensat, das sich im gekühlten Reagenzglas angesammelt hat, mit Bromwasser!
Was schließen Sie aus Ihren Beobachtungen?

Paraffinöl besteht hauptsächlich aus gesättigten Kohlenwasserstoffen mit langen Molekülketten. Durch Einwirkung starker Hitze werden diese Moleküle zerbrochen. Deshalb bezeichnet man derartige Umwandlungen als **Krackvorgang**[1].

● *Führen Sie die Krackung von Maschinenöl, das ein Kohlenwasserstoffgemisch ist, nach Versuch S 11 durch!*

[1] to crack (engl.) = zerbrechen

Da der Wasserstoff der Alkane nicht ausreicht, um alle Teilstücke des Krackvorganges vollständig abzusättigen, müssen bei der Spaltung neben kurzkettigen Alkanen zwangsläufig auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene) verschiedener Molekülgröße entstehen. Der Krackvorgang verläuft in verschiedenen Richtungen. Die folgenden Reaktionsgleichungen stellen lediglich Beispiele dar.

$$\underset{\text{Tetradekan (Alkan)}}{C_{14}H_{30}} \rightarrow \underset{\text{Heptan (Alkan)}}{C_7H_{16}} + \underset{\text{Äthen (Alkene)}}{2\,C_2H_4} + \underset{\text{Propen (Alkene)}}{C_3H_6} \qquad (1)$$

$$\underset{\text{Pentadekan (Alkan)}}{C_{15}H_{32}} \rightarrow \underset{\text{Oktan (Alkan)}}{C_8H_{18}} + \underset{\text{Hepten (Alken)}}{C_7H_{14}} \qquad (2)$$

Die entstandenen ungesättigten Verbindungen lassen sich sowohl in den flüssigen als auch in den gasförmigen Krackprodukten mit Bromwasser nachweisen.

Unter Kracken versteht man die Spaltung langkettiger Alkanmoleküle, wobei unter anderem auch Alkene entstehen.

- *Welchen Aggregatzustand haben die Stoffe der Reaktionsgleichungen (1) und (2) bei Raumtemperatur?*
  Stellen Sie die Strukturformeln für die Alkene der Reaktionsgleichung (1) auf!
  Erläutern Sie an Hand einer Reaktionsgleichung die Umsetzung, die bei Einwirkung von Brom auf Propen abläuft!

Propen und Butene sind ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit großer technischer Bedeutung. Sie werden hauptsächlich durch Spaltung von Alkanen hergestellt.

Von den Alkenen lassen sich, so wie dies schon bei den Alkanen gezeigt wurde, durch Entzug von Wasserstoffatomen Radikale ableiten.

- *Erläutern Sie den Begriff des Radikals!*

Entfernt man aus einem Äthenmolekül ein Wasserstoffatom, so entsteht ein einwertiges Radikal:

$CH_2{=}CH_2$	$CH_2{=}CH{-}$
Äthen	Äthenyl
(Alkenmolekül)	(Alkenradikal)

Die Bezeichnung solcher einwertiger Radikale mit einer Doppelbindung erfolgt in der Weise, daß man an den Namen des Alkens die Endung „-yl" anhängt:

Äthen	$CH_2{=}CH_2$	Äthenyl	$CH_2{=}CH{-}$
Propen	$CH_2{=}CH{-}CH_3$	Propenyl	$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}$

Für das Radikal $CH_2 = CH-$ (Äthenyl) wird häufig auch noch die ältere Bezeichnung **Vinyl** gebraucht. Verbindungen, die die Gruppe $CH_2 = CH-$ enthalten, bezeichnet man daher auch als Vinylverbindungen.

● *Nach welcher Regel werden die einwertigen Radikale, die sich von den Alkanen ableiten, benannt?*
Nennen Sie Alkanradikale und geben Sie die entsprechenden Formeln an!

Alkadiene

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe, die zwei Doppelbindungen je Molekül enthalten, werden als **Diene** bezeichnet. Der wichtigste Vertreter aus der Gruppe der kettenförmigen Diene ist das **Butadien-(1,3)**, kurz auch als Butadien bezeichnet.

$$CH_2=CH-CH=CH_2 \qquad \text{Butadien-(1,3)}$$

● *Erläutern Sie die Bedeutung der hinter dem Namen der Verbindung in Klammern gesetzten Ziffern 1,3!*
Stellen Sie die Strukturformel der Verbindung Butadien-(1,2) auf!

Butadien ist ein wichtiges Zwischenprodukt der chemischen Industrie unserer Republik und dient zur Herstellung von synthetischem Kautschuk, sogenanntem **Buna.** Butadien zeigt auf Grund seiner Doppelbindungen ebenfalls große Reaktionsfähigkeit. Dies äußert sich unter anderem auch in der Neigung zu Polymerisationsreaktionen, die im Kapitel „Plaste" erläutert werden.

▶ **Butadien enthält zwei Doppelbindungen und zeigt daher große Reaktionsfähigkeit. Es ist ein technisch wichtiges Gas.**

Alkine

1. Aufbau und Benennung. Eine weitere Gruppe ungesättigter Kohlenwasserstoffe bilden die **Alkine.** Sie sind wie die Alkane und Alkene kettenförmig, enthalten jedoch eine Dreifachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen. Die allgemeine Formel für die Alkine lautet C_nH_{2n-2}. Alkine sind noch wasserstoffärmer als die Alkene.
Die Namen für die einzelnen Alkine werden nach den Regeln für die wissenschaftlichen Bezeichnungen aus dem Wortstamm (Äth-, Prop-, But- usw.), der die Anzahl der Kohlenstoffatome in der unverzweigten Kette ausdrückt, und der Endung **„-in"** gebildet.

▶ **Alkine sind kettenförmige, ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit einer Dreifachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen.**

Ähnlich wie bei den Alkenen muß man auch bei den Alkinen die Lage der Mehrfachbindung in der Kohlenstoffkette näher bezeichnen.

● *Erklären Sie, nach welcher Regel man bei den Alkenen die Lage der Doppelbindung bezeichnet!*

In Tabelle 4 sind einige Alkine angeführt.

Tabelle 4. Alkine

Formel	wissenschaftliche Bezeichnung	ältere Bezeichnung	Siedepunkt in °C	Zustand bei Raumtemperatur
C_2H_2	Äthin	Azetylen	—83,6	gasförmig
C_3H_4	Propin	Allylen oder Methylazetylen	—23,3	gasförmig
C_4H_6	Butin-(1)	Äthylazetylen	+ 8,1	gasförmig
C_5H_8	Pentin-(1)	Propylazetylen	+40	flüssig
C_6H_{10}	Hexin-(1)	Butylazetylen	+71,5	flüssig

● *Stellen Sie die Strukturformeln der in Tabelle 4 genannten Alkine auf! Welche Differenzen in den Summenformeln treten bei den angeführten Alkinen auf? Vergleichen Sie die Aggregatzustände der Alkine mit denen der Alkene und Alkane bei gleicher Anzahl von Kohlenstoffatomen!*

Aus der Tabelle 4 ersieht man, daß auch hier – wie bei den Alkanen und Alkenen – die gleiche Differenz —CH_2— auftritt. Demnach liegt ebenfalls eine homologe Reihe vor. Die Betrachtung der Tabelle 4 zeigt weiter, daß auch bei dieser homologen Reihe mit den quantitativen Veränderungen (Zunahme der Moleküle um —CH_2—) eine schrittweise Änderung der Siedepunkte verbunden ist, also qualitative Änderungen eintreten. Die Untersuchungen der Alkine haben gezeigt, daß sich mit Zunahme des Molekulargewichtes auch andere Eigenschaften dieser Stoffe ändern.

Der wichtigste Vertreter der Alkine ist das **Äthin CH≡CH,** zu dessen Herstellung man in der Deutschen Demokratischen Republik von **Kalziumkarbid** CaC_2 ausgeht.

2. Kalziumkarbid. Bei der großtechnischen Erzeugung von Kalziumkarbid wird Branntkalk (Kalziumoxid) mit Koks zur Reaktion gebracht:

$$CaO + 3\,C \rightleftarrows CaC_2 + CO\uparrow$$

Für die Bildung von Kalziumkarbid sind große Wärmemengen und sehr hohe Reaktionstemperaturen (etwa 2000 °C) erforderlich, die im **Karbidofen** (Abb. 13)

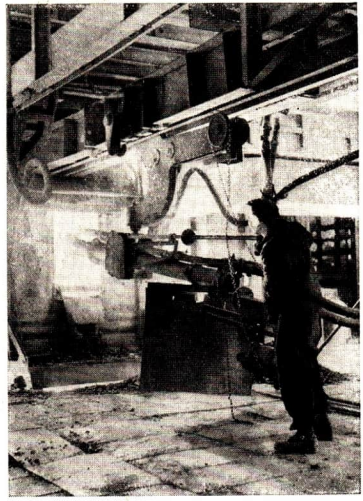


Abb. 13 Abstichöffnung eines Karbidofens im VEB Chemische Werke Buna Schkopau

durch einen elektrischen Lichtbogen, aber auch durch die Widerstandserhitzung im geschmolzenen Reaktionsmaterial erreicht werden.

Kalziumkarbid wird aus Kalziumoxid und Koks im Karbidofen bei etwa 2000 °C hergestellt.

Der Karbidofen besteht aus einem mit Schamotte ausgekleideten Eisenmantel. Der Boden ist mit Kohleplatten ausgelegt, die als Elektrode dienen. Den Gegenpol bilden drei stromführende, eingehängte Kohleelektroden, die so angeordnet sind, daß in der Ofenmitte ein örtlich begrenzter Schmelzherd entsteht, der die Ofenwände nicht gefährdet (Abb. 14).

● *Wieviel Kalziumkarbid bildet sich theoretisch aus 10 t Kalziumoxid?*

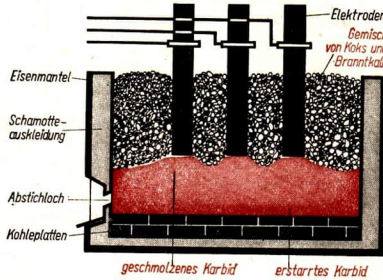


Abb. 14 Schematische Darstellung eines Karbidofens

Unsere Republik verfügt über bedeutende Karbidanlagen im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, und im VEB Stickstoffwerk Piesteritz. Im VEB Chemische Werke Buna sind Dreiphasenöfen in Betrieb, die kontinuierlich arbeiten. Die Leistung eines solchen Ofens beträgt 35000 kW und mehr.

Der Stromverbrauch einer Stadt von 100000 Einwohnern beträgt etwa 25000 kW. Der Vergleich dieser Zahlen zeigt, welche Bedeutung die Elektroenergie auch für die chemische Industrie hat. Rund ein Drittel des Elektroenergieverbrauches unserer Republik entfällt auf die chemische Industrie, davon wiederum ein Drittel auf die Karbiderzeugung. Der VEB Chemische Werke Buna ist der größte Karbidproduzent unserer Republik. In diesem Betrieb werden Kalk aus den Rübeländer Kalkwerken und Steinkohlenkoks aus der Sowjetunion, der Volksrepublik Polen sowie aus den Gaswerken unserer Republik verarbeitet. Daneben wird auch in steigendem Maße BHT-Koks aus dem VEB Braunkohlenkombinat Lauchhammer verwendet. Nach Fertigstellung des Großkombinates „Schwarze Pumpe" soll die

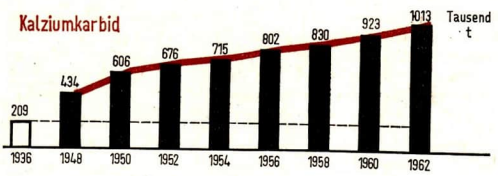


Abb. 15 Entwicklung der Karbiderzeugung der Deutschen Demokratischen Republik

Karbidherstellung hauptsächlich auf der Basis von BHT-Koks erfolgen. In den letzten Jahren wurden die Karbidanlagen des VEB Chemische Werke Buna beträchtlich erweitert. Damit wurde dieses Werk zur größten Karbidfabrik der Welt. Die Karbiderzeugung unserer Republik konnte in den vergangenen Jahren ständig gesteigert werden (Abb. 15). Sie betrug 1962 mit 1 013 000 Tonnen bereits weit mehr als das Doppelte der des Jahres 1948.

3. Äthin (Azetylen). Reagiert Kalziumkarbid mit Wasser, so entweicht unter starker Wärmeentwicklung Äthin:

$$CaC_2 + 2\,H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$$

Aus 1 kg Kalziumkarbid werden etwa 300 l Äthin entwickelt.

Das technisch hergestellte Kalziumkarbid ist durch Kohlenstoff (graue Farbe des Karbids) und andere Stoffe verunreinigt. Einige dieser Verbindungen reagieren ebenfalls mit Wasser, wobei unangenehm riechende, giftige Gase entstehen, die den typischen Geruch des ungereinigten Äthins bedingen.

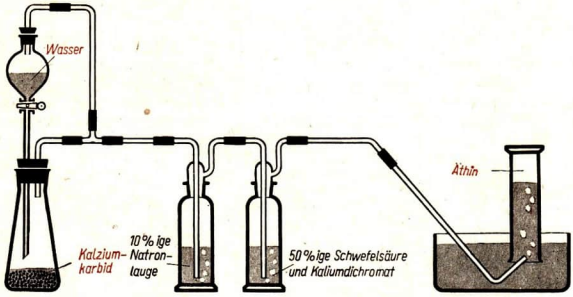


Abb. 16 Darstellung von Äthin aus Kalziumkarbid

19

Wir stellen die Versuchsanordnung nach Abbildung 16 zusammen und lassen aus dem Tropftrichter Wasser auf das im Kolben befindliche Kalziumkarbid tropfen. Aus Sicherheitsgründen legen wir das Gasableitungsrohr schon bei Beginn der Gasentwicklung in die mit Wasser gefüllte pneumatische Wanne. Nachdem die Gasentwicklung einige Zeit läuft, führen wir vorsichtig die Knallgasprobe durch. Nach negativem Ausfall der Probe werden einige Standzylinder pneumatisch mit Äthin gefüllt.

- *Berechnen Sie, wieviel 90%iges Kalziumkarbid in den Kolben gefüllt werden muß, um bei einer vollständigen Umsetzung 5,6 l Äthin (Normzustand) zu erzeugen!*

Industriell wird Äthin aus Kalziumkarbid nach zwei Verfahren hergestellt. Bei dem einen Verfahren wird mit Wasserüberschuß gearbeitet (Naßgasverfahren), bei dem anderen setzt man nur so viel Wasser hinzu, wie gerade zur Äthinentwicklung benötigt wird (Trockenverfahren). Das im VEB Chemische Werke Buna bei dem Trockenverfahren als Nebenprodukt anfallende Kalziumhydroxid wird unter der Handelsbezeichnung **Karbidkalkhydrat** (gewöhnlich **„Bunakalk"** genannt) als Düngemittel, für industrielle Zwecke (z. B. in Papierfabriken) und als Baukalk verwendet.

Wirkt Wasser auf Kalziumkarbid ein, so entstehen Äthin und Kalziumhydroxid.

Äthin ist ein farbloses Gas, das in reinem Zustand ätherisch riecht. In größeren Mengen eingeatmet, wirkt es narkotisch.

20

Das Äthin in dem bei Versuch 19 zuletzt gefüllten Standzylinder wird entzündet, da hier völlige Abwesenheit von Luft gewährleistet ist.
Beobachten Sie die Flamme!

Äthin brennt mit leuchtender, stark rußender Flamme.

Vorsicht beim Arbeiten mit Äthin! Es bildet mit Sauerstoff oder Luft hochexplosive Gemische!

21

Wir untersuchen das Verhalten von Äthin gegenüber Brom entsprechend Versuch 16.
Was stellen Sie fest?

22

Die Umsetzung von Äthin mit BAEYERS Reagens wird entsprechend Versuch 17 durchgeführt.
Was beobachten Sie?

- *Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Äthin auf!*
  Berechnen Sie die Prozentgehalte von Kohlenstoff und Wasserstoff im Äthin und vergleichen Sie die erhaltenen Zahlen mit den Werten für Äthan und Äthen!
  Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Zusammensetzung von Kohlenwasserstoffen und dem Aussehen ihrer Flammen?

23

Wir geben in eine Porzellanschale etwas Propanon (Azeton), das mit roter Tinte angefärbt ist. Dann füllen wir ein Reagenzglas mit Äthin und halten es (mit der Öffnung nach unten) in die Schale.
Was beobachten Sie?
Schlußfolgern Sie aus Ihrer Beobachtung!

Äthin addiert Brom nach folgender Reaktionsgleichung:

$$\underset{\text{Äthin}}{CH{\equiv}CH} + 2\,Br_2 \rightarrow \underset{\text{Tetrabromäthan}}{CHBr_2{-}CHBr_2}$$

Äthin verhält sich bei den Versuchen 21 und 22 ähnlich wie Äthen (Versuche 16 und 17). Wir können demnach auch mit Äthin Additionsreaktionen durchführen. Dies ist möglich, weil Äthin eine Mehrfachbindung (—C≡C—) besitzt.

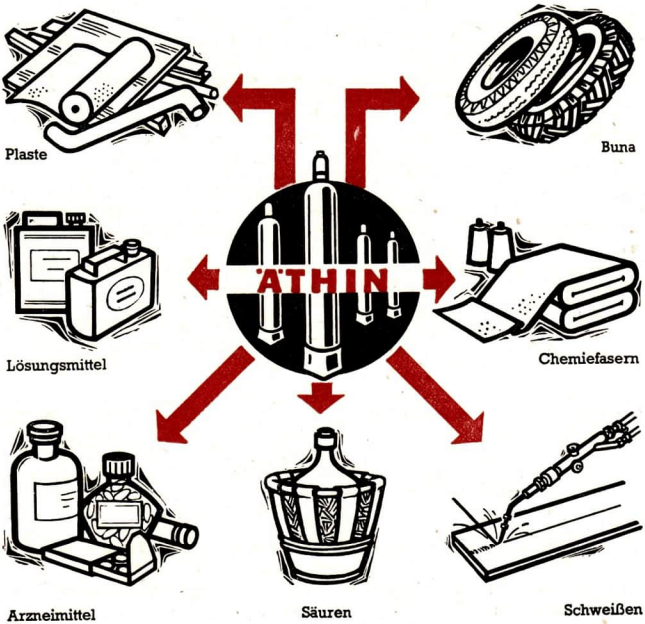


Abb. 17 Verwendung von Äthin

Äthin hat durch seine Mehrfachbindung großes Additionsvermögen.

Äthin ist merklich in Wasser und sehr gut in Propanon (Azeton) löslich. Ein Raumteil Propanon löst bei 15 °C und normalem Luftdruck 25 Raumteile Äthin.

Die gute Löslichkeit des Äthins in Propanon nutzt man aus, um Äthin zu transportieren. Äthin explodiert schon unter geringem Überdruck. Dagegen kann man es verhältnismäßig gefahrlos mit einem Druck von 12 at in Stahlflaschen pressen, die in Kieselgur aufgesaugtes Propanon enthalten. Unter diesem Druck löst ein Raumteil Propanon 300 Raumteile Äthin.

Äthin ist durch seine Dreifachbindung sehr reaktionsfähig und dient als Ausgangsstoff für zahlreiche chemische Synthesen, so zum Beispiel zur Herstellung von Plasten (Ekadur), synthetischem Kautschuk (Buna), Chemiefasern (Wolpryla), Lösungsmitteln, Arzneimitteln, Äthanol und Äthansäure.

Fast 90% der insgesamt 370 Erzeugnisse des VEB Chemische Werke Buna werden aus Äthin hergestellt. Die Produktionssteigerung vieler Stoffe ist daher abhängig von den zur Verfügung stehenden Äthinmengen. Die Äthinherstellung auf dem Wege über Kalziumkarbid kann aber wegen des gewaltigen Verbrauchs an elektrischer Energie nicht beliebig gesteigert werden. Unsere chemische Industrie wird deshalb bei der Erzeugung ungesättigter Kohlenwasserstoffe in den nächsten Jahren auch andere Wege beschreiten. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Verarbeitung von Bestandteilen des Erdöls. Die Erdölindustrie unserer Republik wird im Verlauf der nächsten Jahre umfangreiche Erweiterungen erfahren.
Äthin ist nicht nur Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Von Bedeutung ist auch seine Verwendung beim autogenen Schweißen und Schneiden von Metallen. Beim Verbrennen von Äthin mit Sauerstoff in Spezialbrennern werden Temperaturen bis 3000 °C erreicht.
Äthin wird gelegentlich noch zu Beleuchtungszwecken benutzt, da es bei Verwendung besonderer Brenner mit helleuchtender, nichtrußender Flamme brennt.

Äthin ist sehr reaktionsfähig und gehört gegenwärtig zu den technisch wichtigsten Gasen. Es dient vor allem als Ausgangsstoff für chemische Synthesen und zum Autogenschweißen.

Abbildung 17 zeigt die Verwendung von Äthin.
Da Äthin aus Kalziumkarbid und Wasser, also aus anorganischen Stoffen hergestellt wird, ist die Vielzahl der aus Äthin erzeugten organischen Verbindungen letztlich anorganischen Ursprungs. Wir erkennen, daß die Umwandlung anorganischer Verbindungen in organische nicht nur für die Forschung Bedeutung hat, sondern daß sie auch Grundlage großtechnischer Verfahren ist.

Vergleichende Betrachtung der Alkane, Alkene und Alkine

Die Stoffgruppen der Alkane, Alkene und Alkine zeigen in mancher Beziehung Ähnlichkeiten, in einigen Punkten aber große Unterschiede.
1. Alle drei Gruppen von Verbindungen gehören zu den kettenförmigen oder azyklischen organischen Verbindungen. In ihnen sind die Kohlenstoffatome in Form offener Ketten miteinander verbunden.
2. Alle drei Gruppen von Verbindungen sind Kohlenwasserstoffe. Sie sind also nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut.
3. Alkane, Alkene und Alkine bilden homologe Reihen, in denen es bei schrittweiser Änderung der Molekülgröße (immer um $-CH_2-$) zu bestimmten Veränderungen der Eigenschaften kommt. Bis zu 4 Kohlenstoffatomen im Molekül sind die Vertreter aller drei Gruppen bei Raumtemperatur gasförmig und ab 5 Kohlenstoffatomen Flüssigkeiten. Der Übergang von flüssig zu fest ist in den einzelnen Reihen verschieden.
4. In den Alkanen sind die Kohlenstoffatome nur durch Einfachbindungen miteinander verknüpft. Alkane sind gesättigte Verbindungen. Alkene und Alkine besitzen an einer Stelle Mehrfachbindungen zwischen Kohlenstoffatomen, sie sind daher ungesättigte Kohlenwasserstoffe.
5. Auf Grund der Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen sind die Alkane meist reaktionsträge. Die Zweifachbindung $>C=C<$ der Alkene und die Dreifach-

bindung —C≡C— der Alkine verleiht diesen Verbindungen große Reaktionsfähigkeit.

6. Die Reaktionen zwischen Alkanen und Halogenen sind nur Substitutionen. Alkene und Alkine reagieren mit Halogenen hauptsächlich durch Addition.

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Erläutern Sie anhand der Strukturformeln von Alkanen, warum diese Verbindungen als gesättigte Kohlenwasserstoffe bezeichnet werden!
2. Nennen Sie wichtige Eigenschaften und die Verwendungszwecke des Methans!
3. Nennen Sie Vorkommen von Methan in der Natur!
4. Wozu werden Äthan, Propan und Butan verwendet?
5. Nennen Sie Zusammensetzung, Eigenschaften und Verwendungszwecke von Paraffin!
6. Erläutern Sie den Begriff „homologe Reihe"!
7. Erklären Sie den Begriff „Isomerie"!
8. Nach welchen Regeln werden die Namen der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe gebildet?
9. Stellen Sie die Strukturformeln des 2-Methylhexans, des 2,4-Dimethylpentans und des 3-Äthylpentans auf!
10. Bei der Reaktion von Äthen mit Brom entsteht ein Dibromäthan, das im Hinblick auf die Stellung der beiden Bromatome genauer als 1,2-Dibromäthan bezeichnet werden muß. Stellen Sie die Strukturformel für 1,1-Dibromäthan auf!
11. Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:

a) $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH(CH_3) \cdot CH(CH_3) \cdot CH_2 \cdot CH_3$

b) $CH_3 \cdot CH(CH_3) \cdot CH_2 \cdot CH(CH_3) \cdot CH_3$

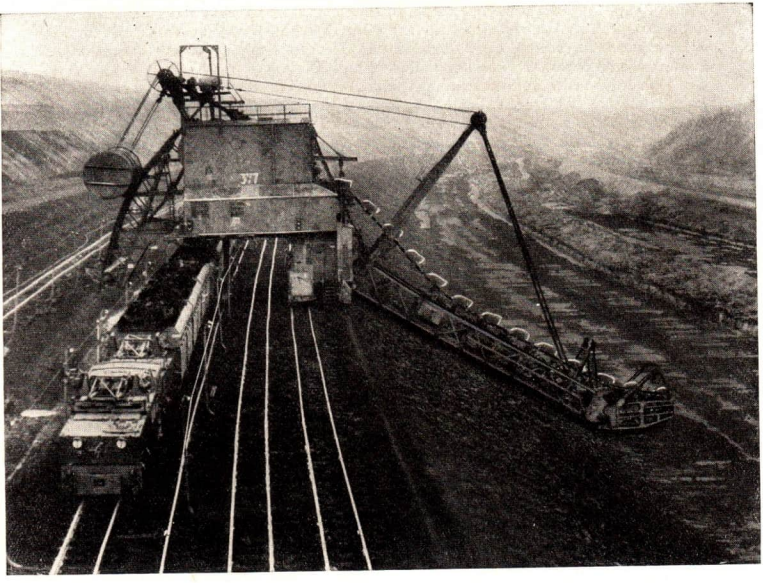
12. Berechnen Sie aus der Reaktionsgleichung für die Methandarstellung (Seite 17), welche prozentuale Zusammensetzung das Gemisch Natriumäthanat–Natronkalk haben muß, wenn der Natronkalk 50 Gew.-% Natriumhydroxid enthält!
13. Welche Menge von Natriumäthanat muß bei Versuch 6 verwendet werden, damit (bei Annahme einer vollständigen Umsetzung) 5,6 l Methan (Normzustand) entstehen?
14. Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Methan auf!
15. Berechnen Sie aus der Verbrennungsgleichung für Methan die theoretische Zusammensetzung eines Methan-Sauerstoff-Gemisches in Volumprozenten, damit bei Entzündung eine restlose Umsetzung von Methan und Sauerstoff erfolgt!
16. Bei einer Methandarstellung nach Versuch 6 wurden 8,2 g Natriumäthanat umgesetzt. Wieviel Gramm Natriumkarbonat befinden sich im Glührückstand?
17. Erläutern Sie aus der Gesetzmäßigkeit der homologen Reihe der Alkane, welchen Aggregatzustand die Kohlenwasserstoffe $C_{12}H_{26}$ und $C_{22}H_{46}$ bei Raumtemperatur besitzen!
18. Erläutern Sie den Begriff des Radikals!
19. Nennen Sie Beispiele für Radikale, die sich von den Alkanen und von Alkenen ableiten, und geben Sie die entsprechenden Formeln an!

20. Erklären Sie den Begriff „Substitution"!
21. Was verstehen Sie unter einer rationellen Strukturformel?
22. Geben Sie für Propan und 2-Methylbutan die gewöhnlichen und die rationellen Strukturformeln an!
23. Welche Halogenderivate der Alkane sind Ihnen bekannt und welche Eigenschaften besitzen diese Verbindungen?
24. Wozu werden Halogenderivate der Alkane verwendet?
25. Wieviel Liter Chlor (Normzustand) werden benötigt, um 24 g Methan zu Monochlormethan umzusetzen?
26. Berechnen Sie, wieviel Prozent Chlor im Tetrachlormethan enthalten sind!
27. Wieviel Gramm Monochlormethan muß man verdampfen, damit 11,2 l Gas (Normzustand) entstehen?
28. Erläutern Sie wichtige Eigenschaften des Äthens aus seiner Struktur!
29. Vergleichen Sie Einfach- und Mehrfachbindungen!
30. Welche chemischen Vorgänge werden als Addition bezeichnet? Nennen Sie Beispiele!
31. Vergleichen Sie Addition und Substitution!
32. Nennen Sie Homologe des Äthens und geben Sie die Strukturformeln an!
33. Erläutern Sie den Krackvorgang! Nennen Sie Produkte, die bei der Krackung von Hexadekan $C_{16}H_{34}$ auftreten können!
34. Wie weist man Alkene in den Krackprodukten nach?
35. Was verstehen Sie unter einem Dien? Nennen Sie ein Dien mit Namen und Strukturformel!
36. Erläutern Sie die technische Herstellung von Äthin!
37. Zeichnen Sie vereinfacht den Längsschnitt durch einen Karbidofen und erläutern Sie seine Arbeitsweise!
38. Erläutern Sie am Beispiel der Karbiderzeugung die Bedeutung der Elektroenergie für die chemische Industrie!
39. In welchen Werken der Deutschen Demokratischen Republik wird Karbid erzeugt?
40. Vergleichen Sie die Strukturformeln von Äthan und Äthin!
41. Berechnen Sie in Prozenten den Kohlenstoffgehalt von Propan, Propen und Propin!
42. Berichten Sie über die Eigenschaften des Äthins!
43. Erläutern Sie die volkswirtschaftliche Bedeutung des Äthins für unsere Republik!
44. Berechnen Sie die Brommenge, die von 1,12 l Äthin (Normzustand) addiert wird!
45. Wieviel prozentig ist ein technisches Kalziumkarbid, wenn bei dessen Umsetzung mit Wasser aus 8 g Karbid 2,24 l Äthin (Normzustand) entstehen?
46. Vergleichen Sie die Eigenschaften von Äthen und Äthin!

3. KAPITEL

Erzeugung von Kohlenwasserstoffen aus Kohle

Tag für Tag rattern die schweren Eimerketten und Schaufelräder der Bagger in unseren Braunkohlengruben. 1962 förderten sie 247 Millionen Tonnen des braunen Rohstoffs. Die Braunkohle ist zur Zeit unser wichtigster Brennstoff, aber auch der wichtigste Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Durch chemisch-technische Verfahren werden aus Braunkohle hochwertige feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe, ferner Kraftstoffe, Schmierstoffe, Paraffin und viele Zwischenprodukte für die chemische Industrie hergestellt. In den Braunkohlengebieten befinden sich die bedeutendsten Chemiewerke unserer Republik. Sie verbrauchen einen großen Teil der Braunkohlenförderung. Allein der VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" benötigt jährlich 6 Millionen Tonnen Braunkohle. Die Kohlenveredlungsindustrie ist einer der bedeutendsten Zweige unserer chemischen Industrie.



Kohlenveredlung

Gegenwärtig werden große Mengen Braunkohlen und Steinkohlen als Heizstoffe verfeuert. Trotz technischer Vervollkommnung der Heizungsanlagen kann der Heizwert der Kohlen hierbei nur zu einem verhältnismäßig geringen Grade ausgenutzt werden. Darüber hinaus hat die Kohlenfeuerung eine Reihe von weiteren Nachteilen. Der Transport, zu dem umfangreiche Verlade- und Entladearbeiten notwendig sind, ist mit hohen Kosten verbunden. Feste Brennstoffe sind schwer entzündbar, benötigen Luftüberschuß und bilden Schlackerückstände. Beim Verfeuern von Kohle gehen außerdem wertvolle Bestandteile der Kohle verloren. Ein Nachteil bestimmter Kohlenarten ist ihr hoher Wassergehalt. Die in unserer Republik geförderte Rohbraunkohle enthält im Durchschnitt etwa 40% brennbare Substanz, 5% Asche und 55% Wasser. Schon auf Grund dieser Zusammensetzung ist es unvorteilhaft, Rohbraunkohle über weite Strecken zum Verbraucher zu transportieren. Beim Versand eines Waggons Rohkohle von 15 t werden etwa 8 t Wasser mitbefördert. Beim Verfeuern von Rohbraunkohle wird ein großer Teil der in ihr gespeicherten Energie zum Verdampfen des Wassergehaltes benötigt. Für viele Verbraucher ist die Rohkohle außerdem wegen ihrer bröckligen Struktur unzweckmäßig. Man geht daher immer mehr dazu über, die Rohbraunkohle zu veredeln.

Die erste Stufe der Veredlung der Braunkohle ist die **Trocknung** und **Brikettierung.** Braunkohlenbriketts enthalten nur noch 17% Wasser. Ihr Gehalt an brennbarer Substanz beträgt 74%, ihr Aschegehalt 9%. Ihr Heizwert ist mit 5000 kcal · kg^{-1} mehr als doppelt so groß wie der von Rohbraunkohle. Die Rohkohle wird jedoch nicht nur für Feuerungszwecke brikettiert. In erheblichen Mengen benötigt unsere Industrie Braunkohlenbriketts zur Verkokung und zur Verschwelung.

Die nächste Stufe der Kohlenveredlung ist die Umwandlung in gasförmige und flüssige Brennstoffe und Kraftstoffe, denn diese können weit günstiger ausgenutzt werden. Außerdem lassen sie sich einfacher transportieren, sie sind leicht entzündbar und verbrennen aschefrei bei hoher Temperatur. Sie haben darüber hinaus den Vorzug der größeren Sauberkeit.

In steigendem Maße werden feste Brennstoffe in flüssige und gasförmige Produkte umgewandelt. Bei dieser Form der Kohlenveredlung fallen auch wertvolle Ausgangsstoffe für die chemische Industrie in beträchtlichen Mengen an. Im folgenden sollen wichtige Kohlenveredlungsverfahren behandelt werden.

▶ **Die Umwandlung fester Brennstoffe in flüssige und gasförmige wird als Kohlenveredlung bezeichnet. Bei der Kohlenveredlung fallen außerdem wertvolle Stoffe für die chemische Industrie an.**

● *Beschreiben Sie die Entstehung der Mineralkohlen!*
Erläutern Sie die Förderung der Braunkohlen im Tagebau!
Wie wird die Förderung der Steinkohle durchgeführt?

Verkokung und Vergasung

1. Verkokung der Kohle. Bei der **Verkokung der Steinkohle** wird die zerkleinerte Kohle in Kammeröfen unter Luftabschluß auf etwa 1100 °C erhitzt. Das aus den Kammern entweichende Steinkohlengas wird gereinigt. Dabei fallen als wichtige Nebenprodukte

Teer, ringförmige Kohlenwasserstoffe (Benzol, Naphthalin), Ammoniak und Schwefelverbindungen an. Als Rückstand verbleibt Steinkohlenkoks. In der Deutschen Demokratischen Republik hat auch die **Hochtemperaturverkokung von Braunkohlenbriketts** nach dem Verfahren von BILKENROTH und RAMMLER große Bedeutung. Bei diesem Verfahren fallen BHT-Koks, Braunkohlengas, Teer, Schwefelverbindungen und andere Endprodukte an.

Bei der Verkokung werden aus Kohle durch Erhitzen unter Luftabschluß Heizgase, Koks und zahlreiche wertvolle Nebenprodukte erzeugt.

- *Erläutern Sie Bau und Wirkungsweise von Kammeröfen der Kokereien und Gaswerke!*
  Schildern Sie die Reinigung des Steinkohlenrohgases!
  Welche Bedeutung haben die Regeneratoren der Kokereien und Gaswerke?
  Welche Unterschiede bestehen zwischen der Hochtemperaturentgasung von Steinkohle und der von Braunkohle?

2. Vergasung der Kohle. Bei der **Vergasung der Kohle** wird Luft oder Wasserdampf in Generatoren über Koks oder gasarme Kohlen geleitet. Hier wird die Kohle fast vollständig in gasförmige Produkte umgewandelt. Die wichtigsten auf diesem Wege hergestellten Gase sind Generatorgas, Wassergas, Mischgas und Druckgas. Diese Gase dienen als Heizgase und als Ausgangsstoffe für eine Reihe von großtechnischen Synthesen.

- *Welche chemischen Umsetzungen vollziehen sich bei der Herstellung von Generatorgas und Wassergas?*
  Vergleichen Sie die Energieumsetzung bei der Erzeugung von Generatorgas und Wassergas!
  Beschreiben Sie anhand einer von Ihnen angefertigten einfachen Skizze Bau und Wirkungsweise eines Winklergenerators!
  Schildern Sie die Zusammensetzung von Generatorgas, Wassergas und Mischgas!

Unter den verschiedenen Verfahren der Kohlenvergasung hat die **Druckvergasung der Braunkohle** immer größere Bedeutung erlangt. Bei diesem Verfahren wird das eingebrachte Brennmaterial (Rohbraunkohlen, Schwelkoks oder Braunkohlenbriketts) im Druckgenerator bei 22 bis 24 at vergast. Der **Druckgaserzeuger** besteht aus einem Doppelmantelgefäß (Abb. 18), in dessen äußerem Zwischenraum sich

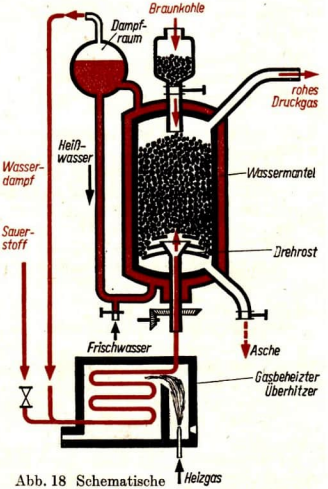


Abb. 18 Schematische Darstellung einer Druckvergasungsanlage

Wasser befindet. Dieses Wasser kühlt die stark erhitzte Innenwand (den eigentlichen Vergasungsschacht) und wird dabei in Dampf umgewandelt. Der entstehende Dampf wird über einen Dampfsammler geleitet und dann mit Sauerstoff gemischt. Diese Mischung dient als Vergasungsmittel; sie strömt durch einen mit Gas beheizten Überhitzer und gelangt dann mit einer Temperatur von etwa 500 °C durch die Hohlwelle des Drehrostes in den Reaktionsraum. Durch die Umsetzung von Wasserdampf mit Kohlenstoff im unteren Teil des Generators entstehen bei 800 bis 1000 °C Wasserstoff und Kohlenmonoxid (Wassergaserzeugung):

$$C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$$

Durch den im Generator herrschenden Druck kommt es aber auch zur Methanbildung aus Kohlenstoff und Wasserstoff:

$$C + 2\,H_2 \rightarrow CH_4$$

Aus dem Gaserzeuger entweicht daher durch das Ableitungsrohr ein Gas, das in der Hauptsache aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan besteht. Außerdem sind Kohlendioxid, Wasserdampf, Schwefelwasserstoff und auch Entgasungsprodukte enthalten, da im oberen Teil des Vergasungsschachtes in gewissem Umfang auch eine Entgasung der eingebrachten Kohlen beziehungsweise Briketts stattfindet. In den folgenden Apparaten wird das Druckgas gereinigt, wobei Teere, Wasser und Benzin abgeschieden werden. In besonderen Anlagen wird auch der Schwefelwasserstoff aus dem Gas entfernt. Das Reingas enthält:

Wasserstoff	35 bis 50%
Kohlenmonoxid	16 bis 22%
Methan	16 bis 23%

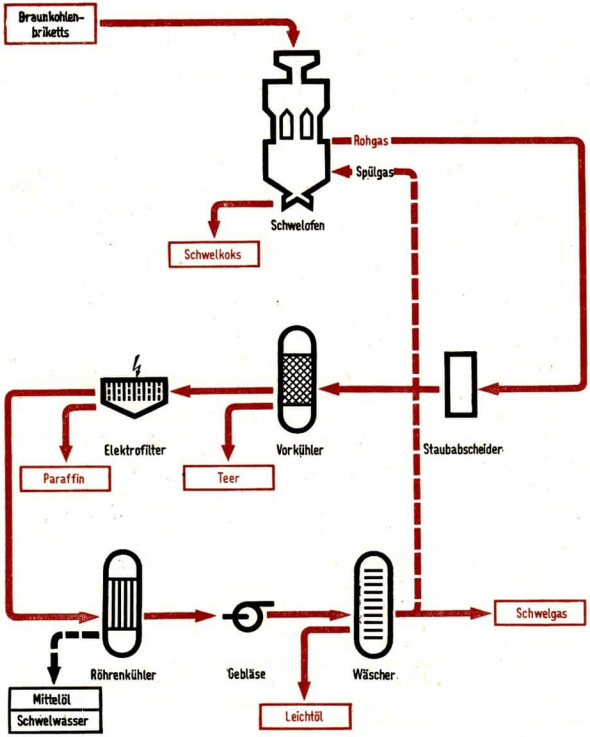
Auf Grund des hohen Methangehalts besitzt das gereinigte Druckgas einen viel höheren Heizwert als Generatorgas, Wassergas und Mischgas und kann daher sowohl als Synthesegas als auch als Heizgas verwendet werden. Im VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen arbeiten zehn Gasgeneratoren nach diesem Verfahren und erzeugen jährlich 160 Millionen Kubikmeter Reingas.

Bei der Vergasung wird Kohle durch Überleiten von Luft oder Wasserdampf in Heizgase und Synthesegase umgewandelt.

Schwelung der Braunkohle

Ein weiteres Verfahren der Kohlenveredlung ist die Entgasung von Braunkohle bei 600 °C. Braunkohlen sind oft bitumenreich, das heißt, sie enthalten größere Mengen organischer Verbindungen (z. B. verschiedene Kohlenwasserstoffe), die durch vorsichtiges Erhitzen ausgetrieben und durch anschließende Kondensation gewonnen werden. Man bezeichnet diesen Prozeß als **Tieftemperatur-Entgasung** oder **Schwelung.** Durch Konstruktion geeigneter Apparate gelang es, die Schwelung zu einem großtechnischen Verfahren zu entwickeln und damit Kraftstoffe und andere wichtige Produkte herzustellen.

Abb. 19
Spülgasschwelung nach Lurgi
Fließbild



Die Entgasung von Braunkohle bei 600 °C heißt Schwelung. Meist werden Briketts aus bitumenreicher Braunkohle verschwelt.

Im Laufe der Entwicklung sind verschiedene Schwelapparate gebaut worden. Die modernen großen Schwelanlagen arbeiten jedoch fast ausnahmslos nach dem **Lurgi-Spülgas-Schwelverfahren.**

Während ältere Schwelanlagen nur stark zerkleinerte Kohle verarbeiten, sind die neueren Lurgiöfen für die Schwelung von Briketts oder stückiger Kohle eingerichtet.

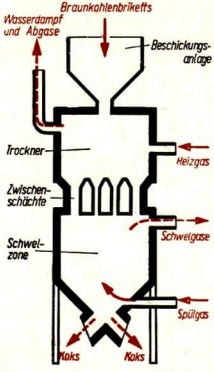


Abb. 20
Schematische Darstellung eines Lurgi-Schwelofens

Die Braunkohlenbriketts rutschen aus dem Kohlenbunker in den Trockner, der dem eigentlichen Schwelofen vorgeschaltet ist und in dem sie durch Heizgase bei etwa 250 °C weitgehend entwässert werden. Der Wasserdampf wird nach außen abgeleitet. Nach der Trocknung gelangt die Kohle durch Zwischenschächte in die Schwelzone (Abb. 20). Das Besondere des Lurgi-Verfahrens besteht darin, daß die Braunkohle im Schwelofen von etwa 600 °C heißen Gasen „umspült" wird. Dadurch werden die Schwelprodukte ausgetrieben. Die mit den Entgasungsprodukten der Kohle gemischten Spülgase werden entstaubt und gelangen dann in einen Vorkühler. Hier wird der Teer kondensiert, während bestimmte höhere Alkane (Paraffin) Nebel bilden, die in einem angeschlossenen Elektrofilter abgeschieden werden. Das Gas strömt nun in Kühler, die mit wasserdurchflossenen Rohren versehen sind, und gibt das sogenannte Mittelöl (Teeröl) und Wasserdämpfe (Schwelwasser) ab. Es folgen das Gasgebläse und der Gaswäscher, in dem Benzine durch Waschöl aus dem Gas herausgewaschen werden.

Ein Teil der gereinigten Schwelgase wird auf 600 °C angeheizt und als Spülgas wieder dem Schwelofen zugeführt. Der verbleibende Teil wird in Kraftwerken zum Beheizen von Dampfkesseln verwendet. Der Rückstand der Schwelung ist Grudekoks. Er wird am unteren Ende des Schwelofens abgezogen. Abbildung 19 (Seite 51) gibt einen Überblick über das Lurgi-Spülgas-Schwelverfahren.

Bei der Spülgasschwelung nach Lurgi werden vorgetrocknete Braunkohlenbriketts von 600 °C heißen Gasen umspült. Dadurch werden zahlreiche Bestandteile der Kohlen ausgetrieben.

Als Produkte der Schwelung fallen an:

1. Braunkohlenschwelteer (Paraffinteer) als Hauptprodukt,
2. Mittelöl (wird hauptsächlich zu Dieselöl verarbeitet),
3. Leichtöl (Benzin),
4. Schwelgas (enthält Methan und andere gasförmige Kohlenwasserstoffe),
5. Braunkohlenschwelkoks (Grudekoks),
6. Schwelwasser.

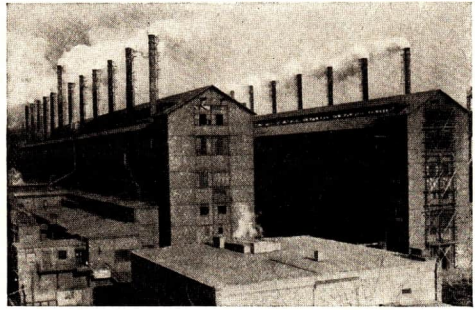


Abb. 21 Schwelanlage im VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen

Der **Braunkohlenschwelteer** wird entweder durch katalytische Hydrierung (siehe Seite 57) in Benzin umgewandelt oder durch fraktionierte Destillation zerlegt. Dabei werden Benzin, Dieselöl, Heizöl, Paraffin, Schmierstoffe und als Rückstand geringe Mengen Pech gewonnen. Der **Grudekoks** ist ein hochwertiger Brennstoff, der ohne Flammen- und Rauchentwicklung verbrennt. Für feinkörnigen Grudekoks gibt es besondere „Grudeöfen" ohne Rost. Große Mengen von Braunkohlenschwelkoks dienen zur Wassergaserzeugung in Winklergeneratoren.
Bei der Schwelung von 1 t Braunkohlenbriketts erhält man etwa:

130 kg Schwelteer, Mittel- und Leichtöl,
470 kg Schwelkoks,
200 m³ Schwelgas,
180 l Schwelwasser.

Die Schwelung hat für die Wirtschaft unserer Republik große Bedeutung. Die größten Schwelanlagen unserer Republik sind im VEB Kombinat Espenhain mit 30 Öfen und im VEB Kombinat „Otto Grotewohl" mit 24 Öfen (Abb. 21).

Die Schwelung von Braunkohlen liefert Kraftstoffe, Schmierstoffe, Schwelgas, Grudekoks und Ausgangsstoffe für die chemische Industrie.

Synthesen nach Fischer-Tropsch und Fischer-Pichler

In den Jahren 1921 bis 1925 entwickelten die deutschen Chemiker Franz Fischer und Hans Tropsch eine Kohlenwasserstoffsynthese, die von Kohlenmonoxid und Wasserstoff ausgeht.
Für die Synthese können alle Ausgangsstoffe verwendet werden, die sich im Gasgenerator in das Synthesegas, ein Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, überführen lassen. Aus Braunkohlenbriketts, Koks oder Rohbraunkohlen wird im Generator Wassergas ($CO + H_2$) hergestellt.

- *Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Wassergas auf und äußern Sie sich über den Energieumsatz dieses Prozesses!*
  Welche Arten von Gasgeneratoren sind Ihnen bekannt?

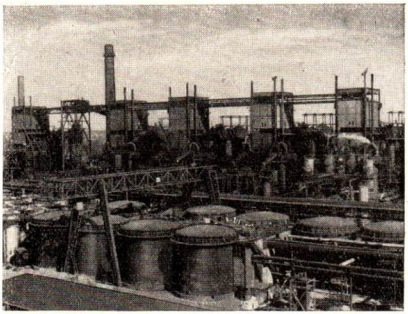


Abb. 22 Anlage zur Synthesegaserzeugung und zur Schwefelreinigung (Vordergrund) im VEB Synthesewerk Schwarzheide

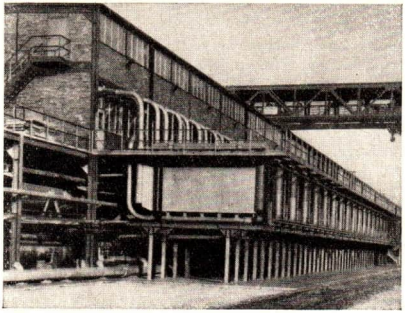


Abb. 23
FISCHER-TROPSCH-Ofenbatterie im VEB Synthesewerk Schwarzheide

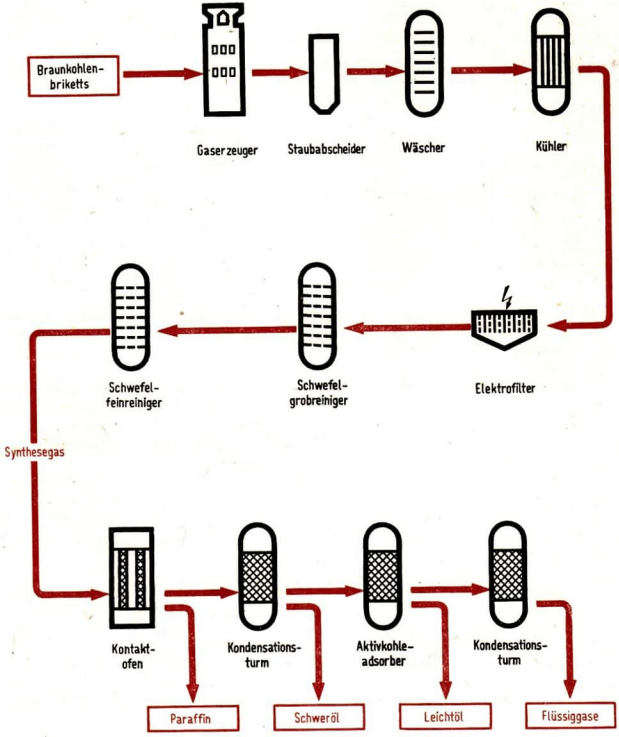
Das Rohgas, das aus den Gaserzeugern (Abb. 22) kommt, enthält noch Verunreinigungen, wie Staub und Schwefelverbindungen. Da die bei der Synthese verwendeten Katalysatoren außerordentlich empfindlich sind, muß das Synthesegas sorgfältig gereinigt werden. Vor allem müssen die Schwefelverbindungen vollständig entfernt werden, da sie als Kontaktgifte wirken. Außerdem muß das Gas auf das richtige Mischungsverhältnis von einem Volumteil Kohlenmonoxid und zwei Volumteilen Wasserstoff gebracht werden. Das Synthesegas gelangt nun in die Kontaktöfen (Abb. 23). Bei einer Temperatur von etwa 200 °C und normalem Druck entstehen hauptsächlich kettenförmige unverzweigte Kohlenwasserstoffe mittlerer Länge (Alkane und Alkene) und als Nebenprodukt Wasser. Bei Verwendung von Kobalt als Katalysator verläuft die Reaktion zum Beispiel folgendermaßen:

$$8\,CO + 17\,H_2 \xrightarrow{Co} C_8H_{18} + 8\,H_2O$$
(Oktanbildung)

$$8\,CO + 16\,H_2 \xrightarrow{Co} C_8H_{16} + 8\,H_2O$$
(Oktenbildung)

Mit steigender Temperatur bildet sich am Kobalt-Katalysator vorwiegend Methan, wodurch die Benzin- und Paraffinausbeute sinkt. Da die FISCHER-TROPSCH-Synthese stark exotherm verläuft, müssen fortwährend große Wärmemengen abgeleitet werden, damit die Temperatur im Kontaktofen annähernd konstant gehalten wird.
Man lagert deshalb den Katalysator, der zum Beispiel aus etwa 2 Teilen Kieselgur, 1 Teil Kobalt und aktivierenden Zusätzen besteht, auf wassergekühlte Rohre.

Abb. 24
Fischer-Tropsch-Synthese
Fließbild



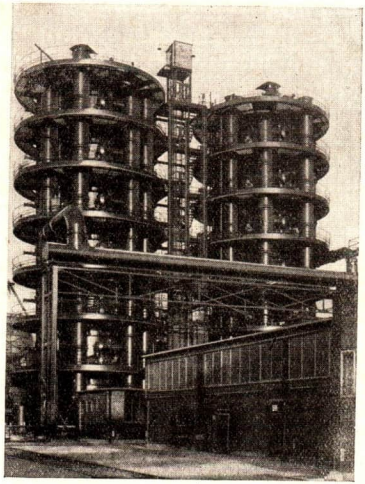


Abb. 25 Aktivkohleadsorber zur Leichtbenzingewinnung im VEB Synthesewerk Schwarzheide

Nach der Reaktion wird das aus Kohlenwasserstoffen und Wasserdampf bestehende Gemisch in Luft- und Wasserkühlern kondensiert. Dabei scheiden sich die höhersiedenden Kohlenwasserstoffe und die Hauptmenge des Wassers ab. Die Schwerbenzine werden in Ölwäschern ausgewaschen, während die noch enthaltenen Leichtbenzine mittels Aktivkohle dem Restgas entzogen werden (Abb. 25). Durch die FISCHER-TROPSCH-Synthese erhält man Flüssiggase, Benzine, Dieselöl, Paraffin und andere Kohlenwasserstoffgemische. Abbildung 24 (Seite 55) gibt einen Gesamtüberblick über das Verfahren. Die Deutsche Demokratische Republik verfügt über FISCHER-TROPSCH-Anlagen im VEB Synthesewerk Schwarzheide.

Beim FISCHER-TROPSCH-Verfahren werden aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bei 200 °C unter normalem Druck Flüssiggase, Benzine, Paraffin und andere Kohlenwasserstoffgemische erzeugt.

Die **FISCHER-PICHLER-Mitteldrucksynthese,** die auch als **Paraffinsynthese** bezeichnet wird, geht ebenfalls von einem Gemisch von Kohlenmonoxid und Wasserstoff (im Verhältnis 1:2) aus. Bei einer Temperatur von 200 °C, unter einem Druck von 5 bis 20 at und unter Verwendung von Eisenkatalysatoren erhält man hauptsächlich ein bei Raumtemperatur festes Paraffin, das **Paraffingatsch** genannt wird.
Das nach der Normaldruck- und der Mitteldrucksynthese hergestellte Paraffin besteht vorwiegend aus unverzweigten Kohlenwasserstoffen, die ein vorzügliches Ausgangsmaterial für viele chemisch-technische Verfahren (z. B. Fettsäuresynthese) darstellen. Neben Paraffin liefert die Mitteldrucksynthese auch Benzin, Diesel- und Heizöl.

Bei der FISCHER-PICHLER-Mitteldrucksynthese entsteht aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bei 200 °C und mittlerem Druck ein Paraffin, das ein wertvoller Ausgangsstoff für wichtige chemisch-technische Verfahren ist.

- *Stellen Sie Reaktionsgleichungen für die Bildung von Hexan C_6H_{14}, Nonan C_9H_{20}, Hepten C_7H_{14} und Deken $C_{10}H_{20}$ auf!*
  Nennen Sie Alkane, die Bestandteil des Paraffingatsches sein können! Geben Sie deren Formel an!

Hochdruckhydrierung nach Bergius

Bei der Verkokung und Schwelung der Kohlen wird nur ein Teil des Ausgangsmaterials in Kraftstoffe und andere hochwertige Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Eine erhebliche Menge Kohlenstoff fällt jedoch infolge Wasserstoffmangels in Form von Koks an. Der deutsche Chemiker Friedrich Bergius führte 1912 die Hitzespaltung von Kohle unter Wasserstoffzusatz durch, wobei die Koksbildung erheblich verringert wurde. Eine vollständige Umsetzung der Ausgangsstoffe zu Benzin wurde erst 1924 möglich, als Matthias Pier und andere deutsche Chemiker geeignete Katalysatoren (Wolfram- und Molybdänverbindungen) fanden. 1926 wurde in Leuna die erste Großanlage zur Hochdruckhydrierung von Braunkohlen gebaut, die 1927 das erste Benzin lieferte. Unter **Hydrierung** versteht man die Anlagerung von Wasserstoff. Man bezeichnet dieses Hydrierungsverfahren auch als Bergiusverfahren. Die Ausgangsstoffe für die Benzinherstellung durch Hochdruckhydrierung sind heute in erster Linie Braunkohlenteere und hochsiedende Erdölfraktionen. Kohlen und andere Stoffe werden kaum noch für die Druckhydrierung verwendet. Unsere Republik verfügt über Hochdruckhydrieranlagen in drei Großbetrieben der chemischen Industrie. Der VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen und der VEB Hydrierwerk Zeitz hydrieren Braunkohlenschwelteere, während in der Hydrieranlage des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" Erdöl verarbeitet wird.
Der für das Verfahren in großen Mengen benötigte Wasserstoff wird aus Wassergas hergestellt.

- *Schildern Sie den Verfahrensweg, nach welchem durch Konvertierung von Wassergas der für die Druckhydrierung benötigte Wasserstoff gewonnen wird!*

Bei der Hochdruckhydrierung werden Teere und Erdölprodukte durch Hitzespaltung und gleichzeitige Wasserstoffanlagerung in Benzin oder Dieselkraftstoff umgewandelt.

Das Verfahren soll am Beispiel der Hydrierung von Braunkohlenschwelteer erläutert werden. Die Hydrierung wird in zwei Stufen durchgeführt, der flüssigen Phase oder **Sumpfphase** und der **Gasphase.** Die Aufteilung in zwei Phasen ist notwendig, weil die Katalysatoren in der Sumpfphase durch Kontaktgifte bald unwirksam werden.
Der Schwelteer wird mit dem Katalysator und mit Schweröl, das in der Sumpfphase anfällt, vermengt. Pumpen befördern das Gemisch mit einem Druck von 200 bis 700 at durch Vorheizer

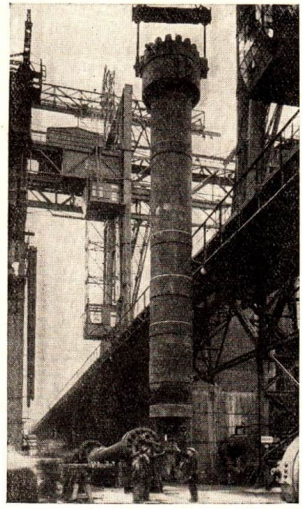


Abb. 26 Sumpfphasekontaktofen der Hydrieranlage im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

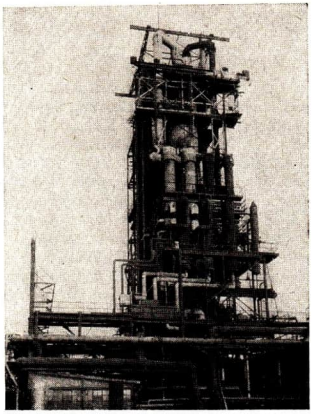


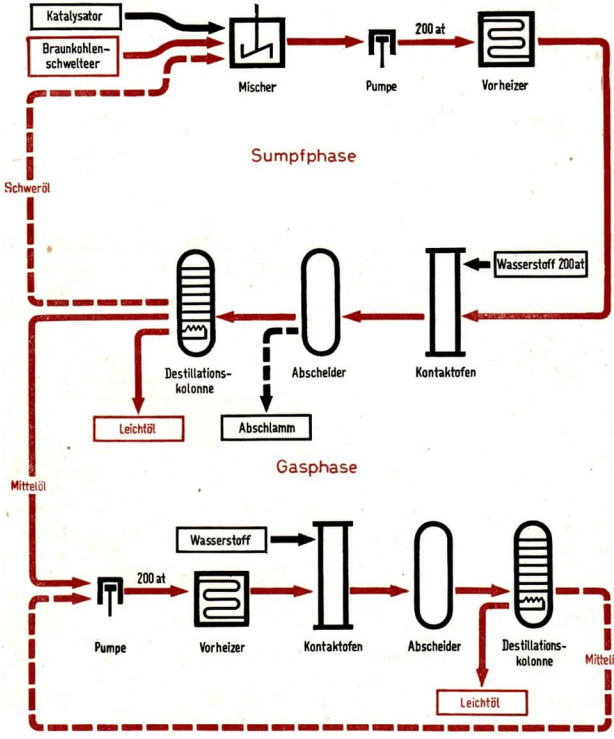
Abb. 27 Sumpfphasedestillationskolonne der Hydrieranlage im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

in den Reaktionsofen (Abb. 26). Gleichzeitig wird der zur Hydrierung benötigte Wasserstoff mittels Kompressoren zugeführt. In 12 bis 18 m hohen röhrenförmigen Reaktionsöfen von 1,5 m Durchmesser werden die eingebrachten organischen Verbindungen bei 410 bis 640 °C unter gleichzeitiger Wasserstoffanlagerung gespalten. In der Sumpfphase entstehen Schweröl, Mittelöl, Benzin und geringe Mengen gasförmiger Kohlenwasserstoffe.
In dem nachfolgenden Abscheider wird das Sumpfphasengemisch getrennt. Die unbrauchbar gewordenen Kontaktstoffe werden, mit Schweröl vermischt, als Abschlamm abgezogen. Die Dämpfe der Hydrierung werden durch Kondensation in flüssige und gasförmige Anteile getrennt. Durch Destillation zerlegt man die flüssigen Stoffe in Benzin, Mittelöl und Schweröl (Abb. 27). Das hier anfallende Schweröl wird zusammen mit dem aus Abschlamm zurückgewonnenen Öl in den Prozeß zurückgeführt. Das Mittelöl wird durch Erhitzen verdampft und mit weiterem Wasserstoff bei denselben Druck- und Temperaturbedingungen wie in der Sumpfphase in den Öfen der Gasphase in Benzin umgewandelt. Diese Öfen enthalten einen auf Siebböden ruhenden Kontaktstoff, der gegenüber Schwefel unempfindlich ist. Das Reaktionsprodukt wird anschließend durch Kühlung kondensiert und fraktioniert destilliert. Die hier anfallenden kleinen Mengen Mittelöl werden wieder in die Gasphase zurückgeführt. In Abbildung 28 ist die Hochdruckhydrierung schematisch dargestellt. Als Nebenprodukte fallen in beiden Phasen gasförmige Alkane (Methan, Äthan, Propan, Butan) an. Diese Gase werden zum großen Teil als „Ferngas" den Verbrauchern zugeführt. Ein weiterer Teil wird in Druckflaschen abgefüllt (Treibgas, Flüssiggas, Leunapropan) oder als Ausgangsstoff für die chemische Industrie, zum Beispiel zur Herstellung von Wasserstoff und Äthin, verwendet.
Je nach Bedarf kann man die Bedingungen der Druckhydrierung ändern und verschiedene Kraftstoffe oder Düsentreibstoff erzeugen. Manchmal wird den Hydrieranlagen auch Mittelöl entnommen, das als Dieselkraftstoff oder Heizöl verwendet wird. Alle durch die Druckhydrierung hergestellten Kraftstoffe und Heizöle sind den direkt aus Erdöl gewonnenen Produkten gleichwertig.

Die Hochdruckhydrierung wird bei etwa 500 °C unter einem Druck von mindestens 200 at durchgeführt. Der Prozeß verläuft in zwei Phasen, der Sumpfphase und der Gasphase. Neben Benzin und Dieselkraftstoff fallen auch gasförmige Kohlenwasserstoffe an.

Nennen Sie die Formeln der bei der Druckhydrierung anfallenden gasförmigen Alkane und geben Sie die Verwendungen dieser Verbindungen an!

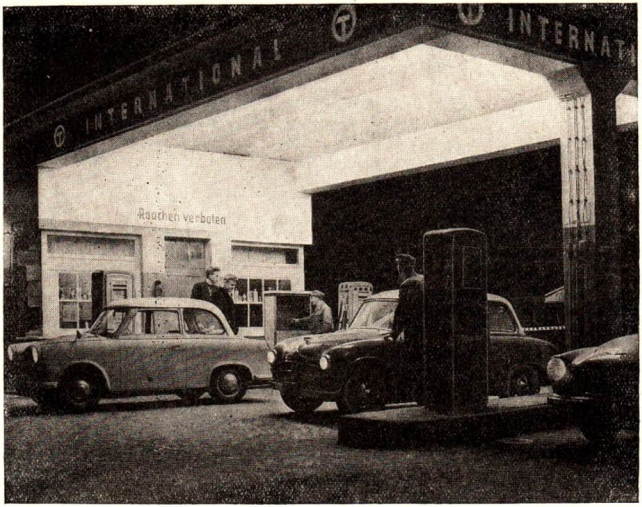
Abb. 28
Hochdruckhydrierung nach Bergius
Fließbild



Kraftstoffe

Als Kraftstoffe bezeichnet man alle brennbaren Stoffe, die zum Betrieb von Verbrennungsmotoren dienen. Sie gelangen mit Luft in den Zylinder des Motors. Das Gemisch wird im Zylinder gezündet und verbrennt. Die entstehenden Verbrennungsgase treiben den Kolben des Zylinders. Von der in den Kraftstoffen gespeicherten chemischen Energie kann im Verbrennungsmotor nur ein Teil in mechanische Arbeit umgesetzt werden. Bei einem Dieselmotor entfallen zum Beispiel 34% der Energie des Kraftstoffs auf Nutzarbeit, 21% auf Kühlwasser-Wärmeverlust, 35% auf Abgas-Wärmeverlust und 10% auf Verluste durch Reibung, Strahlung usw. Gegenüber Dampfkraftmaschinen ist jedoch der Anteil an Nutzarbeit verhältnismäßig groß, so daß Verbrennungsmotoren zu den wirtschaftlichsten Kraftmaschinen rechnen.
Durch die ständig steigende Anwendung von Verbrennungsmotoren, besonders im Verkehrswesen, hat in den letzten Jahrzehnten die Erzeugung von Kraftstoffen ganz besondere Bedeutung erlangt. Während im Jahre 1901 die Anzahl der Kraftfahrzeuge auf der Erde nur etwa 10000 betrug, gab es 1955 bereits rund 70 Millionen Personenkraftwagen und 22 Millionen Lastkraftwagen und Omnibusse. Dazu kommt noch die große Anzahl von Mopeds, Motorrollern, Motorrädern, Traktoren, Flugzeugen,

Abb. 29 Tankstelle des VEB Minol



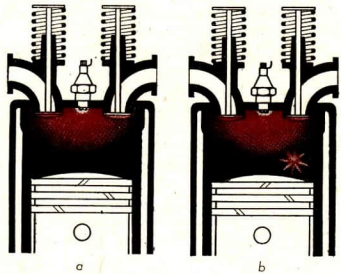


Abb. 30 Verbrennung des Kraftstoffs im Zylinder eines Ottomotors (schematische Darstellung) a) normale Verbrennung, b) klopfende Verbrennung

Motorschiffen, Dieselschienenfahrzeugen, Maschinen mit Verbrennungsmotor und stationären Anlagen. Die Verbrennungsmotoren werden unterschieden in **Ottomotoren** und **Dieselmotoren.** Ottomotoren dienen vor allem zum Antrieb von Personenkraftwagen, leichten Lastkraftwagen, Kleinomnibussen, Flugzeugen, Motorrädern, Motorrollern, Mopeds und leichten Maschinen. Schwere Lastkraftwagen und Omnibusse, Traktoren, Motorschiffe und Schienenfahrzeuge dagegen sind mit Dieselmotoren ausgerüstet.

Für die Verbrennungsmotoren werden vor allem flüssige Kraftstoffe, wie Vergaserkraftstoff (Benzin), Dieselkraftstoff (Dieselöl) und gelegentlich als Beimengungen Alkanole und Benzol verwendet. Aber auch gasförmige Kraftstoffe (z. B. Treibgas) haben Bedeutung. Ottomotoren lassen sich ohne größere Veränderungen auf Treibgasbetrieb umbauen. Sie können dann aber auch noch mit flüssigen Kraftstoffen betrieben werden.

Vergaserkraftstoff (Benzin) ist eine klare, wasserhelle, leicht brennbare, sehr feuergefährliche Flüssigkeit. Er ist aus Alkanen mit 5 bis 12 Kohlenstoffatomen, Alkenen und ringförmigen Kohlenwasserstoffen zusammengesetzt. Sein Siedebereich liegt zwischen 50 und 200 °C.

Wichtig für die Güte eines Vergaserkraftstoffes ist außer seinem Heizwert die **Klopffestigkeit.** Die Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches beim Ottomotor muß zum richtigen Zeitpunkt erfolgen und sich von der Zündkerze aus gleichmäßig über den ganzen Zylinderraum ausbreiten (Abb. 30 a). Bei Kraftstoffen mit geringer Klopffestigkeit entzünden sich durch die eintretende Druck- und Temperaturerhöhung einige Bestandteile vorzeitig und ungleichmäßig (Abb. 30 b). Dabei entsteht ein Stoß, der den Motor stark beansprucht. Man sagt, der Motor „klopft". Klopferscheinungen erkennt man am Motorengeräusch. Sie reichen vom leisen Klingeln bis zum harten Stampfen. Wertmaßstab für die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes ist seine **Oktanzahl.** Sie wird durch einen Prüfmotor ermittelt und ergibt sich durch Vergleich mit der Klopffestigkeit eines Isooktan-Heptan-Gemisches. Isooktan (2,2,4-Trimethylpentan)

$$CH_3 \cdot \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}} \cdot CH_2 \cdot \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{|}} \cdot CH_3$$

ist ein sehr klopffester Stoff.

Ein Kraftstoff mit der Oktanzahl 60 weist zum Beispiel dieselbe Klopffestigkeit auf wie ein Gemisch von 60% Isooktan und 40% Heptan.

Die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes hängt von seiner Zusammensetzung ab. Die Alkane mit unverzweigter Kette klopfen am stärksten. Mit zunehmender Kettenlänge steigt auch ihre Klopfneigung. Alkane mit verzweigten Ketten und Alkene klopfen dagegen weniger. Alkanole und Benzol verbrennen fast klopffrei. Die Klopffestigkeit der Kraftstoffe wird durch Zugabe von Alkanolen und anderen Stoffen wesentlich erhöht. Als das beste **Antiklopfmittel** hat sich eine organische Metallverbindung, das **Bleitetraäthyl $Pb(C_2H_5)_4$** erwiesen. Bleitetraäthyl ist außerordentlich giftig: Es kann sowohl beim Einatmen als auch durch die Haut vom menschlichen Körper aufgenommen werden. Daher muß beim Umgang mit „verbleiten" Benzinen sehr vorsichtig verfahren werden!

Vergaserkraftstoffe neigen je nach ihrer Zusammensetzung zum „Klopfen". Darunter versteht man ihre vorzeitige und unregelmäßige Entzündung im Motor. Die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes wird durch die Oktanzahl angegeben. Durch Zusatz von Antiklopfmitteln kann die Klopffestigkeit erhöht werden.

In unserer Republik werden an den Tankstellen des VEB Minol zwei Vergaserkraftstoffe angeboten:

VK normal mit der Oktanzahl 72 und
VK extra mit der Oktanzahl 78.

VK normal ist durch Farbstoffzusatz rot gefärbt. Er wird in großen Mengen in Leuna, Zeitz, Böhlen und Schwarzheide hergestellt. VK extra wird in Leuna hergestellt. Er ist gelb gefärbt. Die hohe Klopffestigkeit beider Vergaserkraftstoffe wird meist durch Zusatz geringer Mengen Bleitetraäthyl erreicht, wobei VK extra höher „verbleit" ist als VK normal. Wegen der Giftigkeit dürfen verbleite Benzine nicht zum Reinigen der Hände oder Kleidung, zum Abwaschen öliger Maschinenteile, für Lötlampen, Feuerzeuge usw. verwendet werden.

Vorsicht beim Umgang mit verbleiten Benzinen! Sie enthalten das stark giftige Antiklopfmittel Bleitetraäthyl $Pb(C_2H_5)_4$!

Dieselkraftstoff (Dieselöl) ist eine helle, brennbare Flüssigkeit. Er ist schwer entflammbar und daher weniger feuergefährlich. Dieselkraftstoff ist vor allem aus Kohlenwasserstoffen des Siedebereichs 190 bis 345 °C zusammengesetzt.

Für die Güte eines Dieselkraftstoffs ist seine **Zündwilligkeit** von Bedeutung. Darunter versteht man die Zeit, die zwischen dem Einspritzen in den Zylinder und der Entzündung liegt. Bei Kraftstoffen mit großer Zündwilligkeit ist diese Zeit sehr kurz. Als Maßstab für die Zündwilligkeit dient die **Zetanzahl**, die entsprechend der Oktanzahl bei Vergaserkraftstoffen durch Vergleich bestimmt wird. Ein Dieselkraftstoff, der ebenso schnell zündet wie reines Zetan (Hexadekan $C_{16}H_{34}$), hat die Zetanzahl 100. Die Zetanzahl der in der Deutschen Demokratischen Republik verwendeten Dieselkraftstoffe liegt zwischen 40 und 55.

Treibgase sind gasförmige Kraftstoffe für Ottomotoren. Überwiegend verwendet man Flüssiggase. Das in unserer Republik verwendete Treibgas besteht zu 55 bis 75% aus Butan. Den Rest bilden Propan, Äthan, Pentan und (in geringen Mengen) andere Bestandteile. Treibgas hat den Vorteil sehr hoher Klopffestigkeit.

Die Kohlenveredlungsindustrie unserer Republik

Unsere Republik verfügt über ausgedehnte Braunkohlenlagerstätten. Die Braunkohle ist daher unsere wichtigste Energiequelle und auch unser wichtigster Rohstoff für die chemische Industrie. Durch die planmäßige Entwicklung der Volkswirtschaft auf der Grundlage der Volkswirtschaftspläne konnte seit dem Bestehen unserer Republik die Förderung von Rohbraunkohle in gewaltigem Ausmaß gesteigert werden. Während im Jahre 1936 auf dem Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik 101 Millionen Tonnen Braunkohle gefördert wurden, betrug die Förderung 1962 bereits weit mehr als das Doppelte (Abb. 31). Unsere Republik steht in der Braunkohlenförderung an erster Stelle in der Welt. Heute entfallen rund 35% der Weltförderung auf die Deutsche Demokratische Republik. Unsere Perspektivplanung sieht einen weiteren Anstieg der Förderung um jährlich etwa 9 Millionen Tonnen vor.

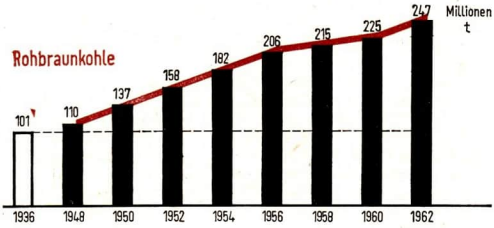


Abb. 31 Entwicklung der Braunkohlenförderung in der Deutschen Demokratischen Republik

● *Nennen Sie die Braunkohlenlagerstätten unserer Republik!*

Gleichzeitig mit dem Anstieg der Rohbraunkohlenförderung erhöhte sich auch die Braunkohlenbriketterzeugung. Sie betrug 1962 schon das Zweieinhalbfache der des Jahres 1936 (Abb. 32). In den nächsten Jahren wird auch die Briketterzeugung beträchtlich gesteigert werden.

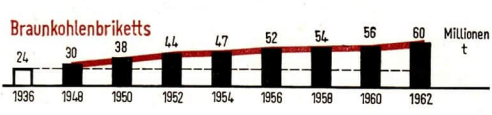


Abb. 32 Entwicklung der Braunkohlenbrikett-erzeugung in der Deutschen Demokratischen Republik

Die Hauptmenge der geförderten Braunkohlen wird als Heizstoff verwendet. Einen großen Teil nutzt man in den Kraftwerken unserer Republik zur Elektroenergieerzeugung aus. Dazu wird vor allem die Kohle verwendet, die wegen ihres hohen Aschegehaltes für die Veredlung durch chemische Verfahren nicht in Frage kommt. In der Deutschen Demokratischen Republik wurde in den vergangenen Jahren eine große Anzahl neuer Kohlenkraftwerke gebaut. Unsere bedeutendsten Großkraftwerke liegen in Nachterstedt, Harbke, Zschornewitz, Lauta, Hirschfelde, Vockerode, Vetschau, Trattendorf, Berzdorf, Großkayna und im Braunkohlenkombinat „Schwarze Pumpe". Darüber hinaus befinden sich in den meisten Werken der Kohlenveredlungsindustrie

größere Kraftwerke. Weitere Werke, wie das Kraftwerk Lübbenau, das zu den größten Kohlenkraftwerken Europas zählen wird, sind im Bau. Während im Jahre 1950 in unserer Republik 19466 Millionen kWh erzeugt wurden, betrug die Energieerzeugung 1962 schon 45063 Millionen kWh. Die Steigerung der Elektroenergieerzeugung ist eine wichtige Voraussetzung für die weitere Entwicklung unserer Volkswirtschaft.

● *Erläutern Sie am Beispiel bestimmter chemisch-technischer Verfahren deren Abhängigkeit von der Elektroenergieerzeugung!*

Von besonderer Bedeutung für die gesamte Industrie, für das Verkehrswesen und für den Export unserer Republik ist die Veredlung der Braunkohle durch chemisch-technische Verfahren, bei denen Koks, Heizgase, Kraftstoffe, Schmierstoffe, Heizöl, Paraffin, Teerpech und eine große Anzahl von wichtigen Grundchemikalien gewonnen werden. Aus diesem Grunde hat sich in den Braunkohlengebieten, besonders im Gebiet Halle–Leipzig, eine ausgedehnte Kohlenveredlungsindustrie entwickelt.

Die Braunkohlenveredlungswerke nehmen einen bedeutenden Platz in der chemischen Industrie unserer Republik ein. Mit Unterstützung der Sowjetunion gelang es unseren Arbeitern, Technikern, Ingenieuren und Chemikern in sehr kurzer Zeit, die im zweiten Weltkrieg größtenteils schwer zerstörten Werke wieder aufzubauen und in Betrieb zu nehmen. Im Rahmen unserer Volkswirtschaftspläne wurden die Anlagen noch wesentlich erweitert und modernisiert und weitere Werke völlig neu aufgebaut.

Im Jahre 1951 wurde mit dem Bau der ersten Braunkohlengroßkokerei der Welt in Lauchhammer begonnen. Der VEB Braunkohlenkombinat Lauchhammer, der heute über 24 Ofeneinheiten zur Erzeugung von BHT-Koks nach dem Verfahren von Bilkenroth-Rammler verfügt, ist der wichtigste Kokslieferant für die Roheisenerzeugung im Niederschachtofen und für die Karbidindustrie.

1956 wurde mit dem Bau eines gewaltigen Braunkohlenveredlungswerkes, des Kombinats „Schwarze Pumpe" bei Hoyerswerda, begonnen. Der Aufbau dieses Kombinats ist ein Schwerpunkt der industriellen Entwicklung unserer Republik. Es wird Brikettfabriken, Braunkohlenkokereien, Druckvergasungsanlagen und Kraftwerke erhalten. Große Teile des Werkes wurden bereits in Betrieb genommen.

Ein weiteres bedeutendes Braunkohlenveredlungswerk ist der VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen. Die wichtigsten Anlagen dieses Werkes sind eine Spülgasschwelanlage, eine Hydrieranlage und eine Druckvergasungsanlage. Im VEB Kombinat Espenhain wird Braunkohle nach dem Spülgasverfahren verschwelt. Auch der VEB Kombinat Gölzau verfügt über eine Schwelanlage. Im VEB Hydrierwerk Zeitz wird Braunkohlenteer nach dem Hochdruckverfahren hydriert. Der VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" verfügt über Vergasungsanlagen und eine bedeutende Hydrieranlage.

Von großer Bedeutung für unsere Wirtschaft ist auch die Fischer-Tropsch-Syntheseanlage im VEB Synthesewerk Schwarzheide. Dieser Betrieb ist der größte seiner Art in Europa.

Weitere wichtige Veredlungswerke sind der VEB Teerverarbeitungswerk Rositz, der VEB Paraffinwerk „Vorwärts" Webau und der VEB Teerdestillation und chemische Fabrik Erkner.

In Abbildung 33 sind die wichtigsten Kohlenveredlungswerke unserer Republik zusammengestellt. Unsere Kohlenveredlungsindustrie wird in den nächsten Jahren ihre Produktion noch erheblich erhöhen und somit dazu beitragen, die Versorgung der Industrie und der Bevölkerung mit wichtigen Produkten weiter zu verbessern.

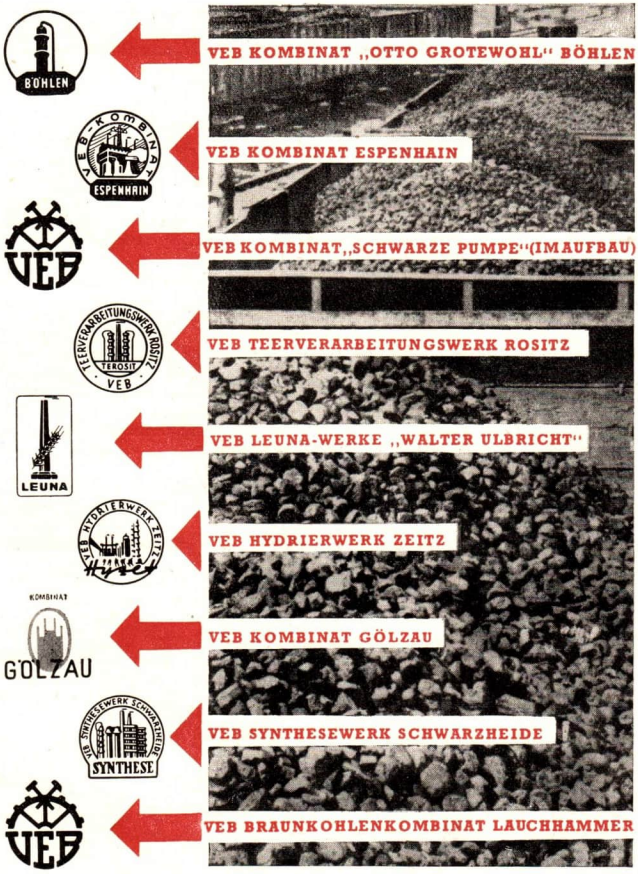


Abb. 33 Wichtige Werke der Kohlenveredlungsindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

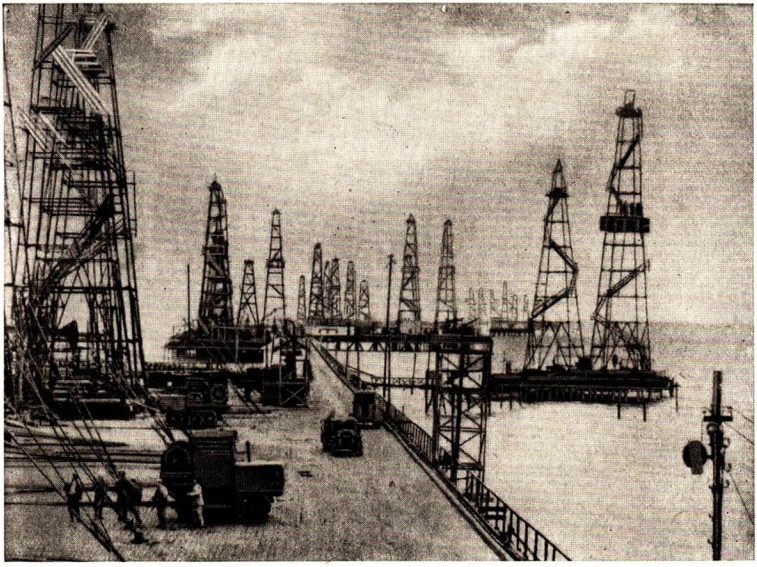
Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Welche Nachteile treten bei der Verbrennung von Kohlen gegenüber anderen Brennstoffen auf?
2. Was verstehen Sie unter „Veredlung der Kohlen"?
3. Geben Sie einen Überblick über die Verfahren der Kohlenveredlung!
4. Welche Bedeutung hat die Kohlenveredlung?
5. Erläutern Sie die Entgasung der Steinkohlen in Kokerei und Gaswerk!
6. Welche Bedeutung hat die Verkokung von Braunkohlen, wie sie in Lauchhammer durchgeführt wird?
7. Vergleichen Sie Vergasung und Entgasung von Kohle!
8. Sprechen Sie über die volkswirtschaftliche Bedeutung der Kohle!
9. Erläutern Sie Durchführung und Bedeutung der Druckvergasung von Braunkohle!
10. Erläutern Sie die Schwelung der Braunkohle nach dem Lurgi-Spülgasverfahren!
11. Welche Produkte liefert die Schwelung der Braunkohle?
12. Vergleichen Sie die Hochtemperaturentgasung (Kokerei) mit der Verschwelung in bezug auf Ausgangsstoffe, Temperaturen und Endprodukte!
13. Welche Rohstoffe werden für die Druckhydrierung verwendet?
14. Erläutern Sie die Durchführung der Druckhydrierung!
15. Zu welchen Zwecken wird die Entschwefelung von Industriegasen durchgeführt?
16. Erläutern Sie die Synthese nach FISCHER-TROPSCH, beginnend mit dem Vergasungsprozeß!
17. Vergleichen Sie die Synthese nach FISCHER-TROPSCH mit der Synthese nach FISCHER-PICHLER!
18. Fertigen Sie über die verschiedenen Verfahren der Kohlenveredlung eine Übersichtstabelle an, die folgende Spalten enthält: Verfahren, Ausgangsstoffe, Hauptprodukte Nebenprodukte, Reaktionsbedingungen (Temperatur, Druck, Katalysator)!
19. Was versteht man unter einem Kraftstoff?
20. Nennen Sie die wichtigsten Kraftstoffe und ihre Zusammensetzung!
21. Was versteht man unter der Klopffestigkeit der Vergaserkraftstoffe?
22. Was versteht man unter „verbleiten" Benzinen?
23. Nennen Sie einige Kohlenveredlungswerke unserer Republik und geben Sie die Produkte dieser Werke an!

4. KAPITEL

Technische Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus Erdöl und Erdgas

Erdöl ist ein wichtiger Ausgangsstoff für die Erzeugung technischer Kohlenwasserstoffe. Zum Beispiel werden Kraftstoffe, Heizöle, Schmierstoffe, Lösungsmittel, Asphalt usw. daraus hergestellt. Auf Produkten aus Erdöl baut sich ferner ein ganzer Zweig der chemischen Industrie, die Petrolchemie, auf. In den nächsten Jahren wird die Versorgung unserer chemischen Industrie mit Erdöl durch die neuerbaute Erdölleitung „Freundschaft" aus der Sowjetunion in die Deutsche Demokratische Republik wesentlich verbessert werden. In der Sowjetunion steigt die Erdölförderung durch Erschließung zahlreicher neuer Vorkommen ständig an. Sogar vom Grunde des Kaspischen Meeres erheben sich Bohrtürme. Durch die Entwicklung der Petrolchemie wird sich unsere Produktion von Plasten, synthetischem Kautschuk, Chemiefasern, Waschmitteln und anderen Erzeugnissen beträchtlich erhöhen.



Erdöl

1. Zusammensetzung. Erdöl ist eine charakteristisch riechende hellbraune bis schwarzbraune Masse, die je nach Zusammensetzung dünnflüssig bis zähflüssig ist. Erdöl besteht aus einem Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe. Meist sind Alkane die Hauptbestandteile, daneben treten in bestimmten Erdölen große Mengen ringförmiger gesättigter Kohlenwasserstoffe mit der allgemeinen Formel C_nH_{2n}, die **Naphthene,** auf. In geringen Mengen sind im Erdöl auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe sowie organische Sauerstoff-, Stickstoff- und Schwefelverbindungen enthalten. Da die Anzahl der im Erdöl vorhandenen Verbindungen sehr groß ist und die Mischungsverhältnisse außerordentlich verschieden sind, gleicht kaum ein Rohöl dem anderen. Selbst am gleichen Fundort kann die Zusammensetzung stark schwanken.

Erdöl besteht hauptsächlich aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen.

2. Entstehung. Nach den Forschungen der deutschen Geologen KARL ENGLER und HANS VON HÖFER ist das Erdöl aus Faulschlamm oder anderen organischen Stoffen entstanden. Die chemischen Vorgänge der Erdölbildung sind noch nicht restlos geklärt. Die Ausgangssubstanzen waren vor allem Fette, Öle, Eiweiße und andere Stoffe aus tierischen und pflanzlichen Organismen. Durch Anhäufung abgestorbener Kleinlebewesen am Grunde stehender Gewässer (Stillwasserbuchten, Lagunen usw.) bildete sich in der erdgeschichtlichen Vergangenheit Faulschlamm, der durch Bakterien sowie unter dem Einfluß hoher Temperaturen und Drücke in Kohlenwasserstoffe und andere Verbindungen umgewandelt wurde. Man faßt die auf diese Weise entstandenen Verbindungen unter der Bezeichnung **Bitumen** zusammen.
Wir können für die Erdölbildung folgende Stufen annehmen:



Erdöl ist aus Pflanzen- und Tierresten durch Einwirkung von Bakterien, hohen Temperaturen und hohen Drücken entstanden.

3. Vorkommen. Erdöl kommt in der Natur in riesigen Lagerstätten vor. Es tritt jedoch nicht in Adern oder großen unterirdischen Hohlräumen auf, sondern ist schwammartig von den Gesteinsschichten aufgesaugt. Die wichtigsten Erdölvorkommen auf der Erde umfassen zwei ausgedehnte Gebiete. Das eine, das die weitaus größten Lagerstätten umfaßt, liegt auf der östlichen Halbkugel und erstreckt sich vom Persischen Golf mit seinen südlichen Randstaaten über das Kaspische Meer bis in das westliche Vorland des Urals. Das andere liegt auf der westlichen Halbkugel und zieht sich von den USA über den Golf von Mexiko, der das Zentrum bildet, ein mächtiges Stück in die südamerikanischen Festlandsmassen hinein. Die bedeutendsten Lagerstätten liegen in der Sowjetunion, in den USA, Venezuela, Saudi-Arabien, Ku-

weit, Irak, Iran, Kanada, Mexiko, in der Rumänischen Volksrepublik und in Indonesien. In der letzten Zeit wurden auch in der Volksrepublik China und in Algerien ausgedehnte Erdölvorkommen entdeckt.

4. Erkundung. Bevor in einem Gebiet mit Bohrungen begonnen wird, erkunden Geophysiker, Geologen und Bohrfachleute in gemeinsamer Arbeit den strukturellen und gesteinsmäßigen Aufbau der Schichten, in denen Erdöl vermutet wird. Hierzu benutzt man verschiedene geophysikalische Meßmethoden, für die äußerst empfindliche Apparate entwickelt wurden. Bei diesen Erkundungen spielen die **seismischen**[1] **Verfahren** die Hauptrolle. Man erzeugt hierbei durch Explosionen Erschütterungswellen, die sich in den verschiedenen Erdschichten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fortpflanzen und auf Grund der Schichtenstruktur verschieden reflektiert werden. Diese Wellen werden durch Apparate aufgezeichnet. Die Auswertung dieser seismischen Aufzeichnungen ermöglicht Schlüsse über Bau, Tiefe und Neigung bestimmter Erdschichten. Der direkte Nachweis von Erdöllagerstätten ist mit den seismischen Methoden nicht zu erbringen, er kann anschließend nur durch Probebohrungen geführt werden. Durch die Anwendung geophysikalischer Methoden lassen sich aber die Ansatzpunkte für Probebohrungen recht gut bestimmen, so daß häufige Fehlbohrungen vermieden werden können.

5. Erbohrung und Förderung. Ist in einem Gebiet die mögliche Lage von Erdöl ermittelt worden, dann wird mit den Bohrungen begonnen. 20 bis 45 m hohe **Bohrtürme** (Abb. 34) tragen die Bohrausrüstungen. Anfänglich waren nur primitive Bohrverfahren bekannt. Um 1900 wurde in den USA das **Drehbohrverfahren** entwickelt. Bei diesem Verfahren arbeiten sich rotierende Stahlrohre mit einer Bohrvorrichtung am unteren Ende in den Boden ein. Der anfallende Bohrschutt wird durch Druckwasser aus den Stahlrohren herausgespült.

Einen bedeutenden Fortschritt stellt das in der Sowjetunion entwickelte **Turbinenbohrverfahren** dar. Bei diesem treibt eine Wasserturbine, die sich am unteren Ende des feststehenden Rohrgestänges befindet, den Bohrer an. Das Druckwasser wird der Turbine durch das Rohrgestänge zugeführt und strömt nach Verlassen der Antriebsvorrichtung

[1] seismos (griech.) = Erdbeben

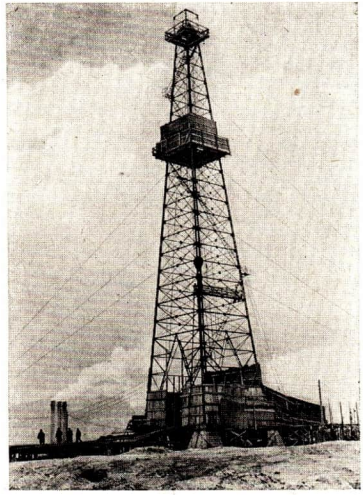


Abb. 34 Bohrturm auf einem Erdölfeld der Aserbaidshanischen SSR

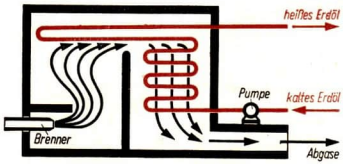


Abb. 35 Schematische Darstellung eines Röhrenofens

außerhalb der Rohre nach oben. Dabei wird gleichzeitig der Bohrschutt entfernt. Früher wurden wegen der hohen Kosten selten Bohrungen über 1500 m Tiefe ausgeführt. Durch die Modernisierung des Tiefbohrwesens ist es heute möglich, Tiefen bis zu 7000 m zu erreichen.

Ist ein Erdöllager angebohrt, so genügt oft der herrschende Lagerstättendruck, um das Öl ausfließen zu lassen. Zuweilen steht das Lager unter einem hohen Gasdruck, der mehrere hundert Atmosphären betragen kann. In diesen Fällen wird das Öl beim Anbohren des Lagers in einem mächtigen Strahl als **„Ölspringer"** herausgedrückt. Wenn der innere Druck fehlt, muß das Öl durch Pumpen gefördert werden.

Die Gewinnung des Erdöls erfolgt durch Anbohren der Lager. Man wendet zu diesem Zweck das Drehbohr- oder das Turbinenbohrverfahren an.

6. Aufarbeitung durch Destillation. Das geförderte Erdöl ist häufig durch Sand und Salzwasser verunreinigt. Diese Verunreinigungen würden den Verarbeitungsprozeß stören und müssen daher abgetrennt werden. Das geschieht meist durch Absetzen auf Grund der unterschiedlichen Dichte von Öl und Verunreinigungen. Die im Erdöl gelösten gasförmigen Alkane (Methan, Äthan, Propan, Butan) sind leicht flüchtig. Sie werden zur Vermeidung von Gasverlusten meist unmittelbar auf dem Bohrfeld abgetrennt. Man verwendet diese Gase entweder zur Energieversorgung für den Bohrbetrieb oder als Ausgangsstoffe für die chemische Industrie. Die einzelnen Bestandteile des so vorgereinigten Rohöls unterscheiden sich physikalisch vor allem durch ihre Siedepunkte. Man zerlegt daher das Erdöl durch **Destillation** in seine Bestandteile, indem die Destillate bestimmter Temperaturbereiche getrennt kondensiert und aufgefangen werden. Gegenwärtig wird meist die Röhrendestillation angewandt.

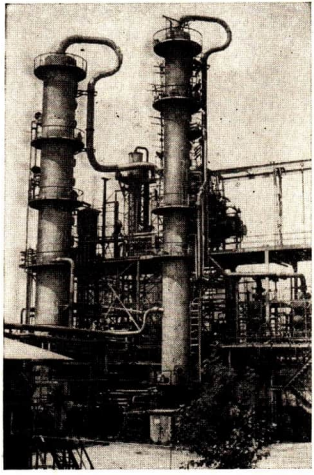


Abb. 36 Fraktioniertürme im VEB Mineralölwerk Lützkendorf

Das Erdöl durchfließt dabei in einem **Röhrenofen** ein System von Stahlrohren, die durch Flammengase stark erhitzt werden (Abb. 35). Das erhitzte und zum Teil verdampfte Erdöl wird in einen Fraktionierturm geleitet.

Der **Fraktionierturm**[1] (Abb. 36) ist ein senkrecht stehendes zylindrisches Rohr, dessen Inneres durch zahlreiche waagerechte Böden, meist **Glockenböden,** unterteilt ist. Die aufsteigenden verdampften Anteile des Erdöls durchströmen den nach unten fließenden Rückfluß, der durch Kondensation der Dämpfe entsteht (Abb. 37). Bei jeder Berührung von Dampf mit dem Rückfluß werden aus diesem die leichtsiedenden Anteile verdampft, während aus dem sich dabei abkühlenden Dampf die schwersiedenden Bestandteile durch Verflüssigung (Kondensation) abgetrennt werden. Jeder Zwischenboden enthält eine bestimmte **Fraktion.** Die leichter flüchtigen Anteile (niedriger Siedepunkt) sammeln sich am oberen und die schwerflüchtigen (hoher Siedepunkt) am unteren Ende des Fraktionierturmes. Jede Fraktion wird in besondere Behälter abgezogen.

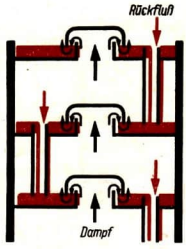


Abb. 37 Schematische Darstellung der Glockenböden eines Fraktionierturmes

Der Rückstand der ersten Destillation wird nochmals erhitzt und unter möglichst hohem Vakuum in einem zweiten Fraktionierturm weiter zerlegt. Da der Siedepunkt eines Stoffes um so tiefer liegt, je niedriger der Druck ist, bedeutet die Vakuumdestillation die einzige Möglichkeit, die temperaturempfindlichen Verbindungen der hochsiedenden Anteile ohne chemische Zersetzung durch Destillation zu trennen.

● *Führen Sie die Trennung eines Kohlenwasserstoffgemisches in Fraktionen bestimmter Siedebereiche mittels Destillation nach Versuch S 13 durch!*

▶ **Das rohe Erdöl wird nach Abtrennung von Sand und Wasser durch Destillation in Fraktionen bestimmter Siedebereiche zerlegt.**

7. Destillationsprodukte des Erdöls. Niedrigsiedende Destillate des Erdöls werden als leichte Fraktionen, hochsiedende als schwere Fraktionen bezeichnet, da mit steigendem Siedepunkt auch die Dichte steigt. Durch die erste Destillation wird das Erdöl in folgende Fraktionen zerlegt:

Rohbenzin	(Siedebereich 40 bis 180 °C)
Rohpetroleum	(Siedebereich 150 bis 300 °C)
Schweröl und Rückstand	(Siedebereich über 300 °C)

Die Rohdestillate werden weiter zerlegt und gereinigt. Man erhält auf diese Weise Stoffgemische enger Siedebereiche mit bestimmten Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten:

Petroläther (Siedebereich 40 bis 70 °C) wird als Lösungsmittel für Fette, Harze und Kautschuk verwendet.

Leichtbenzin (Siedebereich 60 bis 110 °C) dient als Lösungsmittel (in der chemischen Reinigung und zur Fettgewinnung), als Vergaserkraftstoff und als Brennstoff (z. B. in der Benzinlötlampe).

Schwerbenzin (Siedebereich 100 bis 180 °C) wird als Vergaserkraftstoff und als Lösungsmittel (z. B. zur Lackherstellung) verwendet.

[1] fractum (lat.) = unterbrochen

24

Wir nähern die Flamme eines brennenden Holzspans langsam einer Schale, in der sich etwas Benzin befindet.
Was beobachten Sie?
Wir gießen vorsichtig Wasser auf die Flamme.
Was beobachten Sie?

- *Untersuchen Sie das Verhalten von Benzin gegen Wasser und Fett nach Versuch S 14 und S 15!*
  Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden zur vollständigen Verbrennung von 570 g Oktan benötigt?
  Entfernen Sie einen Fettfleck aus Papier mit Hilfe von Leichtbenzin oder Petroläther nach Versuch S 16!

Benzin ist mit Wasser nicht mischbar und hat eine geringere Dichte als Wasser. Es bildet bei Raumtemperatur leicht entzündliche Dämpfe.

Vorsicht beim Arbeiten mit Benzin! Benzin ist feuergefährlich!

Leere Benzinbehälter (Fässer, Kanister oder Flaschen) enthalten oft Benzindämpfe, die mit Luft explosible Gemische bilden. Benzinbehälter sind daher nie, auch wenn sie leer sind, in der Nähe von Flammen zu öffnen!
Petroleum (Siedebereich 150 bis 300 °C) wird als Raketentreibstoff und Kraftstoff verwendet. Ferner dient es als Brennstoff für Petroleumöfen.
Bei Petroleum darf der Flammpunkt, das heißt die niedrigste Temperatur, bei der sich die Entwicklung von brennbaren Dämpfen durch deren Entzündung an einer genäherten Flamme nachweisen läßt, nicht unter 21 °C liegen, sonst würden sich bei Raumtemperatur explosible Gas-Luft-Gemische bilden.

- *Führen Sie die Flammpunktbestimmungen von Petroleum und anderen Kohlenwasserstoffgemischen nach Versuch S 17 durch!*

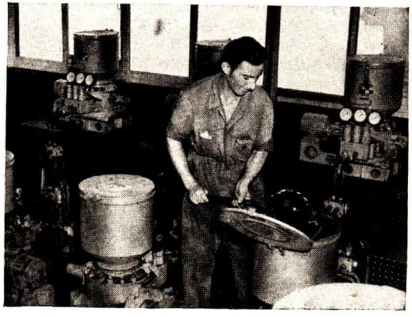


Abb. 38 Bedienungsraum der Hochdruckschmieranlage eines Eimerkettenbaggers

Gasöl (Siedebereich 300 bis 350 °C) dient als Kraftstoff für Dieselmotoren (Dieselöl) und als Heizöl für Ölfeuerungen.
Die in der Vakuumdestillation anfallenden höhersiedenden Fraktionen werden vorwiegend zu Schmierölen verarbeitet. Je nach der

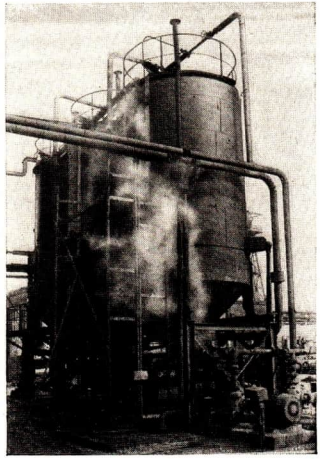


Abb. 39 Anlage zur Erdölraffination mit Schwefelsäure im VEB Mineralölwerk Lützkendorf

Zähigkeit unterscheidet man die dünnflüssigen **Spindelöle** (z. B. Nähmaschinenöle), die dickflüssigeren **Maschinenöle** und die bei Raumtemperatur sehr zähflüssigen **Zylinderöle.** Für im Freien befindliche Schmierstellen (Eisenbahn, Kraftfahrzeuge), die jahreszeitlich bedingten starken Temperaturänderungen ausgesetzt sind, müssen im Winter und Sommer verschiedene Schmieröle verwendet werden.

- *Prüfen Sie das Verhalten von Schmierstoffen gegen Benzin und Wasser nach Versuch S 18!*
  Untersuchen Sie die Viskositätsänderungen bei Schmierölen durch Temperaturerhöhung nach Versuch S 19!

Weitere Erdölprodukte sind **Paraffin** und **Vaseline.** Vaseline ist ein halbfestes Gemisch aus festen und flüssigen Kohlenwasserstoffen, das in der Technik als salbenartiges Schmiermittel, **Staufferfett** genannt, verwendet wird. Staufferfett muß mittels Schmierbüchsen in die Maschinenlager gepreßt werden (Abb. 38). Gereinigte Vaseline dient in der Arzneimittelindustrie als Salbengrundlage.

- *Welche Verbindungen sind im Paraffin enthalten?*
  Nennen Sie Eigenschaften und Verwendungszwecke von Paraffin!

Als Rückstand der Erdöldestillation verbleibt eine schwarze, bei Raumtemperatur feste Masse, die als künstlicher **Asphalt** beim Straßenbau verwendet wird.

- **Durch die Destillation von Erdöl erhält man Petroläther, Leichtbenzin, Schwerbenzin, Petroleum, Gasöl (Dieselöl) und Schmierstoffe.**

7. Nachbehandlungsverfahren. Die bei der Destillation von Erdöl anfallenden Rohfraktionen enthalten eine Reihe von Verbindungen, die bei der Weiterverwendung der Destillate als Kraftstoffe und Schmierstoffe sehr stören würden und deshalb durch verschiedene Nachbehandlungen entfernt werden.
Das wichtigste Nachbehandlungsmittel ist **Schwefelsäure,** die je nach der zu reinigenden Fraktion als 85%ige bis 98%ige Säure angewendet wird. Durch Einwirkung der Schwefelsäure werden die störenden Beimengungen in lösliche Verbindungen umgewandelt, die dann in die Waschsäure übergehen (Abb. 39). Am Ende des Reinigungsprozesses setzt sich die Schwefelsäure mit den Verunreinigungen als spezifisch schwerere Schicht im unteren Teil des Reaktionsgefäßes ab und wird dann abgezogen.

Die gereinigte Erdölfraktion, die noch Säurereste enthält, wird gewaschen, neutralisiert und nochmals gewaschen.
Erdölfraktionen aus naphthenreichen Rohölen enthalten häufig noch bestimmte organische Säuren. In diesem Fall behandelt man die Destillate mit **Natronlauge,** wodurch die störenden Säuren als Salze gebunden und auf diese Weise aus den Destillationsprodukten entfernt werden.

Durch Nachbehandlung mit Schwefelsäure beziehungsweise Natronlauge werden aus Erdöldestillaten störende Verbindungen entfernt.

9. Krackverfahren. Bei der Destillation von Erdöl erhält man meist nur 10 bis 15% Benzine. Dagegen fallen höhersiedende Kohlenwasserstoffe in solchen Mengen an, daß man sie nicht ohne weiteres verwerten kann. Erhitzt man diese langkettigen Kohlenwasserstoffe auf hohe Temperaturen, so werden deren Moleküle „aufgesprengt" und zerfallen in kleinere Bruchstücke. Der Prozeß, der in der Technik bei 400 bis 600 °C und unter einem Druck von 5 bis 80 at durchgeführt wird, heißt **Krackvorgang.**
Auf Seite 37 wurden bereits einige grundsätzliche Reaktionen des Krackvorganges erläutert.

- *Welche Ursache hat die Bildung von ungesättigten Kohlenwasserstoffen (Alkenen) beim Kracken von Alkangemischen?*
  Stellen Sie eine Reaktionsgleichung für das Kracken von Oktadekan auf!

Bei der Erläuterung des Krackvorganges wurde gezeigt, daß als Spaltprodukte auch Kohlenwasserstoffe mit 7 bis 8 Kohlenstoffatomen auftreten. Da Kohlenwasserstoffe dieser Kettenlängen wichtige Bestandteile der Benzine sind, wird durch das Kracken die Benzinausbeute bei der Aufarbeitung des Erdöls stark erhöht.
Beim Krackvorgang treten auch unerwünschte Spaltungen auf. So können sich zum Beispiel Kohlenstoff, sogenannter **Petrolkoks,** und Methan bilden:

$$\underset{\text{Heptadekan}}{C_{17}H_{36}} \rightarrow \underset{\text{Methan}}{CH_4} + \underset{\substack{\text{Oktan}\\ \text{Bestandteile}\\ \text{von Benzin}}}{C_8H_{18}} + \underset{\substack{\text{Hepten}\\ \text{Bestandteile}\\ \text{von Benzin}}}{C_7H_{14}} + \underset{\text{Petrolkoks}}{C}$$

- *Berechnen Sie nach obiger Reaktionsgleichung den Verlust, der durch die Bildung von Methan und von Kohlenstoff (Petrolkoks) auftritt.*

Der Krackprozeß wird durch bestimmte Katalysatoren günstig beeinflußt. Bei der katalytischen Krackung bilden sich weniger Kohlenstoff und auch weniger niedrigmolekulare (gasförmige) Kohlenwasserstoffe, wodurch die Ausbeute an Benzinen steigt. Durch die chemische Zerlegung der großen Kohlenwasserstoffmoleküle in kleinere wird die Benzinausbeute des Erdöls bis auf etwa 50% gesteigert. Abbildung 40 zeigt eine moderne Krackanlage.

Beim Krackverfahren werden hochsiedende Kohlenwasserstoffe durch Anwendung von Druck, hohen Temperaturen und Katalysatoren in kleinere Moleküle zerlegt.

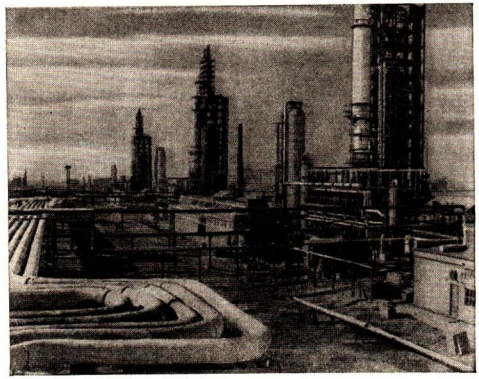


Abb. 40 Krackanlage des Erdölverarbeitungswerkes Nowokuibyschewsk (Sowjetunion)

10. Katalytisches Reformieren. Das bei der Destillation von Erdöl gewonnene Benzin ist meist nicht klopffest. Durch geeignete Reaktionen kann man jedoch die Alkane des Benzins dehydrieren (aus ihnen Wasserstoff abspalten), wodurch sich Alkene bilden. Man kann ferner aus unverzweigten Alkanen stark verzweigte Isoverbindungen und ringförmige Kohlenwasserstoffe herstellen.
Da mit dem Gehalt an Alkenen, verzweigten Alkanen und bestimmten ringförmigen Kohlenwasserstoffen die Oktanzahl eines Benzins ansteigt, bedeuten die genannten Umwandlungen, die man als **Reformieren** bezeichnet, eine Erhöhung der Klopffestigkeit bei Kraftstoffen.

● *Untersuchen Sie technische Kohlenwasserstoffgemische auf ungesättigte Verbindungen nach Versuch S 20!*

Die Anlagen zur Durchführung der Reformierungsverfahren gleichen im wesentlichen den Krackanlagen. Beim thermischen Reformieren arbeitet man bei Temperaturen bis 600 °C und unter Drücken bis 50 at. Bei den neueren Reformierungsverfahren wendet man jedoch Katalysatoren (meist Platin) an und arbeitet in einer Wasserstoffatmosphäre unter Drücken von 35 bis 55 at und bei 450 bis 480 °C.
Die Reformierungsverfahren haben in den letzten Jahrzehnten große Bedeutung erlangt. Mit ihrer Hilfe verbessert man nicht nur die Klopffestigkeit von Kraftstoffen, sondern man erzeugt durch das Reformieren auch in zunehmendem Maße Ausgangsstoffe für viele chemisch-technische Verfahren.

▶ **Beim Reformieren werden Alkene, verzweigte Alkane und bestimmte ringförmige Verbindungen gebildet. Dadurch wird die Klopffestigkeit der Vergaserkraftstoffe erhöht. Außerdem werden wichtige Ausgangsstoffe für chemisch-technische Verfahren erzeugt.**

11. Erdöl als Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Die bisher erwähnten Produkte der Erdölverarbeitung sind vor allem Lösungsmittel, Kraftstoffe und Schmierstoffe. In steigendem Maße dient jedoch heute das Erdöl auch als Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Bei der Aufarbeitung des Erdöls und vor allem beim Krackverfah-

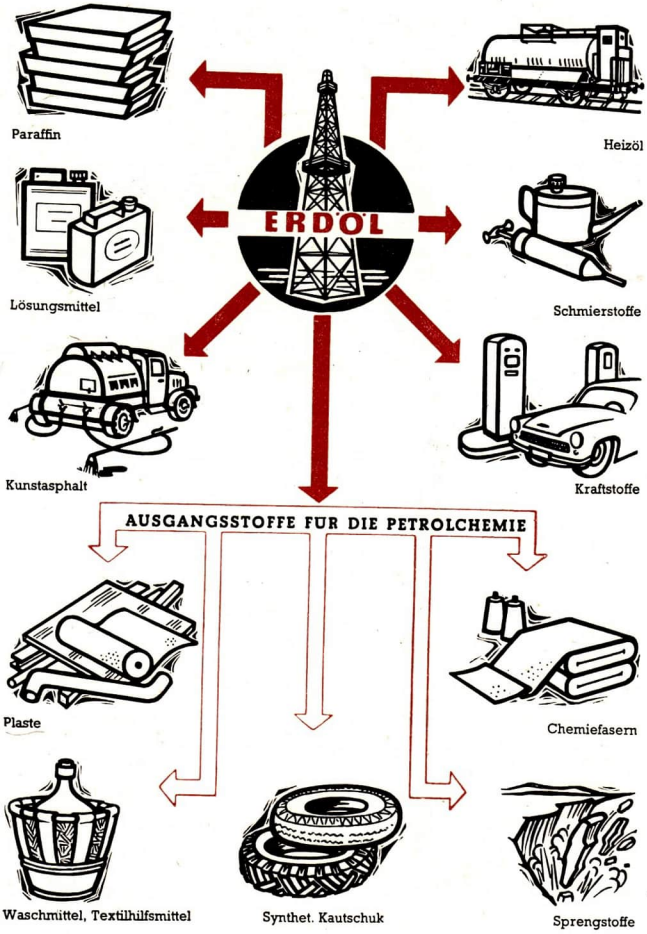


Abb. 41 Verwendung von Erdöl

ren fallen in beträchtlichen Mengen niedrigmolekulare (meist ungesättigte) Kohlenwasserstoffe und ringförmige Verbindungen an. Solche Stoffe stellten anfangs schlecht verwendbare Nebenprodukte dar. Heute baut sich dagegen auf diesen Produkten ein ganzer Zweig der chemischen Industrie, die **Petrolchemie,** auf. Die Erzeugung niedrigmolekularer Kohlenwasserstoffe aus Erdöl hat daher große Bedeutung erlangt. Neuerdings wurden spezielle Krackverfahren entwickelt, durch die diese Kohlenwasserstoffe in größeren Mengen hergestellt werden können.

Die wichtigsten Ausgangsstoffe für die Petrolchemie sind wegen ihres großen Reaktionsvermögens die Alkene, besonders Äthen, Propen und Buten. Aus dem Erdöl gewonnene Alkene werden in großen Mengen zur Herstellung von Plasten, Chemiefasern, synthetischem Kautschuk, Reinigungsmitteln, Lösungsmitteln, Gefrierschutzmitteln, Sprengstoffen, Isolierstoffen und vielen chemischen Zwischenprodukten verwendet.

Außer Alkenen lassen sich aus Erdöl zahlreiche andere Verbindungen herstellen, die für die chemische Industrie von Bedeutung sind, so zum Beispiel ringförmige Kohlenwasserstoffe wie Benzol und seine Derivate.

Die Entwicklung der Petrolchemie ist eine wichtige Aufgabe im Rahmen des Chemieprogramms unserer Republik. Durch die Petrolchemie wird unsere chemische Industrie einen gewaltigen Aufschwung erfahren.

Abbildung 41 zeigt die vielseitige Verwendung des Erdöls.

Erdöl ist Ausgangsstoff für einen wichtigen Zweig der chemischen Industrie, die Petrolchemie.

Erdgas

An verschiedenen Stellen der Erde entströmen dem Boden brennbare Gase, die man als **Erdgas** bezeichnet.[1] Diese Gase bestehen vor allem aus Methan (bis zu 95%), daneben treten noch andere Kohlenwasserstoffe (Äthan, Propan, Butan) auf. Als nicht brennbare Gase sind im Erdgas Kohlendioxid und Stickstoff enthalten, deren Anteile 50% und mehr betragen können.

Erdgas hat sich ähnlich wie das Erdöl durch Zersetzung pflanzlicher und tierischer Organismen gebildet. Bohrt man Erdgaslagerstätten an, so strömt das Gas unter hohem Druck (100 at und mehr) aus den Sonden. Man kann es daher direkt mit seinem natürlichen Druck, der meist auf etwa 60 at reduziert wird, in Ferngasleitungen den Verbrauchern zuführen. Die größten Ferngasleitungen haben eine Länge von über 3000 km.

In den Gebieten mit ausreichenden Erdgasquellen (Sowjetunion, USA, Italien, Rumänien) ersetzt man vielfach Kohle und Heizöl durch Erdgas als Brennstoff. Auch unsere Republik verfügt über Vorkommen an Erdgas, die jedoch bisher nur wenig erschlossen wurden. Aus dem Erdgasvorkommen bei Mühlhausen wird bereits Erdgas gewonnen und über Ferngasleitungen nach Eisenach, Mühlhausen und anderen Städten geleitet. Es dient als Zusatz zum Steinkohlengas der Gaswerke und ermöglicht so eine wesentlich bessere Gasversorgung des thüringischen Raumes.

[1] Andere der Erde entströmende Gase, zum Beispiel Helium oder Kohlendioxid, werden im weiteren Sinne ebenfalls zu den Erdgasen gerechnet.

Erdgas dient jedoch nicht nur als Heizgas, sondern auch als Ausgangsstoff für zahlreiche chemische Verfahren, zum Beispiel zur Herstellung von Äthen, Benzin, Lösungsmitteln, Ruß, Chemiefasern, synthetischem Kautschuk und Plasten.

Erdgas enthält als Hauptbestandteil Methan. Es dient als Brennstoff und Ausgangsstoff für die chemische Industrie.

Die Erdöl- und Erdgasindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Erdgas und Erdöl spielen eine wichtige Rolle in der Volkswirtschaft der sozialistischen Länder. Dabei sind sowohl ihre Ausnutzung als Brenn- und Kraftstoffe als auch ihre Verwendung als Ausgangsstoffe für die Petrolchemie von Bedeutung. Auf dem V. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands im Jahre 1958 wurde der weitere großzügige Aufbau unserer erdölverarbeitenden Industrie beschlossen.
In unserer Republik wurde bisher Erdöl nur in kleinen Mengen am Fallstein bei Osterwieck gefördert. Diese Lagerstätte ist bereits Anfang der 30er Jahre in der Zechstein-Formation entdeckt worden. Das Auffinden dieses Vorkommens erregte damals erhebliches Aufsehen, da die deutschen Geologen in so alten Schichten kein Erdöl vermuteten. Die Erdölkonzerne der USA waren stark daran interessiert, ihre Vormachtstellung zu behaupten, und verbreiteten daher wissenschaftlich getarnte Theorien, nach denen in Europa ein Auftreten von Erdöl in älteren geologischen Formationen nicht möglich sei. Durch diese irreführende Theorie wurde die Entwicklung der deutschen Erdöl- und Erdgasförderung jahrzehntelang gehemmt. In Erkenntnis dieser Tatsache hat die Staatliche Geologische Kommission in den vergangenen Jahren systematisch geologische Untersuchungen auf dem Gebiet unserer Republik durchgeführt. Mit Unterstützung der Sowjetunion und anderer sozialistischer Länder konnte in wenigen Jahren ein Gerätepark mit einer großen Anzahl von Bohranlagen geschaffen werden. Mit den modernen Geräten können auch größere Tiefen erbohrt werden. Die Untersuchungen haben ergeben, daß man in Thüringen, Mecklenburg

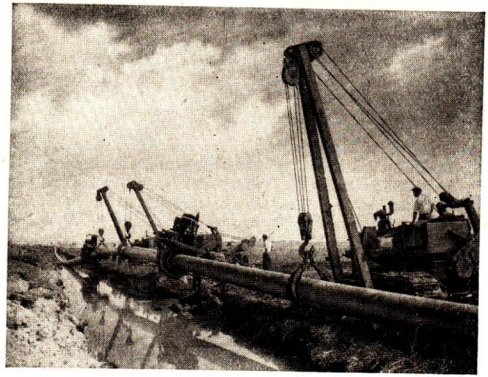


Abb. 42 Bauarbeiten an der Erdölleitung „Freundschaft" auf dem Abschnitt Mosyr–Litowsk (Sowjetunion)

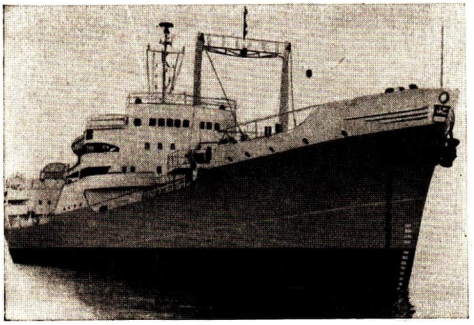


Abb. 43
Tanker „Leuna I"
des VEB
Deutsche Seereederei

und Brandenburg durchaus mit lohnenden Erdöl- oder Erdgasvorkommen rechnen kann. Es ist vorgesehen, diese Gebiete genauer zu erforschen, so daß im Verlauf der nächsten Jahre in unserer Republik eigenes Erdöl in nennenswerten Mengen gefördert werden kann. Im Jahre 1957 wurde der Spezialbetrieb VEB Erdöl und Erdgas Gommern gegründet, der die Aufgabe hat, die Erschließung und Ausnutzung der Vorkommen durchzuführen.

Die Entwicklung der erdölverarbeitenden chemischen Industrie wird uns jedoch nur durch die Hilfe der Sowjetunion möglich sein. In der Sowjetunion konnte durch verbesserte Ausnutzung der Vorkommen und Erschließung neuer Lagerstätten die Erdölförderung erheblich gesteigert werden. Während im Jahre 1913 nur etwa 8 Millionen Tonnen Erdöl gefördert wurden, waren es 1962 bereits 205 Millionen Tonnen.

Die Deutsche Demokratische Republik importierte in den vergangenen Jahren bereits erhebliche Mengen Erdöl, vor allem aus der Sowjetunion. In den nächsten Jahren werden die Erdölimporte um mehrere Millionen Tonnen ansteigen. Der Transport solcher gewaltigen Erdölmengen auf dem Schienenwege wäre verkehrstechnisch schwer zu bewältigen und mit hohen Kosten verbunden. Deshalb wurde die mehrere tausend Kilometer lange **Erdölleitung „Freundschaft"** von den sowjetischen Erdölgebieten in unsere Republik gelegt. Die neuesten Erkenntnisse der Wissenschaft und Technik wurden bei der Verwirklichung dieses gigantischen Projekts ausgewertet. Zum Transport des Erdöls mußte in jeweils 100 km Abstand eine Pumpstation errichtet werden. Die Verlegung der Rohrleitungen erfolgte nach hochmechanisierten Verfahren (Abb. 42).

Daneben wird auch der Transport auf dem Wasserwege weiter eine Rolle spielen. Die Handelsflotte unserer Republik hat in den letzten Jahren große, moderne **Tanker** erhalten. Für den VEB Deutsche Seereederei wurden in den Jahren 1958 bis 1961 auf der Leningrader Admiralitätswerft die Tanker „Leuna I" (Abb. 43), „Leuna II", „Böhlen" „Zeitz" und „Schwedt" gebaut. Weitere Tanker wurden von ausländischen Reedereien angekauft und auf die Namen „Rositz", „Schwarzheide", „Lützkendorf", „Buna", „Bitterfeld" und „Merseburg" getauft.

Durch den Import von beträchtlichen Erdölmengen werden sich starke Veränderungen in der Rohstoffbasis unserer chemischen Industrie ergeben. Neben die Braunkohle als wichtigsten Rohstoff wird in steigendem Maße das Erdöl treten. Die Verar-

beitung von Erdöl ist außerordentlich ergiebig. Aus 1 Tonne Erdöl kann man die gleiche Menge von Produkten herstellen wie aus 7,5 Tonnen Braunkohlenbriketts oder 15 Tonnen Rohbraunkohle (Abb. 44). Gegenwärtig wird Erdöl in der Deutschen Demokratischen Republik im VEB Mineralölwerk Lützkendorf, im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", im VEB Synthesewerk Schwarzheide und im VEB Kombinat Espenhain verarbeitet. In Lützkendorf ist ein weiteres, mit modernen Anlagen ausgestattetes Mineralölwerk im Bau. Durch diese Erweiterung wird der VEB Mineralölwerk Lützkendorf seine Kapazität um das Zweieinhalbfache erhöhen können.

Von besonders großer Bedeutung ist der 1958 auf dem V. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands beschlossene Bau eines großen

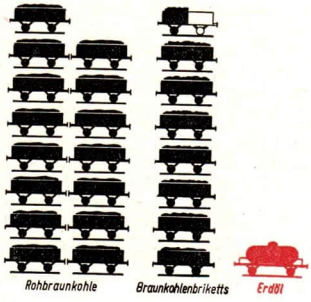


Abb. 44 Vergleich von Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts und Erdöl
Aus einer bestimmten Menge Erdöl kann man genausoviel Chemieprodukte herstellen wie aus der 7,5fachen Menge Braunkohlenbriketts oder der 15fachen Menge Rohbraunkohle

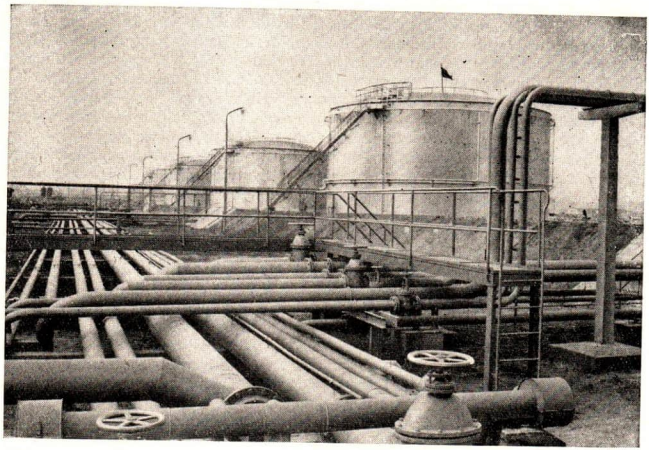


Abb. 45 Tanklager im VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt

Erdölverarbeitungswerkes bei Schwedt an der Oder. Auf einer Fläche von 16 bis 20 km² wird dieses Werk mit riesigen Tanklagern (Abb. 45) und modernsten Verarbeitungsanlagen errichtet. Die Sowjetunion stellte für mehrere Teile des neuen Werkes Projektierungen kostenlos zur Verfügung, die als Grundlage verwendet werden können. Hier endet auch die Erdölleitung „Freundschaft". Die ersten Anlagen des Werkes wurden 1964 in Betrieb genommen.

Das Erdölkombinat Schwedt wird neben Kraftstoffen, Heizöl, Schmierölen und anderen Produkten auch Ausgangsstoffe für die Petrolchemie unserer Republik liefern. Dadurch werden wir zahlreiche bisher importierte chemisch-technische Erzeugnisse selbst herstellen und die Großproduktion von wichtigen Plasttypen aufnehmen können. Die Stadtgasversorgung unserer großen Städte wird in den nächsten Jahren durch die Gaserzeugung aus Erdöl verbessert werden. In Rostock und Stralsund sind bereits moderne, vollautomatische **Erdölspaltgasanlagen** entstanden.

Die Entwicklung der Erdölchemie in der Deutschen Demokratischen Republik ist ein Schwerpunkt des großen Chemieprogramms im Rahmen unserer Volkswirtschaftspläne. Durch seine Verwirklichung werden wir unsere gesamte Industrie ausreichend mit vielen wichtigen Produkten beliefern und die Versorgung der Bevölkerung mit hochwertigen industriellen Erzeugnissen verbessern können.

Wiederholungsfragen und Aufgaben

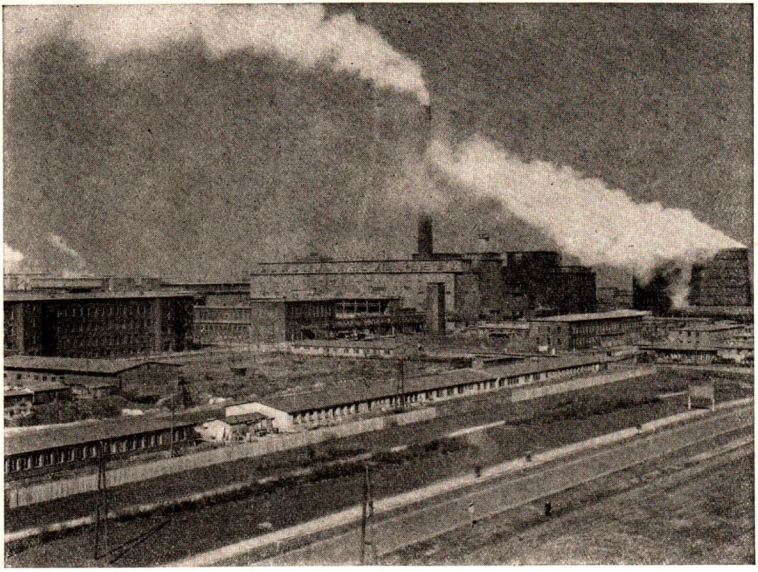
1. Aus welchen Stoffen ist Erdöl zusammengesetzt?
2. Erläutern Sie die Entstehung von Erdöl!
3. Nennen Sie wichtige Vorkommen von Erdöl!
4. Erläutern Sie ein wichtiges Erkundungsverfahren für Erdöllagerstätten!
5. Erläutern Sie die Verfahren zur Erbohrung von Erdöl!
6. Schildern Sie die Aufarbeitung von Erdöl!
7. Zeichnen Sie das Schema eines Fraktionierturmes mit Glockenböden und erläutern Sie dessen Arbeitsweise!
8. Nennen Sie wichtige Destillationsprodukte des Erdöls!
9. Welche Verwendung finden die verschiedenen Benzine?
10. Schildern Sie Eigenschaften und Zusammensetzung der Benzine!
11. Warum führt man die Destillation der hochsiedenden Erdölanteile im Vakuum durch?
12. Welche Eigenschaften haben Schmieröle?
13. Sprechen Sie über Zusammensetzung, Eigenschaften und Verwendung von Vaseline und Paraffin!
14. Begründen Sie die Notwendigkeit der Nachbehandlungsverfahren für Erdöldestillate und erläutern Sie deren Durchführung!
15. Erläutern Sie das Prinzip des Krackverfahrens!
16. Stellen Sie verschiedene Reaktionsgleichungen für das Kracken von Oktadekan $C_{18}H_{38}$ auf!
17. Erklären Sie anhand einer Reaktionsgleichung die Bildung von unerwünschten Spaltprodukten beim Kracken!
18. Bei einer Krackung zerfällt Hexadekan $C_{16}H_{34}$ nach folgender Gleichung:
    $C_{16}H_{34} \rightarrow C_7H_{16} + 3\,C_2H_4 + C_3H_6$
    Wieviel Prozent Alkene werden hierbei gebildet?
19. Welche Vorteile bietet die katalytische Krackung?

20. Was verstehen Sie unter Reformieren von Erdöldestillaten?
21. Welche Verbindungen beeinflussen die Klopffestigkeit der Benzine?
22. Schildern Sie die technische Durchführung der Reformierungsverfahren!
23. Erläutern Sie die Bedeutung des Erdöls als Ausgangsstoff für die chemische Industrie!
24. Was versteht man unter der Petrolchemie und welche Bedeutung hat sie?
25. Woraus besteht Erdgas und welche Bedeutung hat es?
26. Berichten Sie über die Erdöl- und Erdgasförderung in der Deutschen Demokratischen Republik!
27. Welche Bedeutung haben die Erdölimporte für unsere Republik?
28. Berichten Sie über den Transport des Erdöls aus der Sowjetunion in unsere Republik!
29. Geben Sie einen Überblick über die Erdölverarbeitungsindustrie der Deutschen Demokratischen Republik!
30. Vergleichen Sie die Gewinnung von Ausgangsstoffen für chemisch-technische Verfahren aus Erdöl und Kohlen!

5. KAPITEL

Derivate der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe

Die kettenförmigen Kohlenwasserstoffe bilden eine große Anzahl von Derivaten. Die wichtigsten sind die Hydroxylderivate, die Alkanale und die kettenförmigen Karbonsäuren. Die chemische Umwandlung von Ausgangsstoffen in bestimmte Endprodukte verläuft meist über Zwischenverbindungen. Die Derivate der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe haben in der chemischen Industrie als Zwischenprodukte große Bedeutung. So wird zum Beispiel die Äthansäure (Essigsäure) zur Herstellung so unterschiedlicher Produkte wie Arzneimittel, Farbstoffe, Riechstoffe, Sicherheitsfilme, Chemiefasern und Lösungsmittel benötigt. Derivate der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe werden in unserer Republik in beträchtlichen Mengen im VEB Chemische Werke Buna Schkopau (unser Bild), im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" und anderen Betrieben hergestellt.

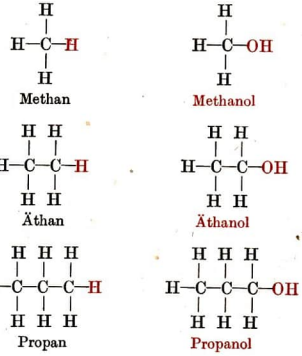


Alkanole (einwertige gesättigte Alkohole)

1. Aufbau und Benennung. Mit den Alkanolen lernen wir eine Gruppe von Verbindungen kennen, in denen außer den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff noch Sauerstoff enthalten ist. Die Alkanole sind Derivate der gesättigten, kettenförmigen Kohlenwasserstoffe (Alkane).

● *Erläutern Sie den Begriff „Derivate"!*
Welche Derivate der Alkane haben Sie schon kennengelernt?

Man kann die Alkanole aus den Alkanen formal durch Austausch von jeweils einem Wasserstoffatom gegen eine Hydroxylgruppe ableiten, zum Beispiel:



Alkanole sind Derivate der Alkane und enthalten eine Hydroxylgruppe.

Die Namen der Alkanole setzen sich aus dem Namen des Stammkohlenwasserstoffes mit der gleichen Anzahl von Kohlenstoffatomen und der Endung **„ol"** zusammen. Neben den wissenschaftlichen Benennungen sind auch noch ältere Bezeichnungen gebräuchlich. Sie setzen sich aus dem Namen des Kohlenwasserstoffrestes und der Bezeichnung **Alkohol** zusammen, zum Beispiel:

$CH_3 \cdot OH$	Methylalkohol
$CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH$	Äthylalkohol
$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot OH$	Propylalkohol

2. Die Hydroxylgruppe der Alkanole. Die Eigenschaften der Alkanole werden durch das Verhalten des Kohlenwasserstoffrestes und durch das der Hydroxylgruppe bestimmt. Da das Reaktionsvermögen der Hydroxylgruppe vorherrschend ist, zeigen die Alkanole in bestimmten Eigenschaften große Ähnlichkeit. Gruppen, die wie die

Hydroxylgruppe weitgehend das chemische Verhalten von Verbindungen bestimmen, nennt man **funktionelle Gruppen.**

Die Hydroxylgruppe ist die funktionelle Gruppe der Alkanole.

Die endständigen (am Ende der Kette befindlichen) Kohlenstoffatome eines Kohlenwasserstoffs bezeichnet man als primäre Kohlenstoffatome, da sie nur an ein anderes Kohlenstoffatom gebunden sind. Entsprechend nennt man Kohlenstoffatome, die an zwei andere Kohlenstoffatome gebunden sind, sekundäre und solche, die an drei andere Kohlenstoffatome gebunden sind, tertiäre Kohlenstoffatome. Von dieser Regel ausgehend erhalten Alkanole, deren Hydroxylgruppe mit einem primären Kohlenstoffatom verknüpft ist, die Bezeichnung **primäre Alkanole.** Ist die Hydroxylgruppe mit einem sekundären beziehungsweise tertiären Kohlenstoffatom verknüpft, so bezeichnet man diese Alkanole als **sekundäre** beziehungsweise **tertiäre Alkanole.** Die Stellung der Hydroxylgruppe im Molekül wird im wissenschaftlichen Namen der Verbindung durch eine in Klammern gesetzte, nachgestellte Ziffer angegeben, zum Beispiel:

primäres Alkanol:	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot OH$	Propanol-(1)
sekundäres Alkanol:	$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot CH_3$	Propanol-(2)
tertiäres Alkanol:	$CH_3 \cdot C(OH) \cdot CH_3$ $\cdot$ CH_3	2-Methylpropanol-(2)

Aus diesen Beispielen ist ersichtlich, daß für primäre, sekundäre und tertiäre Alkanole jeweils bestimmte Gruppen typisch sind:

primäre Alkanole:	$-\mathbf{CH_2OH}$
sekundäre Alkanole:	$>\mathbf{CH(OH)}$
tertiäre Alkanole:	$\geqslant\mathbf{C(OH)}$

Je nach Stellung der Hydroxylgruppe im Molekül unterscheidet man primäre, sekundäre und tertiäre Alkanole.

Bei der Betrachtung der Formeln für Methanol $CH_3 \cdot OH$, Äthanol $C_2H_5 \cdot OH$ und Propanol $C_3H_7 \cdot OH$ könnte eine Verwandtschaft der Alkanole mit den anorganischen Basen angenommen werden.

- *Erläutern Sie den Begriff „Basen"! Welche anorganische Basen sind Ihnen bekannt? In welche Ionen ist Natriumhydroxid in wäßriger Lösung dissoziiert? Welche Ionenart liegt in allen anorganischen Basen vor und wie weist man diese Ionen nach?*

Zur Klärung der Frage, ob Alkanole eine Art organischer Basen sind, führen wir folgenden Versuch durch:

25

In ein Reagenzglas wird etwas Natronlauge gegeben, in ein zweites 2 ml Methanol und 8 ml destilliertes Wasser. Dann versetzen wir beide Lösungen mit einigen Tropfen Phenolphthaleinlösung.
Was beobachten Sie?

- *Untersuchen Sie das Verhalten von Methanol gegen Wasser nach Versuch S 21!*

Die wäßrige Methanollösung verhält sich anders als die wäßrige Lösung von Natriumhydroxid. Da die Methanollösung keine Farbänderung des Phenolphthaleins beziehungsweise des Lackmuspapiers bewirkt, können hier keine Hydroxidionen vorliegen. Das Methanolmolekül dissoziiert nicht in Radikal- und Hydroxidionen. Die gleichen Feststellungen wurden auch bei den anderen Alkanolen gemacht. Da Alkanole in wäßrigen Lösungen nicht dissoziieren, können ihre Moleküle nicht aus Ionen aufgebaut sein. Die Hydroxylgruppe der Alkanole muß durch Atombindung mit einem Kohlenstoffatom des Alkanradikals verbunden sein. Das ist die Ursache, weshalb Alkanole anders als die Basen reagieren.

Die Hydroxylgruppe der Alkanole zeigt ein anderes Verhalten als die Hydroxidgruppe der Basen.

3. Elementaranalyse und Erarbeitung einer Summenformel. Die Formeln für Verbindungen sind das Ergebnis oft sehr mühevoller und langwieriger Arbeiten der Chemiker. Im folgenden soll am Beispiel der Untersuchung einer sehr einfach aufgebauten organischen Verbindung, des Methanols, gezeigt werden, welchen Weg der forschende Chemiker einschlägt, um zur Summenformel einer Verbindung zu gelangen.
Zuerst muß die Frage beantwortet werden, aus welchen Elementen die zu untersuchende Verbindung besteht.

26

Wir brennen etwas Methanol in einem Porzellanschälchen ab und halten ein kaltes, trockenes Becherglas mit der Öffnung nach unten über die Flamme.
Was können Sie am Becherglas beobachten?
Welche Schlußfolgerung ziehen Sie aus Ihrer Beobachtung?
Wir gießen nun etwas gesättigte Bariumhydroxidlösung in ein zweites Becherglas, schwenken das Glas mit der Flüssigkeit aus und gießen sie dann weg. Das so vorbehandelte Becherglas halten wir ebenfalls einige Sekunden mit der Öffnung nach unten über die Methanolflamme.
Was können Sie an diesem Becherglas beobachten?
Was wird durch die beobachtete Reaktion bewiesen?

● *Untersuchen Sie Methanol nach Versuch S 22!*

Die Versuche beweisen, daß im Methanol Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten sind. Durch andere Versuche haben die Chemiker auch Sauerstoff als Bestandteil des Methanolmoleküls nachgewiesen.

Methanol ist aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff aufgebaut.

Nachdem die elementare Zusammensetzung geklärt ist, müssen die Mengen der Elemente, welche die zu untersuchende Verbindung aufbauen, ermittelt werden. Man bezeichnet diese Untersuchungen als **quantitative Elementaranalyse.**
Das Prinzip der quantitativen Kohlenstoff- und Wasserstoffbestimmung besteht in folgendem: Eine genau gemessene Menge Methanol wird im Luftstrom durch Kupfer(II)-oxid (oder andere geeignete Stoffe) oxydiert. Die Oxydationsprodukte Kohlendioxid und Wasser werden getrennt absorbiert und gewogen. Absorptionsmittel für Wasser ist Kalziumchlorid, für Kohlendioxid Natriumhydroxid (oder Natronkalk). Die mengenmäßige Bestimmung des Sauerstoffs erfolgt meist durch Berechnung.

Wir führen nun eine quantitative Elementaranalyse von Methanol durch:

27

Wir verwenden die Apparatur nach Abbildung 46. Wir reiben die beiden gefüllten U-Rohre mit einem trockenen Lappen sorgfältig ab, damit sie völlig staubfrei und trocken sind. Anschließend werden sie (bei geschlossenen Hähnen) gewogen und auf eine saubere, trockene Glasplatte abgelegt. Dann erhitzen wir das Kupfer(II)-oxid mit beiden Brennern auf Rotglut. (Vorsicht! Zu Beginn wird das Rohr mit der Flamme nur befächelt.) Wenn das Kupfer(II)-oxid auf die notwendige Temperatur gebracht ist, öffnen wir ein wenig den Ablaßhahn der mit Wasser gefüllten Flasche und lassen langsam Luft (etwa 3 Blasen je Sekunde) durch die Apparatur streichen, gleichzeitig erhitzen wir auch den leeren Teil des Verbrennungsrohres, damit die letzten Spuren von Feuchtigkeit entfernt werden. Dann wird der obere Hahn wieder geschlossen. Der Schlitzbrenner unter dem Kupfer(II)-oxid brennt weiter, den anderen Brenner nehmen wir vom leeren Rohrteil weg. Nun schließt man die beiden U-Rohre an den Schnabel des Verbrennungsrohres in der angegebenen Reihenfolge an und öffnet die vier Hähne. Dann messen wir in das kleine, völlig trockene Reagenzglas mit einer Mikropipette 0,3 ml (= 0,238 g) Methanol ein, öffnen das Verbrennungsrohr, schieben das Gläschen mit Methanol mit einer langen schmalen Pinzette so weit ein, daß seine Öffnung fast an der Glaswolle ist, verschließen sofort das Verbrennungsrohr wieder mit dem Verbindungsteil zum Kalziumchloridturm und lassen dann durch Öffnen des Wasserablaßhahnes wieder langsam Luft durch die Apparatur. Nun nehmen wir den zweiten Brenner, setzen ihn neben den Schlitzbrenner und rücken die Flamme ganz langsam gegen das mit Methanol gefüllte Röhrchen vor. In etwa 6 Minuten ist die Analysensubstanz verdampft und hat sich quantitativ sowohl mit dem Luftsauerstoff als auch am Kupfer(II)-

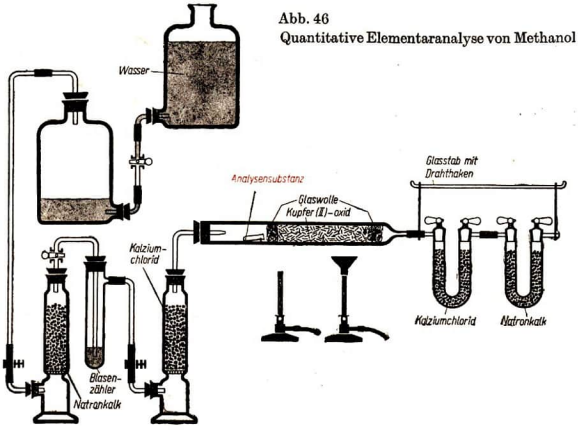


Abb. 46
Quantitative Elementaranalyse von Methanol

oxid zu Kohlendioxid und Wasser umgesetzt, die vom Luftstrom in die U-Rohre getragen werden. Nun lassen wir noch einige Zeit Luft durch die Apparatur, löschen dann die Flammen der Brenner, nehmen die U-Rohre (deren Hähne vorher geschlossen werden) ab und wägen sie einzeln. Die Massenzunahme beim Kalziumchloridrohr entspricht dem entstandenen Wasser, beim Natronkalkrohr dem Kohlendioxid.

Die rechnerische Auswertung der Analysenergebnisse geschieht folgendermaßen: Wir haben mit der Mikropipette für jede Bestimmung 0,3 ml Methanol (D: 0,7923 g/ml) also 0,238 g abgemessen.
Bei drei durchgeführten Analysen haben wir zum Beispiel nebenstehende Werte ermittelt.
Aus den Proportionen

Versuche	Kohlendioxid in g	Wasser in g
1.	0,320	0,270
2.	0,332	0,267
3.	0,326	0,266
Mittelwerte	0,326	0,267

$$\begin{aligned} CO_2 \quad C & \qquad H_2O \quad H_2 \\ 44 : 12 = 0{,}326\ g : x & \qquad 18 : 2 = 0{,}267\ g : y \\ x = 0{,}089\ g\ C & \qquad y = 0{,}030\ g\ H \end{aligned}$$

ermitteln wir die Grammengen an Kohlenstoff und Wasserstoff in der Einwaage und rechnen sie in Prozente um. Die Rechnung ergibt:
37,4% Kohlenstoff und 12,6% Wasserstoff. Die Summe aus Kohlenstoff und Wasserstoff ergibt 50%.
Da in der untersuchten Substanz außer Kohlenstoff und Wasserstoff noch Sauerstoff enthalten ist, muß der Sauerstoffgehalt 50% betragen.
Ergebnis: Methanol besteht auf Grund unserer Bestimmung aus:

37,4% Kohlenstoff,
12,6% Wasserstoff,
50,0% Sauerstoff.

Wollen wir vom Ergebnis der quantitativen Elementaranalyse zur Summenformel des Methanols gelangen, so müssen wir folgenden Weg einschlagen:
Aus den prozentualen Anteilen von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff berechnen wir zunächst das Verhältnis, in welchem die Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome zueinander stehen. Dazu ist erforderlich, die errechneten Prozentzahlen durch das Atomgewicht der entsprechenden Elemente zu teilen:

$$C \triangleq \frac{37{,}4}{12} \qquad H \triangleq \frac{12{,}6}{1} \qquad O \triangleq \frac{50}{16}$$

Dabei erhalten wir folgende abgerundete Werte:

$$C \triangleq 3{,}12 \qquad H \triangleq 12{,}6 \qquad O \triangleq 3{,}12$$

Eine Division dieser Zahlen durch die niedrigste Zahl (3,12) ergibt ein Atomverhältnis von rund

$$C : H : O = 1 : 4 : 1$$

Dieses Ergebnis berechtigt uns noch nicht zur Aufstellung der Formel CH_4O, denn auch in den Formeln $C_2H_8O_2$, $C_3H_{12}O_3$ und so weiter bleibt das Verhältnis 1 : 4 : 1 gewahrt. Dem Methanol muß deshalb vorläufig die Formel

$$C_xH_{4x}O_x \qquad \text{oder} \qquad (CH_4O)_x$$

zugeordnet werden. Für die Ermittlung der endgültigen Formel ist eine Molekulargewichtsbestimmung notwendig. Das Molekulargewicht des Methanols wurde mit 32,042 bestimmt. Dieses Molekulargewicht trifft jedoch nur dann zu, wenn das x in der vorläufigen Formel gleich 1 gesetzt wird. Demzufolge hat Methanol die Summenformel CH_4O.

- *Ermitteln Sie aus folgenden Angaben die Summenformeln einer untersuchten Verbindung, die aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff aufgebaut ist!*
  Einwaage 0,038 g
  Ergebnisse der Elementaranalyse: Kohlendioxid 0,073 g
  Wasser 0,045 g
  Ergebnis der Molekulargewichtsbestimmung: 46

4. Methanol (Methylalkohol). Methanol CH_3OH entsteht bei der Entgasung des Holzes und wurde deshalb früher auch „Holzgeist" genannt. Das moderne großtechnische Herstellungsverfahren, das in unserer Republik im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" durchgeführt wird (Abb. 47), geht von Wassergas aus. Man stellt wie beim Fischer-Tropsch-Verfahren ein Synthesegas aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff im Volumenverhältnis 1 : 2 her.

- *Erläutern Sie die Herstellung des Wassergases!*

Das Gasgemisch wird bei etwa 370 °C und unter einem Druck von 200 at mit Hilfe von Mischkatalysatoren zu Methanol umgesetzt:

$$CO + 2\,H_2 \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_2 \cdot OH$$

Im Gegensatz zur Kohlenwasserstoffsynthese bestehen diese Katalysatoren jedoch meist aus einem Gemisch von Zinkoxid und Chrom(III)-oxid. Am Beispiel der Methanol- und Kohlenwasserstoffherstellung erkennt man deutlich den Einfluß der Katalysatoren auf den Verlauf einer chemischen

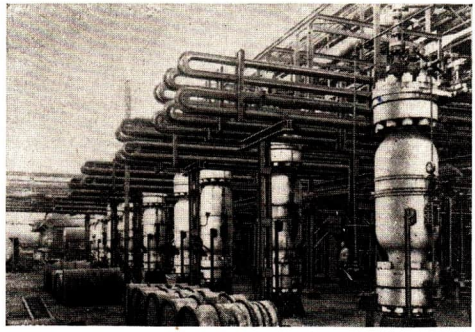


Abb. 47 Teilansicht der Methanolsyntheseanlage im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

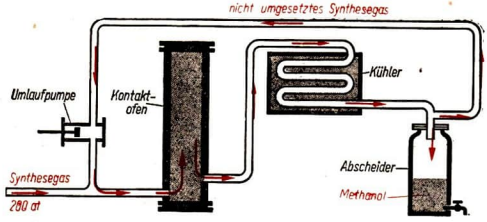


Abb. 48
Schematische Darstellung einer Methansynthese-anlage

Reaktion. Kohlenwasserstoff- und Methanolsynthese haben die gleichen Ausgangsstoffe. Während aber Eisen- oder Kobaltkatalysatoren die Entstehung von Kohlenwasserstoffen begünstigen, bildet sich bei Verwendung von Zinkoxid-Chromoxid-Katalysatoren überwiegend Methanol. Für die Methanolsynthese werden die gleichen Hochdrucksyntheseöfen wie bei der Hochdruckhydrierung verwendet. Sie sind allerdings mit einem Kupferfutter versehen, da Stahl (Fe) die Bildung von Kohlenwasserstoffen begünstigt.
Die vom Syntheseofen kommenden Gase werden durch Kühler geleitet, wobei das Methanol durch Kondensation abgetrennt wird. Die nicht umgesetzten Gase kehren wieder in den Prozeß zurück. In Abbildung 48 ist die Methanolsynthese schematisch dargestellt.

Methanol wird vorwiegend durch Synthese aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff hergestellt.

● *Vergleichen Sie die Methanolsynthese mit den Synthesen nach FISCHER-TROPSCH und FISCHER-PICHLER!*

Wir untersuchen nun einige Eigenschaften des Methanols:

28

Wir geben ein erbsengroßes Stück Harz (Kolophonium) in ein Reagenzglas, fügen etwa 5 ml Methanol hinzu und schütteln.

● *Prüfen Sie das Lösevermögen von Methanol nach Versuch S 23!*
Bestimmen Sie die Dichte von Methanol mit Hilfe eines Aräometers nach Versuch S 24!

Methanol ist eine farblose Flüssigkeit, die charakteristisch riecht, bei 65 °C siedet und mit blaßblauer Flamme brennt. Das bei der Verbrennung entstehende Wasser zeigt, daß im Methanolmolekül Wasserstoff enthalten ist.
Methanol löst sich in Wasser und anderen Lösungsmitteln. Die wäßrige Lösung von Methanol reagiert neutral. Methanol löst Harze und verschiedene andere Stoffe.
Methanol ist sehr giftig. Deshalb ist sein Zusatz zu Getränken verboten. Auch der Name „Methylalkohol" ist, um Verwechslungen zu vermeiden, als Handelsbezeichnung nicht gestattet. Kleine Mengen Methanol verursachen bereits Verdauungsstörungen. Nach dem Genuß von etwa 10 g Methanol treten Erblindung und Tod ein.

Vorsicht beim Arbeiten mit Methanol! Methanol ist außerordentlich giftig!

Methanol wird in großen Mengen hergestellt. Es dient als Ausgangsstoff für die chemische Industrie, als Raketentreibstoff, Lösungsmittel, zum Denaturieren[1] von Äthanol und gelegentlich als Zusatz zu Kraftstoffen.

5. Äthanol (Äthylalkohol). Äthanol $C_2H_5 \cdot OH$ – im täglichen Sprachgebrauch kurz als Alkohol bezeichnet – wird in der Hauptsache durch Vergärung zuckerhaltiger Flüssigkeiten mittels Hefe hergestellt. Besonders gut ist die Glukose (Traubenzucker) $C_6H_{12}O_6$ für die Gärung geeignet. Sie wird durch den Gärprozeß größtenteils in Äthanol und Kohlendioxid zerlegt:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_2H_5 \cdot OH + 2\,CO_2$$

Außerdem entstehen bei diesem Vorgang kleine Mengen von höheren Alkanolen, Säuren und anderen organischen Verbindungen.

- *Berechnen Sie auf Grund der für die Gärung angegebenen Reaktionsgleichung, wieviel Kilogramm Äthanol und wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) aus 45 kg Glukose $C_6H_{12}O_6$ entstehen!*

Die **Äthanolgärung,** die auch als **alkoholische Gärung** bezeichnet wird, ist von dem eigentlichen Lebensprozeß der Hefe unabhängig. Sie wird durch bestimmte chemische Verbindungen bewirkt, die in den Hefezellen enthalten sind und als Katalysatoren wirken. Derartige Wirkstoffe nennt man **Enzyme** oder **Fermente.** Die Enzyme der Hefezellen werden als **Zymase** bezeichnet.

- **Äthanol wird durch Gärung zuckerhaltiger Flüssigkeiten hergestellt. Die Äthanolgärung der Zuckerlösungen wird durch die Zymase der Hefezellen bewirkt.**

- *Führen Sie eine Äthanolgärung nach Versuch S 25 durch!*

Zur industriellen Herstellung von Äthanol geht man häufig von stärkehaltigen Stoffen (z. B. Kartoffeln) aus. Da aber Stärke direkt nicht vergoren werden kann, führt man sie zunächst in vergärbaren Zucker über.
Die Kartoffeln werden gewaschen und in Druckkesseln (2 bis 6 m³ Fassungsvermögen) mit Wasserdampf bei 120 bis 130 °C behandelt. Die gedämpften Kartoffeln werden in den Maischbottich abgelassen. Dem entstan-

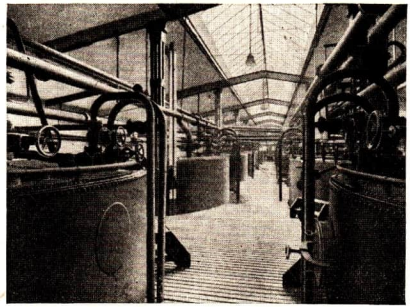


Abb. 49 Gärkessel zur Äthanolherstellung im VEB Gärungschemie Dessau

[1] Denaturieren = für den menschlichen Genuß unbrauchbar machen.

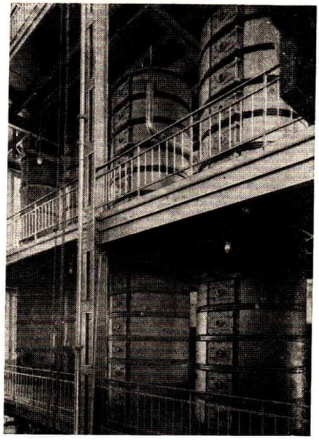


Abb. 50 Destillierkolonnen im VEB Gärungschemie Dessau

denen Brei setzt man gekeimte Gerste („Grünmalz") zu, die stärkeabbauende Fermente enthält. Bei einer Temperatur von 60 °C ist die Stärke der Kartoffeln nach ungefähr einer Stunde verzuckert. Nun folgt die Gärung. Sie wird nach Zusatz von Hefe in geschlossenen eisernen Gärkesseln (Abb. 49) bei 20 bis 30 °C durchgeführt und dauert 2 bis 3 Tage. Aus der erhaltenen wäßrigen Lösung wird Äthanol durch wiederholte Destillation gewonnen (Abb. 50).

Gärungsäthanol wird in unserer Republik in zahlreichen Betrieben hergestellt, in denen verschiedene Ausgangsstoffe, zum Beispiel Getreide, Melasse oder Ablaugen der Zellstoffherstellung, verarbeitet werden. Wichtige Betriebe, in denen die Äthanoldestillation durchgeführt wird, sind der VEB Gärungschemie Dessau, der VEB Spiritus Berlin-Adlershof, der VEB Spiritus Magdeburg, der VEB Spiritus Lutherstadt Wittenberg und andere.

Äthanol wird auch synthetisch erzeugt. Dabei geht man von Äthin aus und lagert an diese Verbindung katalytisch Wasser an. Es entsteht als Zwischenverbindung Äthanal, das in Gegenwart von Katalysatoren durch Wasserstoff in Äthanol umgewandelt wird:

$$\underset{\text{Äthin}}{CH{\equiv}CH} + H_2O \xrightarrow{\text{Kat.}} \underset{\text{Äthanal}}{CH_3 \cdot CHO}$$

$$\underset{\text{Äthanal}}{CH_3 \cdot CHO} + H_2 \xrightarrow{\text{Kat.}} \underset{\text{Äthanol}}{CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH}$$

Das so hergestellte Äthanol wird auch als **Karbidsprit** bezeichnet.

Wieviel Liter Äthin (Normzustand) werden zur Synthese von 92 kg Äthanol benötigt?

Wir führen einige Versuche mit Äthanol durch.

29

Wir brennen etwas Äthanol in einer kleinen Porzellanschale ab.
Welches Aussehen hat die Flamme?

- *Untersuchen Sie die Verbrennungsprodukte von Äthanol nach Versuch S 22!*
  Untersuchen Sie das Verhalten von Äthanol gegen Wasser nach Versuch S 26!
  Prüfen Sie die Brennbarkeit wäßriger Äthanollösungen nach Versuch S 27!

30

In eine trockene Bürette werden 10 ml wasserfreies Äthanol eingefüllt. Dann lassen wir aus einer zweiten Bürette 10 ml Wasser zulaufen und vermischen beide Flüssigkeiten durch Schütteln.

Lesen Sie das gesamte Flüssigkeitsvolumen ab! Was stellen Sie fest?

31

Wir gießen in drei Reagenzgläser je 5 ml wasserfreies Äthanol, geben in das erste Reagenzglas etwa 5 ml Benzin, in das zweite 5 ml Benzol und in das dritte Benzin und Benzol hinzu und mischen die Flüssigkeiten durch Schütteln.

Was beobachten Sie?

● *Führen Sie den Versuch S 28 zum Nachweis von Äthanol in Kraftstoffen durch!*

Äthanol ist eine wasserklare Flüssigkeit von eigentümlichem Geruch, die mit schwach leuchtender Flamme brennt und sich in Wasser, Benzin, Benzol und anderen Flüssigkeiten löst. Bei der Mischung mit Wasser ist eine Volumenverminderung zu beobachten. Äthanol siedet bei 78,3 °C und erstarrt bei etwa —112 °C. Wasserfreies Äthanol, auch **absoluter Alkohol** genannt, zieht die Luftfeuchtigkeit an und muß daher in dicht schließenden Gefäßen aufbewahrt werden.

Für viele Zwecke (z. B. zur Mischung mit Benzin) muß Äthanol völlig wasserfrei sein. Die Anwesenheit von Wasser im Äthanol kann auf verschiedene Weise nachgewiesen werden. Dazu können folgende Nachweisreaktionen dienen:

32

Etwa 3 ml Äthanol, dem wir etwas Wasser zugesetzt haben, werden in einem Reagenzglas mit der gleichen Menge Benzol geschüttelt. Enthält das Äthanol mehr als 5% Wasser, so entsteht eine Trübung, da sich Wasser kaum in Benzol löst.

● *Prüfen Sie das Lösevermögen von Äthanol nach Versuch S 29!*
Führen Sie den Nachweis von Wasser in Äthanol nach Versuch S 30 durch!

Äthanol findet im Laboratorium und in der Industrie vielseitige Verwendung. Es dient als Lösungsmittel für Harze, Farbstoffe, Duftstoffe, als Zusatz zu Kraftstoffen, als Raketentreibstoff, als Brennspiritus, Konservierungsmittel (z. B. für anatomische Präparate) und als Ausgangsstoff für die chemische Industrie.

Äthanol wird auch in Form alkoholischer Getränke verbraucht. Alkoholische Getränke sind Genußmittel, die sich sehr schädigend auf den menschlichen Organismus, besonders auf das Zentralnervensystem, auswirken. Schon der Genuß geringer Mengen wirkt nach einem anfänglichen Erregungsstadium lähmend und setzt das Reaktionsvermögen des Menschen herab. Daher sind alkoholische Getränke besonders gefährlich für alle Verkehrsteilnehmer. Reichlicher Alkoholgenuß setzt die Empfindlichkeit der Sinnesorgane erheblich herab und kann zu völliger Hilflosigkeit führen. Bei dauerndem Mißbrauch alkoholischer Getränke tritt eine Vergiftung des Körpers ein, die mit einer Reihe von Körperschäden verbunden ist.

Besonders gefährlich ist Äthanol für den jungen, in der Entwicklung befindlichen Organismus. Die viel verbreitete Auffassung, der Genuß äthanolhaltiger Getränke wirke vorbeugend oder heilend bei verschiedenen Infektionskrankheiten (z. B. bei Grippe), entbehrt jeder wissenschaftlichen Grundlage.

▶ **Äthanol wirkt sich sehr schädigend auf den menschlichen Organismus aus. Daher sollten vor allem Jugendliche den Genuß alkoholischer Getränke meiden!**

Für technische, gewerbliche und andere Zwecke wird Äthanol durch Zusatz von **Vergällungsmitteln** denaturiert. Da als Vergällungsmittel Methanol und andere giftige Stoffe verwendet werden, ist der Gebrauch von Brennspiritus und anderen denaturierten Äthanolpräparaten für den menschlichen Genuß verboten.

▶ **Vorsicht beim Umgang mit denaturiertem Äthanol! Es enthält stark giftige Vergällungsmittel!**

6. Homologe Reihe der Alkanole. Methanol und Äthanol sind die ersten Glieder einer **homologen Reihe,** deren Glieder eine unverzweigte Kohlenstoffkette und eine endständige Hydroxylgruppe aufweisen:

$CH_3 \cdot OH$			Methanol
$C_2H_5 \cdot OH$	oder	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH$	Äthanol
$C_3H_7 \cdot OH$	oder	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot OH$	Propanol-(1)
$C_4H_9 \cdot OH$	oder	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot OH$	Butanol-(1)

Auch bei dieser homologen Reihe unterscheiden sich die einzelnen Glieder jeweils durch die Gruppe $-CH_2-$. Die Molekülvergrößerung vom Methanol $CH_3 \cdot OH$ bis zum Äthanol $C_2H_5 \cdot OH$ um ein Atom Kohlenstoff und zwei Atome Wasserstoff bedeutet eine quantitative Veränderung. Ebenso haben die Moleküle vom Propanol $C_3H_7 \cdot OH$ gegenüber Äthanol und vom Butanol $C_4H_9 \cdot OH$ gegenüber Propanol die gleichen quantitativen Veränderungen erfahren. Die Zunahme der Anzahl der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome in den Alkanolmolekülen sind quantitative Änderungen; sie haben qualitative Änderungen, also neue Eigenschaften zur Folge. In Tabelle 5 sind einige Eigenschaften von Alkanolen dieser Reihe zusammengefaßt.

● *Stellen Sie auf Grund der in Tabelle 5 angegebenen Formeln die allgemeine Formel für die Alkanole auf!*

Die ersten Glieder der Reihe der Alkanole ($CH_3 \cdot OH$ bis $C_3H_7 \cdot OH$) sind leichtbewegliche Flüssigkeiten mit charakteristischem Geruch. Sie sind in jedem Verhältnis mit Wasser mischbar. Die mittleren Glieder werden mit zunehmendem Molekulargewicht öliger und schlechter wasserlöslich. Sie besitzen einen unangenehmen Geruch. Vom Dodekanol $C_{12}H_{25} \cdot OH$ ab sind die Alkanole bei Raumtemperatur fest, sie sind geruchlos und in Wasser unlöslich.
Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Eigenschaften der Alkanole zum Teil durch das Verhalten ihrer funktionellen Gruppe, der Hydroxylgruppe, bestimmt werden. Diese Gruppe bedingt zum Beispiel die Wasserlöslichkeit der niedrigmolekularen Alkanole, da bei diesen ihr Einfluß überwiegt. Der Kohlenwasserstoffrest wirkt in entgegengesetzter Richtung. Sein Einfluß auf die Eigenschaften der Alkanole steigt mit wachsender Anzahl der Kohlenstoffatome und überdeckt in bezug auf die Löslichkeit schließlich die Wirkung der Hydroxylgruppe. Die höheren Alkanole sind in ihrem Verhalten den Alkanen bereits sehr ähnlich.
Diese Betrachtung zeigt, daß es falsch wäre, die Eigenschaften einzelner bestimmter Gruppen, zum Beispiel der Hydroxylgruppe, einfach auf die ganze Verbindung zu übertragen. Da jede Gruppe nur ein Teil der ganzen Verbindung ist, kann sie auch nur

zum Teil die Eigenschaften bestimmen. Wir erkennen am Beispiel der Alkanole, daß die Vorgänge und Erscheinungen in der Natur stets im Zusammenhang betrachtet werden müssen.

Tabelle 5. Eigenschaften einiger primärer Alkanole

Formel	Verhalten gegen Wasser	Zustand bei Raumtemperatur	Geruch
$CH_3 \cdot OH$	unbegrenzt mischbar	leichtbewegliche Flüssigkeit	Alkoholgeruch
$C_2H_5 \cdot OH$	unbegrenzt mischbar	leichtbewegliche Flüssigkeit	Alkoholgeruch
$C_3H_7 \cdot OH$	unbegrenzt mischbar	leichtbewegliche Flüssigkeit	Alkoholgeruch
$C_4H_9 \cdot OH$	weniger gut löslich	leicht ölige Flüssigkeit	leicht unangenehm
$C_5H_{11} \cdot OH$	weniger gut löslich	leicht ölige Flüssigkeit	leicht unangenehm
$C_6H_{13} \cdot OH$	wenig löslich	leicht ölige Flüssigkeit	unangenehmer Geruch, der mit steigendem Molekulargewicht schwächer wird
$C_7H_{15} \cdot OH$	wenig löslich	ölige Flüssigkeit	
$C_8H_{17} \cdot OH$	schwerlöslich	ölige Flüssigkeit	
$C_9H_{19} \cdot OH$	schwerlöslich	ölige Flüssigkeit	
$C_{10}H_{21} \cdot OH$	schwerlöslich	ölige Flüssigkeit	
$C_{11}H_{23} \cdot OH$	schwerlöslich	ölige Flüssigkeit	
$C_{12}H_{25} \cdot OH$	unlöslich	fest	geruchlos

Alkandiole und Alkantriole (mehrwertige gesättigte Alkohole)

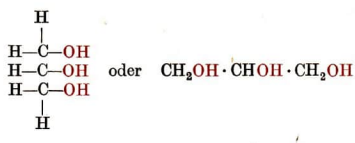
1. Äthandiol (Glykol). Äthandiol $CH_2OH \cdot CH_2OH$ ist ein Derivat des Äthans und enthält zwei Hydroxylgruppen.

Alkanderivate mit zwei Hydroxylgruppen werden **Alkandiole** (Glykole, zweiwertige Alkohole) genannt. Äthandiol $CH_2OH \cdot CH_2OH$, auch Glykol genannt, ist eine giftige, farblose, süß schmeckende Flüssigkeit von leicht öliger Beschaffenheit, die sich mit Wasser in jedem Verhältnis mischt. Die genaue Bezeichnung für diese Verbindung lautet **Äthandiol-(1,2).** Die Ziffern in der Klammer bedeuten die Nummern der Kohlenstoffatome, an die die Hydroxylgruppen gebunden sind.

Äthandiol ist der Hauptbestandteil des bekannten Frostschutzmittels „Glysantin" für Autokühler. Äthandiol dient ferner als Lösungsmittel, als Schmierstoff und zur Herstellung verschiedener anderer Produkte, zum Beispiel von Sprengstoffen.

Äthandiol wird auch zur Großraumdesinfektion verwendet. Zu diesem Zwecke läßt man eine wäßrige Lösung von Äthandiol verdampfen. Die giftigen Dämpfe des Äthandiols werden von den Wassertröpfchen der Luft aufgenommen und vernichten die meisten Krankheitserreger.

2. Propantriol (Glyzerin). Derivate der Alkane mit drei Hydroxylgruppen im Molekül werden als **Alkantriole** bezeichnet. Der wichtigste Vertreter dieser Stoffgruppe ist das **Propantriol-(1, 2, 3),** für das auch vielfach noch die ältere Bezeichnung **Glyzerin** verwendet wird. Es hat die Formel:



Propantriol (Glyzerin) ist eine Verbindung mit drei Hydroxylgruppen.

Propantriol ist eine farblose, klare, ölige, geruchlose, süßschmeckende Flüssigkeit, die sich mit Wasser oder Äthanol in jedem Verhältnis mischt und hygroskopisch ist. Die Fette des Tier- und Pflanzenreiches sind Verbindungen des Propantriols mit den sogenannten Fettsäuren. Industriell wird Propantriol durch Fettspaltung und auch synthetisch hergestellt. Propantriol wird sehr vielseitig angewendet. Wegen seiner hygroskopischen und damit feuchterhaltenden Eigenschaft dient es als Zusatz zu Zahnpasten, Stempelfarben, Modelliermassen, Tubenfarben und Schuhcreme. Da es die Haut weich und geschmeidig macht, wird Propantriol in der kosmetischen Industrie Hautcremes und Feinseifen zugesetzt. Es ist ferner ein Frostschutzmittel für Autokühler. Propantriol dient auch als Druckflüssigkeit in hydraulischen Pressen, als frostsichere Füllung für Gasmeßuhren, als Lösungs- und Konservierungsmittel und zu vielen anderen Zwecken. Wichtig ist auch seine Verwendung als Ausgangsstoff für die chemische Industrie, so zum Beispiel zur Herstellung von Propantrioltrinitrat (Nitroglyzerin), einem wichtigen Explosivstoff.

● *Führen Sie eine Nachweisreaktion für Propantriol-(1, 2, 3) nach Versuch S 31 durch! Stellen Sie aus Propantriol-(1, 2, 3) nach Versuch S 32 einen Metallkitt her!*

Propantriol ist eine farblose, ölige, wasseranziehende Flüssigkeit, die sehr vielseitig verwendet wird.

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Erläutern Sie den Begriff Alkanol!
2. Was versteht man unter einer funktionellen Gruppe?
3. Nach welchen Regeln werden die Namen für die kettenförmigen Alkanole gebildet?
4. Beschreiben Sie die Methanolsynthese!
5. Wieviel Liter Wasserstoff (Normzustand) werden theoretisch zur Synthese von 0,8 t Methanol benötigt?

6. Nennen Sie wichtige Eigenschaften des Methanols!
7. Erläutern Sie die Unterschiede zwischen anorganischen Hydroxidverbindungen (Basen) und organischen Hydroxylverbindungen (Alkanolen)!
8. Erläutern Sie die Verfahren zur Äthanolherstellung!
9. Nennen Sie Eigenschaften des Äthanols!
10. Wozu werden Methanol und Äthanol verwendet?
11. Erläutern Sie, weshalb man die Alkanole als Derivate der Alkane bezeichnen kann!
12. Wie bestimmt man die Mengen Kohlenstoff und Wasserstoff, die in einer organischen Verbindung enthalten sind?
13. Auf Grund der Elementaranalyse eines Stoffes wurde ein Atomzahlenverhältnis C:H:O = 3:8:1 ermittelt.
    Warum genügt diese Angabe noch nicht für die Aufstellung der Summenformel?
14. Welcher rechnerische Weg muß eingeschlagen werden, um von der prozentualen Zusammensetzung einer Verbindung zur Summenformel zu gelangen?
15. Berechnen Sie die Methanolmenge, die bei der Synthese theoretisch aus 896 m³ Kohlenmonoxid (Normzustand) entsteht!
16. Erläutern Sie, weshalb Methanol im Handel nicht als „Methylalkohol" bezeichnet werden darf!
17. Wieviel Glukose $C_6H_{12}O_6$ muß theoretisch vergoren werden, damit 92 kg Äthanol entstehen?
18. Welche Stoffe dienen in der Deutschen Demokratischen Republik als Ausgangsstoffe für die Äthanolgärung?
19. Wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) entstehen bei der vollständigen Verbrennung von 23 g Äthanol?
20. Wir nehmen an, aus 40 t Äthin würden bei der Synthese 69 t Äthanol hergestellt. Wieviel Prozent Äthanolverlust sind aufgetreten?
21. Aus 100 g eines wasserhaltigen Äthanols werden bei Zugabe einer ausreichenden Menge Kalziumkarbid 5,6 l Äthin (Normzustand) entwickelt. Wieviel Massenprozente Äthanol sind in einer solchen Flüssigkeit enthalten?
22. Erläutern Sie, warum bei den Alkanolen die Wasserlöslichkeit mit steigendem Molekulargewicht immer geringer wird!
23. Leiten Sie aus Ihren Kenntnissen über die homologe Reihe der Alkanole einige Eigenschaften des Pentadekanol $C_{15}H_{31} \cdot OH$ ab!
24. Stellen Sie den wissenschaftlichen Bezeichnungen einiger wichtiger Alkanole die entsprechenden älteren Bezeichnungen gegenüber!
25. Schreiben Sie die Formel für Propantriol-(1, 2, 3) auf und nennen Sie Eigenschaften dieser Verbindung.
26. Wozu wird Propantriol verwendet?
27. Berechnen Sie den Sauerstoffgehalt des Propantriols in Prozenten!

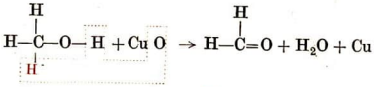
Alkanale (Aldehyde)

1. Aufbau und Benennung. Leitet man Alkanole mit endständiger Hydroxylgruppe (primäre Alkanole) bei hohen Temperaturen dampfförmig über bestimmte Katalysatoren, so wird Wasserstoff abgegeben. Die dabei entstehenden Verbindungen heißen **Alkanale** oder, mit der älteren Bezeichnung, **Aldehyde.**

33

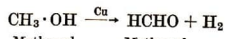
Wir gießen in einen Erlenmeyerkolben (200 ml) etwa 5 ml Methanol und erwärmen vorsichtig. Dadurch füllt sich der Kolben mit Methanoldampf. Dann erhitzen wir eine Kupferdrahtspirale zum Glühen, bis sich eine schwarze Kupferoxidschicht bildet, und tauchen sie in den Methanoldampf.
Was beobachten Sie?
Prüfen Sie den Geruch der entstehenden Dämpfe!

Bei diesem Versuch wird Methanoldampf zunächst durch das Kupfer(II)-oxid zu Methanal umgewandelt (Oxydation von Methanol), wobei Kupfer entsteht:



Methanol Methanal

Das entstandene Kupfer wirkt nun als Katalysator und beschleunigt die Wasserstoffabspaltung aus dem Methanol (Dehydrierung von Methanol):



Methanol Methanal

Nach dieser Methode können alle primären Alkanole in die entsprechenden Alkanale umgewandelt werden.

- *Führen Sie die Oxydation beziehungsweise Dehydrierung von Methanol nach Versuch S 33 durch!*
  Führen Sie die Oxydation (Dehydrierung) von Äthanol nach Versuch S 34 durch! Erläutern Sie den Unterschied, der bei dieser Reaktion in der Wirkung von Kupfer(II)-oxid und Kupfer auftritt!

▶ **Alkanale entstehen durch Oxydation beziehungsweise Dehydrierung von primären Alkanolen.**

Alle Alkanale enthalten die einwertige Gruppe —CHO, in der das Sauerstoffatom durch eine Doppelbindung mit dem Kohlenstoffatom verbunden ist:



Die Gruppe —**CHO** ist die **funktionelle Gruppe der Alkanale** und bestimmt weitgehend das chemische Verhalten dieser Verbindungen. Bei der wissenschaftlichen Bezeichnung der Alkanale geht man von der Überlegung aus, daß sich diese Verbindungen formal von den Alkanen ableiten. Der Name eines Alkanals setzt sich zusammen aus dem Namen des Alkans, das die gleiche Anzahl von Kohlenstoffatomen hat, und der Endung **„-al“.** In Tabelle 6 werden einige Alkane und die entsprechenden Alkanale genannt:

Tabelle 6. Alkanale

Alkan	Formel des Alkanals	wissenschaftliche Bezeichnung	ältere Bezeichnung
Methan CH_4	$H \cdot CHO$	Methanal	Formaldehyd
Äthan $CH_3 \cdot CH_3$	$CH_3 \cdot CHO$	Äthanal	Azetaldehyd
Propan $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_3$	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CHO$	Propanal	Propionaldehyd

● *Vergleichen Sie die Bindung des Sauerstoffs in Methanol und Methanal!*

▶ **Alkanale sind kettenförmige Verbindungen mit der funktionellen Gruppe —CHO.**

2. Homologe Reihe der Alkanale. Ebenso wie Alkane, Alkene, Alkine und Alkanole bilden auch Alkanale homologe Reihen.

● *Erläutern Sie den Begriff „homologe Reihe“!*
Welche Gesetzmäßigkeiten wurden bei den bisher im Text aufgeführten homologen Reihen festgestellt?

In Tabelle 7 sind die ersten Glieder einer homologen Reihe von Alkanalen angeführt, bei denen unverzweigte Kohlenstoffketten vorliegen.

Tabelle 7. Alkanale

Formel	Name	Verhalten gegen Wasser	Siedepunkt in °C	Zustand bei Raumtemperatur
HCHO	Methanal	sehr gut löslich	—21	gasförmig
$CH_3 \cdot CHO$	Äthanal	löslich	+20,2	flüssig
$C_2H_5 \cdot CHO$	Propanal	löslich	+48,8	flüssig
$C_3H_7 \cdot CHO$	Butanal	wenig löslich	+74,7	flüssig
$C_4H_9 \cdot CHO$	Pentanal	wenig löslich	+103,7	flüssig
$C_5H_{11} \cdot CHO$	Hexanal	fast nicht löslich	+128	flüssig

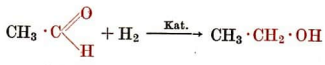
● *Stellen Sie fest, welche Formeldifferenzen bei den Alkanalen von Verbindung zu Verbindung auftreten!*

Die Betrachtung der Tabelle 7 führt zu der Erkenntnis, daß auch bei den Alkanalen mit zunehmender Molekülgröße eine schrittweise Änderung vieler Eigenschaften ver-

bunden ist. Vom Methanal an, das bei Raumtemperatur noch ein Gas ist, steigen die Siedepunkte von Verbindung zu Verbindung an, während zum Beispiel die Löslichkeit in Wasser schrittweise abnimmt. Bei höhermolekularen Alkanalen liegt der Schmelzpunkt über der Raumtemperatur, so daß diese Verbindungen fest sind.

● *Leiten Sie aus den Angaben in Tabelle 7 die allgemeine Formel für Alkanale ab!*

3. Reaktionen der Alkanale. Durch Aufrichtung der Doppelbindung in der Gruppe —CHO können Atome oder Atomgruppen angelagert (addiert) werden. Wird Wasserstoff an Alkanale angelagert, so entstehen primäre Alkanole:



Äthanal Äthanol

▶ **Alkanale addieren Wasserstoff und werden dabei in primäre Alkanole umgewandelt.**

Diese Reaktion ist die Umkehrung der Dehydrierung von primären Alkanolen:



Es hängt demnach von der Art des verwendeten Katalysators ab, welche von den beiden Reaktionen beschleunigt wird. Nickel als Katalysator bewirkt die Wasserstoffaddition, Kupfer die Wasserstoffabspaltung (Dehydrierung).
Im folgenden sollen weitere Eigenschaften der Alkanale untersucht werden.

34

Wir füllen in ein Reagenzglas etwa 2 ml Äthanal und versetzen es mit 2 ml 50%iger Kali- oder Natronlauge.
Was beobachten Sie?

Setzt man Alkanalen konzentrierte Kali- oder Natronlauge als Katalysator zu, so entstehen gefärbte, klebrige, harzartige Massen von hohem Molekulargewicht.
Die funktionelle Gruppe



enthält neben dem Sauerstoff mit Doppelbindung ein sehr reaktionsfähiges Wasserstoffatom. Aus diesem Grunde haben die Alkanale Reduktionsvermögen.
Das soll durch einige Versuche gezeigt werden.
Ein wichtiger Stoff zur Feststellung der Reduktionswirkung organischer Verbindungen ist die sogenannte **Fehlingsche Lösung.** Diese Lösung besteht aus zwei Teilen, die erst kurz vor Gebrauch vermischt werden.

Die Lösung Fehling I wird durch Lösen von 7 g kristallisiertem Kupfersulfat in 100 ml Wasser hergestellt. Für Fehling II werden 37 g Kaliumnatriumtartrat (Seignette-Salz) und 10 g festes Natriumhydroxid in 100 ml Wasser gelöst.

35

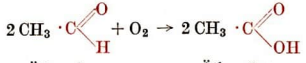
Wir vermischen etwa 3 ml Fehling I mit der gleichen Menge Fehling II. Zu der entstandenen klaren, tiefblauen Lösung fügen wir 1 ml Methanallösung oder Äthanal hinzu und erhitzen zum Sieden.
Vorsicht! Alkalische Flüssigkeiten neigen zum Siedeverzug!
Was beobachten Sie?

Versetzt man FEHLINGsche Lösung mit Alkanallösungen, so tritt beim Erhitzen zunächst eine Verfärbung ein, dann fällt ein ziegelroter Niederschlag von Kupfer(I)-oxid Cu_2O aus. Bei Verwendung von Methanal, das sehr stark reduziert, bildet sich elementares Kupfer, das sich am Glas als Kupferspiegel abscheidet.

36

Etwa 5 ml einer 5%igen Silbernitratlösung versetzen wir vorsichtig mit so viel schwacher Ammoniaklösung, daß der zuerst ausfallende, bräunliche Niederschlag gerade wieder gelöst wird. Zu diesem Gemisch geben wir etwa 1 ml Methanallösung und erwärmen vorsichtig im Wasserbad.
Was beobachten Sie?

Bei der Reaktion von Alkanalen mit ammoniakalischer Silbersalzlösung färbt sich die Lösung nach kurzer Zeit durch Ausscheidung von feinverteiltem Silber fast schwarz. Meist entsteht auch ein Silberspiegel an der Gefäßwand.
Die Umwandlung von zweiwertigem Kupfer (aus Kupfer(II)-sulfat $CuSO_4$) in einwertiges (enthalten in Kupfer(I)-oxid Cu_2O) oder in elementares Kupfer ist ebenso wie die Bildung von Silber aus Silbersalzen eine Reduktion. Bei beiden Versuchen wurde die Reduktion durch ein Alkanal bewirkt.
Wenn ein Stoff als Reduktionsmittel wirkt, so wird er selbst oxydiert. Die Alkanale werden bei den genannten Reaktionen zu einer organischen Säure oxydiert, zum Beispiel:



Äthanal Äthansäure

Alkanale wirken reduzierend und bilden dabei organische Säuren.

Die Versuche 35 und 36 sind aber keine Reaktionen, mit denen wir Alkanale eindeutig nachweisen können, da andere Reduktionsmittel ebenso reagieren. Mit **fuchsinschwefliger Säure (SCHIFFs Reagens)** kann man dagegen Alkanale nachweisen.

37

5 ml fuchsinschweflige Säure (SCHIFFs Reagens) versetzen wir mit einigen Tropfen Methanallösung.
Was beobachten Sie?

Bei der Reaktion von Alkanalen mit fuchsinschwefliger Säure tritt eine rotviolette Färbung auf. Die Reaktion ist sehr empfindlich, schon Spuren von Alkanalen rufen (unter Umständen erst nach 10 und mehr Minuten) Violettfärbung hervor. Bei dieser Reaktion bilden die Alkanale mit der farblosen fuchsinschwefligen Säure eine violettgefärbte Additionsverbindung.

4. Methanal (Formaldehyd). Methanal **HCHO** wird industriell hergestellt, indem man ein Gemisch von Methanoldämpfen und Luft über erhitztes Silber oder Kupfer als Katalysator leitet:

$$2\,CH_3 \cdot OH + O_2 \xrightarrow{\text{Kat.}} 2\,H{-}C\begin{matrix}O\\H\end{matrix} + 2\,H_2O$$

Die Reaktion ist stark exotherm. Der Vorgang verläuft daher, wenn er einmal in Gang gebracht ist, ohne Energiezufuhr von außen. Methanal wird in unserer Republik im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" hergestellt.

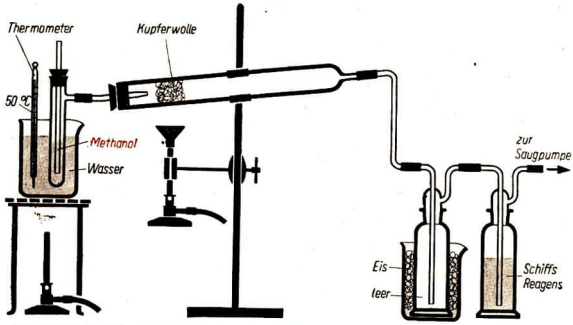


Abb. 51 Dehydrierung von Methanol zu Methanal

38

Wir stellen die Versuchsanordnung nach Abbildung 51 zusammen. In das im Wasserbad stehende Reagenzglas werden etwa 20 ml Methanol gegossen. Die erste der beiden Waschflaschen bleibt leer und steht in einem mit kaltem Wasser (noch besser mit Eis) gefüllten Becherglas. In die zweite Waschflasche geben wir SCHIFFs Reagens (fuchsinschweflige Säure). Wir erhitzen zunächst den Kupferkatalysator und saugen dann einen kräftigen Luftstrom durch die Apparatur, wobei wir das Wasserbad auf 50 °C erwärmen. Wenn die Kupferwolle glüht, wird der Luftstrom so reguliert, daß der Katalysator auch nach Entfernung des Brenners weiterglüht.
Beobachten Sie das Verhalten von SCHIFFs Reagens!

- *Führen Sie die Methanalbildung nach Versuch S 35 durch!*
  Oxydieren Sie Methanol mit Kaliumpermanganat nach Versuch S 36 zu Methanal!

Methanal wird aus Methanol durch Wasserstoffentzug hergestellt.

Für Methanal ist auch die ältere Bezeichnung **Formaldehyd** noch gebräuchlich. Es ist ein stechend riechendes, farbloses Gas, das sich in Wasser leicht löst. Es kommt als

35- bis 40%ige wäßrige Lösung unter der Bezeichnung **Formalin** in den Handel. Aus den wäßrigen Lösungen scheidet sich bei längerem Stehen eine weiße, schwerlösliche Masse ab, der **Paraformaldehyd.** Paraformaldehyd ist ein hochmolekularer Stoff. Er kann durch Erhitzen wieder in Methanal zerlegt werden.

39

Wir geben eine kleine Menge Paraformaldehyd in ein trockenes Reagenzglas und erhitzen.
Prüfen Sie den Geruch des entstehenden Gases!

● *Führen Sie die Hitzespaltung von Paraformaldehyd nach Versuch S 37 durch und prüfen Sie die Löslichkeit und Reaktion des entstehenden Gases!*

40

In ein Reagenzglas gießen wir etwa 5 ml Formalin, setzen etwas Weißei aus einem Hühnerei hinzu und lassen das Gemisch einige Zeit stehen.
Was stellen Sie fest?

Methanal ist sehr reaktionsfähig und verbindet sich mit Eiweißstoffen aller Art unter Bildung unlöslicher, oft harter Massen. Wegen seines starken Reaktionsvermögens mit Eiweißstoffen greift Methanal auch Bakterien und andere Krankheitserreger an. Es wird daher zur Raumdesinfektion, zur Herstellung desinfizierender Seifen und in Form von Tabletten zur Mund- und Rachendesinfektion verwendet. Bei der Bekämpfung von Viehseuchen wendet man eine 1%ige wäßrige Methanallösung an. Da Methanal auch Fäulniserreger abtötet, dient es in 3%iger Lösung zur Konservierung anatomischer Präparate. Beizt man Saatgut mit einer 0,1%igen Methanallösung, so werden Pilzsporen vernichtet.
Große Mengen Methanal werden zur Herstellung von Plasten, vor allem der vielverwendeten **Phenoplaste** und **Aminoplaste,** verbraucht.

Methanal wird in großen Mengen zur Herstellung von Plasten verwendet. Es dient ferner als Desinfektionsmittel, zum Beizen von Saatgut und zum Konservieren anatomischer Präparate.

5. Äthanal (Azetaldehyd). Äthanal $CH_3 \cdot CHO$ wird industriell aus Äthin durch katalytische Anlagerung von Wasser hergestellt:

$$CH \equiv CH + H_2O \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_3 \cdot C\begin{matrix} O \\ \diagup\!\!\diagdown \\ H \end{matrix}$$

41

Wir stellen die Versuchsanordnung nach Abbildung 52 zusammen. In den ersten Erlenmeyerkolben bringen wir eine etwa 1 cm hohe Schicht Kalziumkarbid. In die erste sich anschließende Waschflasche füllen wir 50%ige Schwefelsäure und Kaliumdichromat, in die zweite 50%ige Natronlauge. In den zweiten Erlenmeyerkolben geben wir 50 ml Wasser, 30 ml konzentrierte Schwefelsäure, 0,5 g Quecksilber(II)-oxid und (nach Abkühlung des Gemisches) 0,3 g Mangan(IV)-oxid. In die dritte Waschflasche füllen wir SCHIFFs Reagens. Wir lassen auf das Kalziumkarbid Wasser tropfen, so daß die Apparatur von einem Äthinstrom durchspült wird. Wenn alle Luft aus der Apparatur verdrängt ist (Knallgasprobe), erwärmen wir den zweiten Kolben auf 75 bis 80 °C. Diese Temperatur muß während der gesamten Versuchsdauer eingehalten werden.
Beobachten Sie die Färbung von SCHIFFs Reagens!

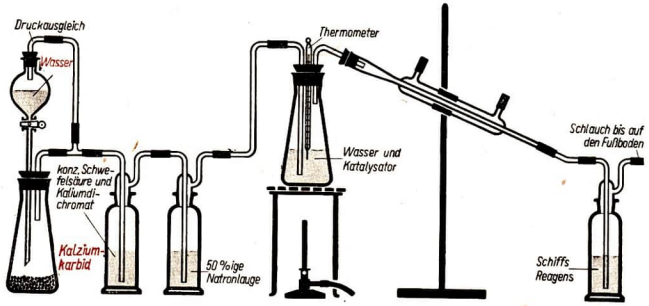


Abb. 52 Darstellung von Äthanal aus Äthin

Äthanal wird industriell aus Äthin durch katalytische Wasseranlagerung hergestellt.

Die allgemeine Darstellungsmethode für Alkanale, die Oxydation primärer Alkanole gleicher Kohlenstoffanzahl, läßt sich auch bei Äthanal anwenden.

● *Führen Sie die Darstellung von Äthanal aus Äthanol und schwefelsaurer Dichromatlösung nach Versuch S 38 durch.*
Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Oxydation von Äthanol zu Äthanal auf, wobei Sie anstelle des Dichromates nur atomaren Sauerstoff in die Gleichung einsetzen!

Für die technische Verwendung des Äthanals ist die Tatsache von Bedeutung, daß die Oxydation von Äthanol zu Äthanal eine umkehrbare Reaktion ist. Da Äthanal durch die Synthese aus Äthin leicht hergestellt werden kann, ist die katalytische Hydrierung (Reduktion) von Äthanal ein technisches Verfahren zur Herstellung von Äthanol:

$$\underset{\text{Äthanal}}{CH_3 \cdot CHO} + H_2 \xrightarrow{\text{Kat.}} \underset{\text{Äthanol}}{CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH}$$

Äthanal ist eine brennbare, leichtbewegliche, farblose Flüssigkeit mit eigentümlichem Geruch, die bei 20,2 °C siedet. Äthanal löst sich leicht in Wasser, Äthanol, Benzol und anderen Flüssigkeiten. Es zeigt die Reduktions- und Additionsreaktionen der Alkanale. Von Methanal kann es durch folgenden Nachweis unterschieden werden:

42

Wir füllen in zwei Reagenzgläser je 3 ml fuchsinschweflige Säure und geben in das eine Glas einige Tropfen Methanallösung, in das andere etwas Äthanal. Beide Flüssigkeiten färben sich violett. Danach versetzen wir beide Proben mit je 2 ml konzentrierter Salzsäure.
Was beobachten Sie?

Beim Nachweis von Methanal und Äthanal durch fuchsinschweflige Säure kann man beide Alkanale durch Zugabe von konzentrierter Salzsäure oder 50%iger Schwefelsäure unterscheiden. Die Probe mit Methanal färbt sich etwas dunkler, die Farbe der Äthanal enthaltenden Probe schlägt nach hellgelb um.

● *Führen Sie die Reaktion nach Versuch S 39 durch!*

Äthanal ist ein in der chemischen Industrie vielseitig verwendetes Zwischenprodukt und dient zur Erzeugung von Kautschuk, Äthanol, Äthansäure (Essigsäure), Farbstoffen, Arzneimitteln und zahlreichen anderen Produkten. Außerdem wird es als Lösungsmittel, zur Schädlingsbekämpfung und zu anderen Zwecken verwendet.

Äthanal ist ein wichtiges Zwischenprodukt für die Erzeugung von Kautschuk, Farbstoffen, Arzneimitteln, Äthanol, Äthansäure und vielen anderen Stoffen.

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Erläutern Sie die Herstellung von Alkanalen aus Alkanolen!
2. Erklären Sie das chemische Verhalten der Alkanale aus der Struktur dieser Verbindungen!
3. Erläutern Sie den Begriff „Dehydrierung"!
4. Wann wird die Umwandlung eines Alkanols zu einem Alkanal als Oxydation und wann als Dehydrierung bezeichnet?
5. Begründen Sie das unterschiedliche chemische Verhalten von Methanol und Methanal aus der Struktur dieser Verbindungen!
6. Sprechen Sie über die homologe Reihe der Alkanale!
7. Nach welchen Regeln erfolgt die wissenschaftliche Bezeichnung der Alkanale?
8. Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:

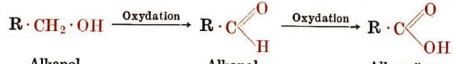
   a) $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CHO$

   b) $CH_3 \cdot \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle |}{\underset{|}{C}}}H \cdot CH_2 \cdot CHO$

9. Schreiben Sie die Reaktionsgleichung für die Dehydrierung von $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2OH$ auf und benennen Sie alle Stoffe dieser Umsetzung!
10. Wie wird Methanal hergestellt?
11. Wozu wird Methanal verwendet?
12. Vergleichen Sie die Eigenschaften von Methanal und Äthanal!
13. Erläutern Sie die Synthese des Äthanals ausgehend von Kohle!
14. Wozu wird Äthanal verwendet?
15. Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden zur Oxydation von 8 g Methanol zu Methanal benötigt?
16. Wieviel Gramm wiegen 28 Liter Methanalgas (Normzustand)?
17. Wieviel Äthanol entsteht theoretisch bei der Reduktion von 22 g Äthanal?
18. Welche theoretische Menge Wasser wird zur Umwandlung von 33,6 l Äthin (Normzustand) in Äthanal gebraucht?

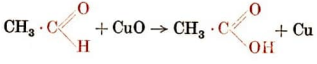
Gesättigte Monokarbonsäuren; Alkansäuren

1. Aufbau und Benennung. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß Alkansäuren Oxydationsprodukte der Alkanale sind. Wenn man berücksichtigt, daß die Alkanale durch Oxydation von primären Alkanolen entstehen, läßt sich folgendes Schema aufstellen:



Alkanol — Alkanal — Alkansäure

Dabei kann R ein beliebiger Alkanrest oder Wasserstoff sein. Die Alkansäuren sind also ebenfalls Oxydationsprodukte von primären Alkanolen. Die funktionelle Gruppe der Alkansäuren ist die **Karboxylgruppe —COOH.** Sie entsteht bei der Oxydation der Alkanale aus der Gruppe —CHO, zum Beispiel:



43

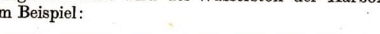
In ein Reagenzglas geben wir etwa 2 ml Äthanal und prüfen die Flüssigkeit mit Lackmus. Dann tauchen wir eine glühende Kupferdrahtwendel in die Flüssigkeit. Das Eintauchen des erhitzten Kupferdrahtes wird mehrmals wiederholt.
Beobachten Sie die Veränderung des Kupferdrahtes!
Prüfen Sie die Flüssigkeit wiederum mit Lackmus!

44

In einen Erlenmeyerkolben geben wir einige Magnesiumspäne und übergießen sie mit etwa 10%iger Äthansäure (Essigsäure). Die Öffnung des Kolbens wird mit einem durchbohrten Stopfen, durch den ein zur Spitze ausgezogenes Glasrohr geführt ist, verschlossen. Das entweichende Gas wird nach Durchführung der Knallgasprobe entzündet. Wir halten ein kaltes Becherglas mit der Öffnung nach unten über die Flamme.
Welches Aussehen hat die Flamme?
Was beobachten Sie an der Wand des Becherglases? Was kann man daraus folgern?

● *Prüfen Sie die Reaktionen niedrigmolekularer Alkansäuren nach Versuch S 40 und Versuch S 41!*

Die niedrigmolekularen Alkansäuren sind wasserlöslich. Ihre wäßrigen Lösungen reagieren sauer und bilden mit bestimmten Metallen Salze, wobei Wasserstoff entwickelt wird. Sie verhalten sich also wie die wäßrigen Lösungen anorganischer Säuren.
Bei den Salzbildungsreaktionen wird der Wasserstoff der Karboxylgruppe durch Metall ersetzt, zum Beispiel:



Äthansäure — Magnesiumäthanat

Im Abschnitt „Ester" werden noch weitere Reaktionen der Alkansäuren behandelt, bei denen aus der Karboxylgruppe nicht der Wasserstoff, sondern die Hydroxylgruppe abgespalten und durch andere Gruppen ersetzt wird.

Alkansäuren entstehen aus Alkanolen beziehungsweise Alkanalen durch Oxydation. Sie enthalten die funktionelle Gruppe —COOH (Karboxylgruppe).

Es wurde bereits festgestellt, daß Alkansäuren durch Oxydation von Alkanolen entstehen. Die Umkehrung dieses Prozesses, also die Reduktion von Alkansäuren zu Alkanolen, ist möglich, wenn Wasserstoff bei hohen Temperaturen und unter hohem Druck in Gegenwart bestimmter Katalysatoren auf Alkansäuren einwirkt.
In der chemischen Industrie wendet man diesen Vorgang zur Herstellung höhermolekularer Alkanole (z. B. $C_{18}H_{37} \cdot OH$) an, die für die Erzeugung moderner Waschmittel benötigt werden.
Die wissenschaftlichen Namen der Alkansäuren werden aus dem Namen des zugrunde liegenden Kohlenwasserstoffs und der Endung **„-säure"** gebildet. Darüber hinaus sind aber auch noch ältere Bezeichnungen gebräuchlich.
Die Alkansäuren bilden mit Metallen Salze. Die Namen der Salze werden gebildet, indem man an den Namen des zugrunde gelegten Kohlenwasserstoffs die Endung **„-at"** anhängt. Meist sind aber noch die älteren Bezeichnungen gebräuchlich. In Tabelle 8 sind einige einfach aufgebaute Alkansäuren und ihre Salze genannt.

Tabelle 8. Niedrigmolekulare Alkansäuren

Säure			Salz	
Formel	wissenschaftliche Bezeichnung	ältere Bezeichnung	wissenschaftliche Bezeichnung	ältere Bezeichnung
$H \cdot COOH$	Methansäure	Ameisensäure	Methanat	Formiat
$CH_3 \cdot COOH$	Äthansäure	Essigsäure	Äthanat	Azetat
$C_2H_5 \cdot COOH$	Propansäure	Propionsäure	Propanat	Propionat
$C_3H_7 \cdot COOH$	Butansäure	Buttersäure	Butanat	Butyrat
$C_4H_9 \cdot COOH$	Pentansäure	Valeriansäure	Pentanat	Valerat

Für die Alkansäuren wird vielfach auch die Bezeichnung **Karbonsäuren** verwendet. Kettenförmige unverzweigte Alkansäuren, in denen die Gruppe —COOH nur einmal vorkommt, werden als **Fettsäuren** bezeichnet, da verschiedene Vertreter dieser Gruppe Bestandteile der Fette sind. Da die Alkansäuren nur eine Karboxylgruppe je Molekül enthalten, gehören sie zu den Monokarbonsäuren. Die Alkansäuren bilden je nach der Struktur der Kohlenwasserstoffreste (unverzweigte und verzweigte Ketten) verschiedene homologe Reihen. Auch bei diesen Reihen ist mit Zunahme der Molekülgröße eine Änderung der Eigenschaften festzustellen. Die Erkenntnis, daß quantitative Veränderungen qualitative Veränderungen zur Folge haben, wird wiederum bestätigt. Darüber hinaus zeigt sich bei den Eigenschaften der Alkansäuren wieder das Zusammenwirken zweier Faktoren: Ähnlich wie bei den Alkanolen bestimmen auch bei den Alkansäuren die Eigenschaften der funktionellen Gruppe stark das Verhalten der niedrigmolekularen Verbindungen. Mit wachsender Anzahl der Kohlenstoffatome gewinnt dagegen der Kohlenwasserstoffrest immer mehr Einfluß auf die Eigenschaften der Alkansäuren. Die größte Bedeutung hat die Reihe der unverzweigten Alkansäuren. Einige Eigenschaften der Verbindungen dieser Reihe sind in Tabelle 9 zusammengefaßt.

Tabelle 9. Einige Eigenschaften der Alkansäuren

Formel	Verhalten gegen Wasser	Zustand bei Raumtemperatur	Geruch
$H \cdot COOH$	unbegrenzt mischbar	leicht bewegliche Flüssigkeit	stechend sauer
$CH_3 \cdot COOH$	unbegrenzt mischbar	leicht bewegliche Flüssigkeit	stechend sauer
$C_2H_5 \cdot COOH$	unbegrenzt mischbar	leicht bewegliche Flüssigkeit	stechend sauer
$C_3H_7 \cdot COOH$	weniger gut löslich	leicht ölige Flüssigkeit	unangenehm
$C_4H_9 \cdot COOH$	weniger gut löslich	leicht ölige Flüssigkeit	unangenehm
$C_5H_{11}\ COOH$	wenig löslich	leicht ölige Flüssigkeit	unangenehm
$C_6H_{13} \cdot COOH$	wenig löslich	ölige Flüssigkeit	unangenehmer Geruch, der mit steigendem Molekulargewicht schwächer wird.
$C_7H_{15}\ COOH$	schlecht löslich	ölige Flüssigkeit	
$C_8H_{17} \cdot COOH$	schlecht löslich	ölige Flüssigkeit	
$C_9H_{19} \cdot COOH$	unlöslich	fest	geruchlos
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
$C_{15}H_{31} \cdot COOH$	unlöslich	fest	geruchlos
$C_{16}H_{33} \cdot COOH$	unlöslich	fest	geruchlos
$C_{17}H_{35} \cdot COOH$	unlöslich	fest	geruchlos

● *Leiten Sie aus den Angaben in Tabelle 9 die allgemeine Summenformel der Alkansäuren ab!*
Stellen Sie bei Durchführung des Versuches S 42 das Verhalten von Alkansäuren gegenüber Karbonaten fest!
Was schließen Sie aus diesem Versuch?

2. Methansäure (Ameisensäure). Die Methansäure **HCOOH** kommt in den Giftdrüsen der Ameisen und Bienen, in den Brennhaaren der Brennessel sowie in kleinen Mengen in Tannennadeln vor. Sie wird vielfach auch als **Ameisensäure** bezeichnet. Methansäure wird technisch aus Natriumhydroxid und Kohlenmonoxid hergestellt. Man läßt Generatorgas bei 110 °C unter 6 bis 8 at Druck auf festes Natriumhydroxid oder Natronlauge einwirken. Bei diesem Vorgang entsteht Natriummethanat, das Natriumsalz der Methansäure:

$$NaOH + CO \rightarrow \underset{\text{Natriummethanat}}{HCOONa} \qquad (1)$$

● *Erläutern Sie an Hand einer Reaktionsgleichung die Umsetzung von Natriumhydroxid mit Kohlendioxid!*
Erläutern Sie die Herstellung von Generatorgas!

Aus dem Natriummethanat der Umsetzung (1) bildet sich durch Einwirkung von Schwefelsäure die Methansäure:

$$2\,HCOONa + H_2SO_4 \rightarrow 2\,HCOOH + Na_2SO_4 \qquad (2)$$

Die bei der Reaktion (2) verwendete Schwefelsäure ist mit Methansäure verdünnt, da konzentrierte Schwefelsäure Methansäure in Kohlenmonoxid und Wasser zerlegt:

$$HCOOH \xrightarrow{\text{konz. } H_2SO_4} CO\uparrow + H_2O$$

45
Wir gießen etwa 4 ml konzentrierte Schwefelsäure in ein Reagenzglas, geben 1 ml konzentrierte Methansäure dazu und erwärmen. Das entweichende Gas wird entzündet. Der Versuch ist unter dem Abzug durchzuführen!
Welches Aussehen hat die Flamme?

Methansäure wird durch Reaktion von Kohlenmonoxid mit Natriumhydroxid hergestellt. Dabei bildet sich Natriummethanat, das durch Schwefelsäure in Methansäure und Natriumsulfat zerlegt wird.

Wasserfreie Methansäure ist eine farblose, leichtbewegliche Flüssigkeit, die stechend riecht und mit Wasser oder Äthanol in jedem Verhältnis mischbar ist. Sie wirkt stark ätzend und erzeugt auf der Haut Blasen.

46
Wir gießen in zwei Reagenzgläser je 5 ml 50%ige Methansäure und geben kleine Stücke von Magnesium und Zink dazu.
Was beobachten Sie?

Methansäure reagiert mit unedlen Metallen, wobei Wasserstoff und Salze der Methansäure, die **Methanate (Formiate),** entstehen:

$$2\,HCOOH + Mg \rightarrow \underset{\text{Magnesiummethanat}}{(HCOO)_2Mg} + H_2\uparrow$$

$$2\,HCOOH + Zn \rightarrow \underset{\text{Zinkmethanat}}{(HCOO)_2Zn} + H_2\uparrow$$

Methansäure zeigt einige besondere chemische Eigenschaften, die in ihrer Struktur begründet sind. Wie die Betrachtung der nachstehenden Formeln zeigt, enthält das Methansäuremolekül





sowohl die funktionelle Gruppe der Alkansäuren (—COOH) als auch die funktionelle Gruppe der Alkanale (—CHO). Die Gruppe —CHO verleiht den Verbindungen, in denen sie auftritt, Reduktionsvermögen. Die Methansäure wirkt daher auch als Reduktionsmittel.

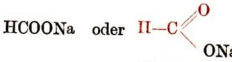
47

Wir füllen 3 ml 10%ige Schwefelsäure in ein Reagenzglas und versetzen sie mit so viel Kaliumpermanganatlösung, daß die Flüssigkeit kräftig violett gefärbt ist. Dann geben wir 5 ml 50%ige Methansäure dazu und erhitzen.
Was beobachten Sie?

Methansäure reduziert in Gegenwart von Schwefelsäure das Kaliumpermanganat zu fast farblosem Mangan(II)-sulfat und wird dabei zu Kohlendioxid und Wasser oxydiert:

$$HCOOH + O \rightarrow H_2O + CO_2 \uparrow$$

Nicht nur die freie Methansäure, sondern auch ihre Salze enthalten die reduzierende Gruppe —CHO.
Als Beispiel sei die Formel des Natriummethanats angeführt:



Natriummethanat

- *Prüfen Sie das Reduktionsvermögen von Natriummethanat mit Hilfe von ammoniakalischer Silbersalzlösung nach Versuch S 43!*

In der Deutschen Demokratischen Republik wird Methansäure im VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld und im VEB Chemische Fabrik Finowtal hergestellt. Methansäure wirkt stark desinfizierend und konservierend. Sie wird zur Desinfektion von Bier- und Weinflaschen und zum Konservieren von Fruchtsäften und Silofutter verwendet. Das viel verwendete Siliermittel **Amisal** ist eine Methansäurelösung.
Auch die Salze der Methansäure dienen als Konservierungsmittel. Das vom VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld in den Handel gebrachte Siliermittel **Kofa-Salz** enthält zum Beispiel Kalziummethanat $(HCOO)_2Ca$ und Natriumnitrit. Methansäure und Kofa-Salz sind besonders zur Einsäuerung von sehr eiweißreichen, schwer vergärbaren Futterpflanzen, wie Luzerne und Wicken, geeignet. Methansäure wird auch in größeren Mengen in der Textilveredlung, zum Beispiel in der Färberei, verwendet. In der Gerberei dient sie zum Entkalken des Leders.

3. Äthansäure (Essigsäure). Die Äthansäure $CH_3 \cdot COOH$, auch unter dem Namen **Essigsäure** bekannt, ist die wichtigste der niedrigmolekularen Alkansäuren. Sie wird vorwiegend nach zwei Verfahren hergestellt.
Die **Äthansäuresynthese,** die in unserer Republik im VEB Chemische Werke Buna Schkopau durchgeführt wird, ist das wichtigste Herstellungsverfahren. Man geht bei diesem Verfahren von Äthin aus und bildet durch katalytische Anlagerung von Wasser Äthanal. Das gebildete Äthanal wird dann katalytisch mit Luft oder reinem Sauerstoff zu Äthansäure oxydiert (Abb. 53).

$$CH{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_3 \cdot C(=O)H$$

Äthin — Äthanal

$$2\,CH_3 \cdot C(=O)H + O_2 \xrightarrow{\text{Kat.}} 2\,CH_3 \cdot C(=O)OH$$

Äthanal — Äthansäure

Man erhält eine 95- bis 97%ige rohe Säure, die durch Destillation gereinigt werden muß. Äthansäure wurde erstmalig Mitte des vorigen Jahrhunderts von dem deutschen Chemiker Hermann Kolbe, einem Schüler Wöhlers, synthetisch hergestellt. Kolbe konnte damit die Forschungsergebnisse Wöhlers erneut bestätigen.

● *Erläutern Sie am Beispiel der Äthansäure anhand von Reaktionsgleichungen die technische Herstellung einer organischen Verbindung aus Kohle und Kalk!*

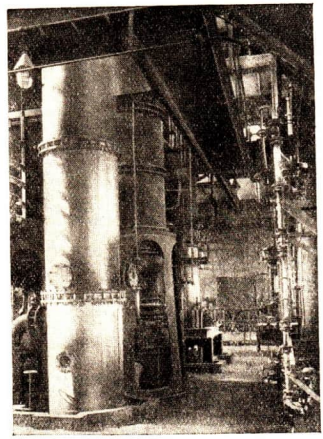


Abb. 53 Äthansäure-Kontaktanlage im VEB Chemische Werke Buna Schkopau

Das **Gärungsverfahren,** das dem Menschen schon seit Jahrtausenden bekannt ist, beruht auf der **Essiggärung** äthanolhaltiger Flüssigkeiten. Das Verfahren ist eine katalytisch beschleunigte Oxydation von Äthanol zu Äthansäure:

$$CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH + O_2 \rightarrow CH_3 \cdot COOH + H_2O$$

Als Oxydationsmittel dient der Sauerstoff der Luft. Als Katalysatoren wirken Enzyme, die von Essigbakterien erzeugt werden. Die gebildete Äthansäure ist im gün-

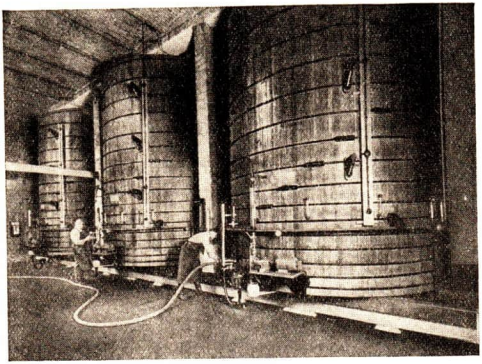


Abb. 54 Anlage zur Erzeugung von Gärungsessig in der Konsum-Essig- und Mostrichfabrik Berlin

stigsten Falle etwa 14%ig, da die Bakterien nur bis zu dieser Säurekonzentration lebensfähig sind. Das Gärungsverfahren, das auch als **Schnellessigverfahren** bezeichnet wird, dient zur Herstellung von Speiseessig und wird in 2 bis 4 Meter hohen Behältern durchgeführt (Abb. 54). Als Ausgangsmaterial dient meist 6- bis 10%iges Äthanol, das man über Buchenholzspäne rieseln läßt. Auf den Spänen befinden sich die Essigbakterien. Im Gegenstrom dazu wird Luft durch den Gärbehälter geblasen. Neuerdings arbeitet man in einigen Fabriken ohne Buchenholzspäne und gibt die Essigbakterien direkt in die Gärflüssigkeit.

Äthansäure wird durch Synthese aus Äthin und durch Gärung äthanolhaltiger Flüssigkeiten hergestellt.

Konzentrierte wasserfreie Äthansäure ist eine stechend riechende, klare, farblose, stark ätzende Flüssigkeit, die bereits bei 16,6 °C zu einer eisartigen Masse erstarrt. Aus diesem Grunde wird konzentrierte Äthansäure oft als **Eisessig** bezeichnet. Äthansäure besitzt im Gegensatz zu Methansäure keine Reduktionswirkung.

48

Wir wiederholen Versuch 46, setzen aber an Stelle von Methansäure etwa die gleiche Menge Äthansäure hinzu.
Was beobachten Sie?

- *Erläutern Sie die Umsetzung von Magnesium und Äthansäure anhand der Reaktionsgleichung!*

Die Salze der Äthansäure heißen **Äthanate (Azetate).** Sie sind größtenteils in Wasser gut löslich.
Erhitzt man wäßrige Lösungen von Eisen-, Chrom- und Aluminiumäthanaten zum Sieden, so bilden sich unlösliche Verbindungen. Auf dieser Reaktion beruht die Fixierung von Metallverbindungen auf Textilfasern, die sogenannte Faserbeize, zur Erzeugung echter Färbungen.
Die zur Behandlung von Schwellungen und Entzündungen viel verwendete **essigsaure Tonerde** ist eine etwa 10%ige Lösung von Aluminiumhydroxidäthanat $(CH_3 \cdot COO)_2\,Al(OH)$ in Wasser.
Äthansäure greift unedle Metalle an. Aus diesem Grunde dürfen mit Essig angesäuerte Speisen nicht in Metallgefäßen zubereitet oder aufbewahrt werden. Selbst das Halbedelmetall Kupfer reagiert in Gegenwart von Luft mit Äthansäure unter Bildung von verschiedenen Kupferhydroxidäthanaten, die man als **Grünspan** bezeichnet.

49

Wir legen einen Kupferblechstreifen so in konzentrierte Äthansäure, daß etwa die Hälfte des Bleches mit Flüssigkeit bedeckt ist. Nach einigen Tagen hat sich Grünspan gebildet.

Äthansäure ist wie alle niedrigmolekularen Alkansäuren eine verhältnismäßig leicht flüchtige Verbindung und kann daher durch schwerflüchtige Säuren aus ihren Salzen verdrängt werden.

- *Führen Sie die Verdrängung von Äthansäure aus Natriumäthanat mit Hilfe von Schwefelsäure nach Versuch S 44 durch!*
  Wie lautet die Reaktionsgleichung für diesen Vorgang?

Die Äthansäure ist ein wichtiges Zwischenprodukt der chemischen Industrie und dient zur Herstellung von Chemiefasern (Azetatkunstseide), Sicherheitsfilmen, Farbstoffen, Arzneimitteln (z. B. Acesal), Riechstoffen, Lösungsmitteln und vielen anderen Produkten. Beträchtliche Mengen von Äthansäure werden auch zum Würzen von Speisen und als Konservierungsmittel, besonders für Fischwaren, verwendet.

Äthansäure wird in großen Mengen als Ausgangsstoff für die synthetische Herstellung zahlreicher Produkte verwendet. Sie dient ferner zum Würzen von Speisen und als Konservierungsmittel.

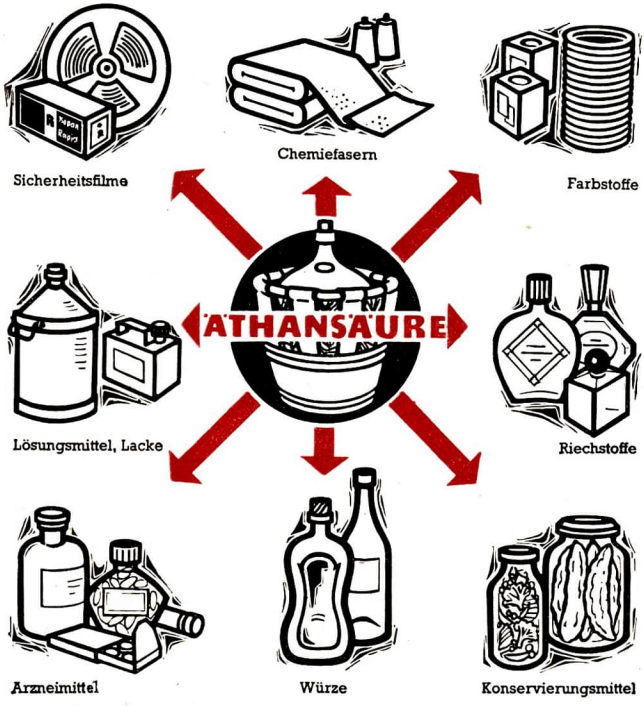


Abb. 55 Verwendung von Äthansäure



Abb. 56 Essigessenzflasche

In Abbildung 55 ist die Verwendung der Äthansäure schematisch dargestellt.
Der handelsübliche **Speiseessig** enthält 5% Äthansäure. **Doppelessig** hat einen Säuregehalt von 10%. Unter der Bezeichnung **Essigessenz** wird eine 80%ige Äthansäure verkauft, die erst nach 20facher Verdünnung als Essig verwendet werden kann. Unverdünnte Essigessenz darf wegen ihrer starken Ätzwirkung auf keinen Fall genossen werden. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird Essigessenz in besonders geformten Flaschen in den Handel gebracht (Abb. 56).

Vorsicht beim Umgang mit Essigessenz! Sie wirkt stark ätzend und darf daher zum Würzen der Speisen nur in etwa 20facher Verdünnung verwendet werden!

4. Hexadekansäure und Oktadekansäure. Zwei wichtige Alkansäuren mit verhältnismäßig langen Kohlenstoffketten sind:

Hexadekansäure (Palmitinsäure) $C_{15}H_{31} \cdot COOH$
Oktadekansäure (Stearinsäure) $C_{17}H_{35} \cdot COOH$

Beide Verbindungen sind wichtige Bausteine der pflanzlichen und tierischen Fette. Sie haben große Bedeutung für die Herstellung von Seifen und Neutralwaschmitteln. Die Hexadekansäure und die Oktadekansäure sind weiße, geruchlose, bei Raumtemperatur feste Stoffe, die in Wasser unlöslich sind. Dagegen lösen sie sich gut in organischen Lösungsmitteln.

Leiten Sie die Unlöslichkeit in Wasser und den Aggregatzustand dieser beiden Alkansäuren aus ihrer Stellung in der entsprechenden homologen Reihe ab!

Die Hexadekansäure und die Oktadekansäure leiten sich von Alkanen ab. Sie sind gesättigte Verbindungen.

50

In ein Reagenzglas geben wir eine Spatelspitze Oktadekansäure und lösen sie in 5 ml Tetrachlormethan. Dann fügen wir 2 ml Bromwasser hinzu und schütteln kräftig.
Was stellen Sie fest?

Hexadekansäure, Oktadekansäure und andere unverzweigte Alkansäuren (Fettsäuren) werden in beträchtlichen Mengen sowohl durch Fettspaltung als auch synthetisch hergestellt. Bei der **Fettsäuresynthese** wird ein Gemisch von höheren Alkanen (Paraffin) katalytisch zu Alkansäuren oxydiert. Als Ausgangsstoffe für diesen Prozeß dienen Paraffingatsch oder Braunkohlenparaffin.



Abb. 57 Paraffin-Oxydatoren im VEB Deutsches Hydrierwerk Rodleben

Die Paraffinoxydation wird bei Temperaturen von 100 bis 120 °C in hohen Zylindern aus Reinaluminium durchgeführt (Abb. 57). Die bei diesen Temperaturen flüssigen Alkangemische werden mit den Katalysatoren (Mangansalzen) gut gemischt. Als Oxydationsmittel dient Luft, die durch Düsen aus porösen Keramikmassen in die flüssigen Alkane eingeblasen wird. Da die Paraffinoxydation unter Wärmeabgabe verläuft, die Temperatur von 120 °C aber nicht überschritten werden darf, sind die Reaktionsgefäße mit einer Wasserkühlung ausgerüstet.
Bei dieser Reaktion werden die langen Alkanmoleküle oxydiert und gespalten. Es entstehen Alkansäuren sehr unterschiedlicher, aber kürzerer Kettenlänge als die der Ausgangsstoffe, zum Beispiel:

$$2\,C_{24}H_{50} + 5\,O_2 \rightarrow C_5H_{11} \cdot COOH + C_9H_{19} \cdot COOH + C_{13}H_{27} \cdot COOH + C_{17}H_{35} \cdot COOH + 2\,H_2O$$

Man erhält kompliziert zusammengesetzte Gemische von Fettsäuren, die gereinigt und durch Destillation in bestimmte Fraktionen zerlegt werden.

Die Fettsäuresynthese wird bei uns im VEB Deutsches Hydrierwerk Rodleben durchgeführt. Die nach diesem Verfahren hergestellten Fettsäuren dienen vor allem zur Erzeugung von Seifen und Neutralwaschmitteln. Die Fettsäuresynthese hat große volkswirtschaftliche Bedeutung, da mit Hilfe dieses Verfahrens die Verwendung von Fetten zur Seifenherstellung erheblich eingeschränkt wird.

Hexadekansäure, Oktadekansäure und andere Fettsäuren können durch katalytische Oxydation von Paraffin hergestellt werden. Die synthetisch hergestellten Fettsäuren dienen als Ausgangsstoffe für die Herstellung von Seifen und Neutralwaschmitteln.

Ungesättigte Monokarbonsäuren; Alkensäuren

Ein wichtiger Vertreter aus der Gruppe der ungesättigten Monokarbonsäuren ist die **Oktadekensäure $C_{17}H_{33} \cdot COOH$.** Sie ist der wichtigste Baustein der pflanzlichen und tierischen Öle und wird deshalb auch als **Ölsäure** bezeichnet.
Als Derivat eines Alkens enthält sie eine Doppelbindung im Molekül.

$$CH_3 \cdot (CH_2)_7 \cdot CH = CH \cdot (CH_2)_7 \cdot COOH$$

Oktadekensäure

Der ungesättigte Charakter dieser Verbindung kommt auch in der Anzahl der Wasserstoffatome zum Ausdruck. Die Oktadekensäure enthält zwei Wasserstoffatome weniger als die Oktadekansäure, welche die gleiche Anzahl von Kohlenstoffatomen aufweist:

Oktadekensäure (Ölsäure)	$C_{17}H_{33} \cdot COOH$
Oktadekansäure (Stearinsäure)	$C_{17}H_{35} \cdot COOH$

Als ungesättigte Verbindung besitzt die Oktadekensäure Additionsvermögen. Wir weisen diese Eigenschaft in einem Versuch nach:

51

In ein Reagenzglas geben wir etwa 1 ml Oktadekensäure (Ölsäure) und verfahren weiter entsprechend Versuch 50.
Was stellen Sie fest?
Was schließen Sie aus Ihrer Feststellung?
Vergleichen Sie diese Reaktion mit der von Brom und Äthen!
Welche Gemeinsamkeit haben beide Umsetzungen?

● *Erläutern Sie den Begriff „Addition"!*
Welche Menge Brom wird von 14,1 g Oktadekensäure addiert?

Die Oktadekensäure ist eine farblose, geruchlose, ölige, in Wasser unlösliche Flüssigkeit. Sie löst sich gut in vielen organischen Lösungsmitteln.

Oktadekensäure (Ölsäure) ist eine ungesättigte Monokarbonsäure.

Gesättigte Dikarbonsäuren; Alkandisäuren

Alkanderivate mit zwei Karboxylgruppen an den Enden der Kohlenstoffkette werden als **Alkandisäuren** bezeichnet. Einige einfache Verbindungen dieser Art sind:

COOH | COOH	COOH | CH_2 | COOH	COOH | CH_2 | CH_2 | COOH
Äthandisäure (Oxalsäure)	Propandisäure (Malonsäure)	Butandisäure (Bernsteinsäure)

Alle Alkandisäuren sind feste Stoffe, die gut kristallisieren.
Äthandisäure (Oxalsäure) kommt (meist als Salz) in vielen Pflanzen, so zum Beispiel im Sauerklee, Sauerampfer, in Algen, Rhabarber, Spinat, in einigen Grasblättern, Pilzen, Flechten, im Bast der Linde und in Buchenblättern vor. Sie ist ein weißer, fester, geruchloser, wasserlöslicher Stoff. Äthandisäure wirkt reduzierend und wird dabei zu Kohlendioxid und Wasser oxydiert:

$$2\ HOOC \cdot COOH + O_2 \rightarrow 4\ CO_2 \uparrow + 2\ H_2O$$

● *Weisen Sie die Reduktionswirkung der Äthandisäure durch Versuch S 45 nach!*

Die Salze der Äthandisäure werden als **Äthandiate (Oxalate)** bezeichnet. Die Alkalimetallsalze der Äthandisäure sind in Wasser leicht löslich, die Äthandiate der Erdalkali- und Schwermetalle dagegen nahezu unlöslich. Die geringe Löslichkeit von Kalziumäthandiat



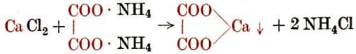
wird in der chemischen Analyse sowohl zur Fällung von Äthandisäure als auch zum Kalziumnachweis benutzt.

● *Führen Sie die Fällung von Kalziumäthandiat nach Versuch S 46 durch!*
Beurteilen Sie auf Grund ihrer Feststellungen bei diesem Versuch die Löslichkeit von Kalziumäthandiat in Salzsäure beziehungsweise Äthansäure!

52

In zwei Reagenzgläser geben wir gleiche Mengen je einer Probe von einem kalkarmen und einem kalkreichen Boden und fügen gleiche Mengen 10%iger Salzsäure hinzu.
Was beobachten Sie?
Schlußfolgern Sie aus Ihrer Beobachtung und stellen Sie die Gleichung für den ablaufenden Vorgang auf!
Dann filtrieren wir aus den beiden Reagenzgläsern gleiche Flüssigkeitsmengen ab und versetzen sie mit ausreichenden Mengen von festem Natriumäthanat. Zu der nun äthansauren Lösung geben wir 10%ige Ammoniumäthandiatlösung.
Was beobachten Sie?

Durch Zugabe von Ammoniumäthandiatlösung zu einer äthansauren Lösung von Kalziumchlorid wird Kalziumäthandiat ausgefällt:



Aus den Mengen der entstandenen Niederschläge kann man auf den Kalkgehalt der untersuchten Böden schließen. Der Versuch 52 kann auch zum Nachweis des Kalkgehaltes von Düngemitteln benutzt werden.
Größere Mengen von Äthandisäure wirken auf den menschlichen Körper stark giftig. Nach den bisherigen Forschungsergebnissen kann man annehmen, daß die Säure die Kalziumverbindungen des Blutes fällt und dadurch Veränderungen im Körper hervorruft, die lebensgefährlich sein können.
Ein Äthandiat des Kaliums, das im Handel als **Kleesalz** bezeichnet wird, hat die Eigenschaft, Eisenhydroxid (Rost) aufzulösen.

● *Lösen Sie Rost nach Versuch S 47!*

Äthandisäure und ihre Salze werden in der Textilveredlung (Färberei, Zeugdruck), ferner zum Entfernen von Rostflecken, zum Bleichen von Strohgeflechten, zur Herstellung von Farbstoffen und Metallputzmitteln sowie in der chemischen Analyse verwendet.

Äthandisäure (Oxalsäure) kommt in vielen Pflanzen vor. Die Säure und ihre Salze, die Äthandiate (Oxalate), finden vielseitige Verwendung in der Industrie, im Haushalt und in der chemischen Analyse.

Hydroxysäuren (Oxysäuren)

Als Hydroxysäuren werden organische Verbindungen bezeichnet, die sowohl Hydroxyl- als auch Karboxylgruppen enthalten. Sie zeigen das Verhalten von Hydroxylverbindungen (z. B. Alkanolen) und zugleich auch das von Säuren. Eine wichtige Hydroxysäure ist die **2-Hydroxypropansäure,** die auch **Milchsäure** genannt wird. Sie hat die Formel

$$CH_3 \cdot \underset{OH}{CH} \cdot COOH$$

2-Hydroxypropansäure entsteht bei der Milchsäuregärung aus Zucker unter dem Einfluß bestimmter Enzyme, die von den Milchsäurebakterien gebildet werden. Sie kommt in saurer Milch, Sauerkraut, sauren Gurken, Käse, Silofutter und anderen Produkten vor. Im menschlichen und tierischen Organismus entsteht sie durch Muskelarbeit als Abbauprodukt von Glukose (Traubenzucker).
Milchsäure wirkt schon bei einer Konzentration von 1% hemmend auf die Lebensvorgänge der Bakterien und ist deshalb ein gutes Konservierungsmittel für Gemüse und für Futterpflanzen.



Für die Silierung sind Hochsilos besonders günstig (Abb. 58). Häufig werden jedoch Mais und andere Futterpflanzen in Erdgruben oder Strohsilos einsiliert. Dabei ist lehmiger Boden wegen seiner Wasserundurchlässigkeit anderen Böden vorzuziehen, weil er ein Abfließen der Gärflüssigkeit verhindert. Da die Anwesenheit von Luft die Entwicklung schädlicher Erreger (z. B. Fäulnisbakterien) begünstigt, wird der Silomais oder anderes zu silierendes Futter vorher zerkleinert und dann fest eingestampft. Auf diese Weise wird weitgehender Luftabschluß erreicht, so daß die Gärung in erster Linie als Milchsäuregärung abläuft. Die durch die Milchsäuregärung in den Nahrungs- und Futtermitteln entstandenen geringen Milchsäuremengen werden von Mensch und Tier gut vertragen.

Abb. 58 Moderner Hochsilo

Die 2-Hydroxypropansäure wird industriell erzeugt und kommt als klare, sirupartige Flüssigkeit in den Handel. Sie ist gut in Wasser löslich und dient zur Herstellung von Limonaden und Essenzen; sie wird ferner in der Zahnheilkunde als Ätzmittel, in der Gerberei zum Entkalken des Leders und als Ausgangsstoff für chemische Prozesse verwendet.

2-Hydroxypropansäure (Milchsäure) entsteht aus Zucker durch Milchsäuregärung. Sie dient als Konservierungsmittel für Nahrungs- und Futtermittel und zu vielen anderen Zwecken.

Im Zusammenhang mit der Methansäure wurden Siliermittel aufgeführt. Nennen Sie diese Mittel und geben Sie deren Zusammensetzung an!

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Sprechen Sie über Aufbau und Benennung der Alkansäuren!
2. Vergleichen Sie die im Lehrbuch genannten homologen Reihen der Alkanole und Alkansäuren!
3. Stellen Sie die Formeln für 2,2-Dimethylpropansäure und 2-Methylbutansäure auf!
4. Bilden Sie die wissenschaftlichen Bezeichnungen folgender Verbindungen:

a) $HOOC \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$

b) $CH_3 \cdot \overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}}} \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$

c) $CH_3 \cdot \overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{CH}} \cdot \overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{CH}} \cdot COOH$

Beachten Sie bei der Namensbildung der Verbindungen b und c, daß das Kohlenstoffatom der Karboxylgruppe immer die Nummer 1 erhält!

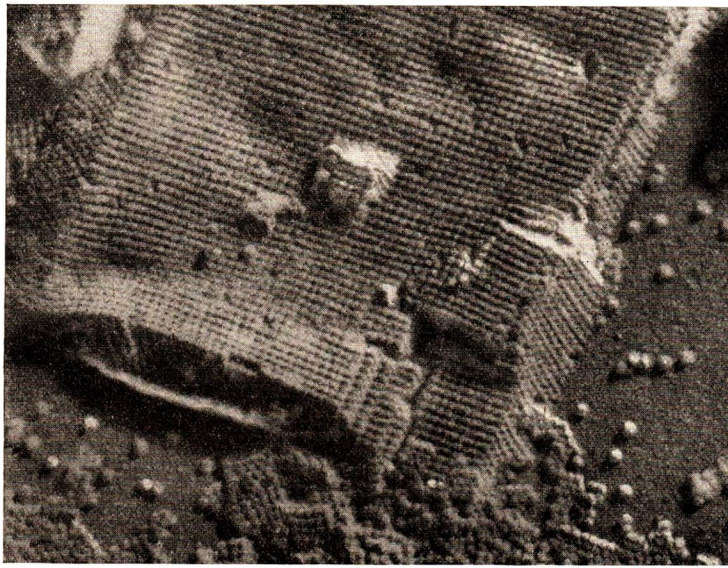
5. Erläutern Sie die Herkunft des Begriffes „Fettsäuren" und nennen Sie Vertreter dieser Gruppe!
6. Schildern Sie die technische Herstellung der Methansäure!
7. Erläutern Sie anhand von Reaktionsgleichungen den Weg zur Darstellung von Methansäure aus Methanol!
8. Wieviel Methansäure entsteht bei der Umsetzung von 136 kg Natriummethanat mit Schwefelsäure?
9. Wieviel Kubikmeter Kohlenmonoxid (Normzustand) werden zur Herstellung von 23 t Methansäure theoretisch benötigt?
10. Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden gebraucht, um 45 g Methanal zu Methansäure zu oxydieren?
11. Welche Eigenschaften hat Methansäure?
12. Begründen Sie das Reduktionsvermögen der Methansäure aus ihrer Struktur!
13. Wieviel Liter Kohlenmonoxid (Normzustand) entstehen bei Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure auf 4,6 g Methansäure?
14. Nennen Sie Namen und Formeln einiger Methanate!

15. Erläutern Sie anhand einer Reaktionsgleichung die Umsetzung von Methansäure mit Eisen!
16. Wieviel Gramm Eisen werden von 46 g einer 10%igen Methansäure zu Eisen(II)-methanat aufgelöst?
17. Wozu wird Methansäure verwendet?
18. Beschreiben Sie die verschiedenen Herstellungsverfahren der Äthansäure!
19. Vergleichen Sie die alkoholische Gärung mit der Essiggärung!
20. Vergleichen Sie die Eigenschaften von Methansäure und Äthansäure! Stellen Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede heraus!
21. Wozu dienen Äthansäure und ihre Salze?
22. Wieviel kg Äthansäure können theoretisch aus 33 600 l Äthin (Normzustand) erzeugt werden?
23. Wieviel kg Äthansäure entstehen theoretisch aus 690 kg Äthanol?
24. Berechnen Sie die Menge 10%iger Äthansäure, die theoretisch zum Lösen von 32,7 g Zink benötigt wird!
25. Wieviel Liter Wasserstoff (Normzustand) entstehen, wenn 12,16 g Magnesium mit ausreichenden Mengen Äthansäure reagieren?
26. Wieviel Äthansäure entsteht, wenn 41 g Natriumäthanat mit Schwefelsäure reagieren?
27. Wieviel 5%ige Äthansäure (Speiseessig) kann man aus 50 g 80%iger Äthansäure (Essigessenz) herstellen?
28. Nennen Sie die Formeln von Hexadekansäure und Oktadekansäure!
Welche älteren Bezeichnungen werden für diese Verbindungen gebraucht?
29. Vergleichen Sie die Formeln und das chemische Verhalten von Oktadekansäure und Oktadekensäure und begründen Sie die Unterschiede aus der Struktur dieser Verbindungen!
30. Erläutern Sie die Durchführung der Fettsäuresynthese!
31. Nach welchem Verfahren wird Paraffingatsch hergestellt, das als Ausgangsstoff für die Fettsäuresynthese dient?
32. Wo kommt Äthandisäure vor und welche Eigenschaften hat diese Verbindung?
33. Schreiben Sie die Formeln von Kalziumäthandiat, Natriumäthandiat, Magnesiumäthandiat und Ammoniumäthandiat auf und geben Sie die Wasserlöslichkeit dieser Salze an!
34. Wieviel Kalziumäthandiat wird aus 90 g einer 5%igen Äthandisäurelösung durch Kalziumionen ausgefällt?
35. Es sollen 32 g Kalziumäthandiat aus einer Kalziumchloridlösung gefällt werden.
Wieviel Gramm einer 10%igen Ammoniumäthandiatlösung werden hierzu benötigt?
36. Wie entsteht 2-Hydroxypropansäure und wo kommt sie vor?
37. Berechnen Sie den Sauerstoffgehalt der 2-Hydroxypropansäure in Prozenten!
38. Nennen Sie wichtige Verwendungen der 2-Hydroxypropansäure!

6. KAPITEL

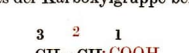
Aminosäuren – Eiweiße

Die Eiweiße sind eine wichtige Gruppe von organischen Verbindungen. Sie sind Bestandteil des Plasmas der pflanzlichen und tierischen Zellen. Alle Lebensvorgänge sind an Eiweiß gebunden. Menschlichem Forschergeist ist es gelungen, das Bauprinzip dieser kompliziert zusammengesetzten Stoffe aufzuklären und sogar Eiweißmoleküle, wie hier die eines Kristalls des Tabaknekrosevirus unter dem Elektronenmikroskop sichtbar zu machen. Die Bausteine der Eiweiße, die Aminosäuren, sind Derivate der Karbonsäuren. Die Kenntnis vom Aufbau, den Eigenschaften und den Reaktionen der Aminosäuren ist von großer Bedeutung für die Erforschung der Eiweiße und der daran gebundenen Lebensvorgänge. Die Forschungsergebnisse setzen uns auch in die Lage, wissenschaftlich begründete Empfehlungen für eine gesunde Ernährung des Menschen und unserer Nutztiere auszuarbeiten.



Aminosäuren

1. Aufbau und Benennung. Die Aminosäuren enthalten neben der Karboxylgruppe als charakteristischen Bestandteil die **Aminogruppe —NH_2.** Je nach der Stellung dieser Gruppe im Rest der Karbonsäure unterscheidet man verschiedene Typen von Aminosäuren. Von besonderer biologischer Bedeutung sind dabei solche Aminosäuren, bei denen die Aminogruppe an das der Karboxylgruppe benachbarte Kohlenstoffatom gebunden ist, zum Beispiel:



2-Aminopropansäure

Dieses Kohlenstoffatom erhält die Ziffer 2. Deshalb nennt man die genannten Verbindungen **2-Aminosäuren** oder auch, nach der älteren Bezeichnungsart, **α-Aminosäuren.** In Tabelle 10 sind einige wichtige 2-Aminosäuren und ihre Namen aufgeführt.

Tabelle 10. Einige wichtige 2-Aminosäuren

Formel	wissenschaftliche Bezeichnungen	ältere Bezeichnungen
$CH_2(NH_2)-COOH$	Aminoäthansäure	Glykokoll Glyzin Aminoessigsäure
$CH_3-CH(NH_2)-COOH$	2-Aminopropansäure	Alanin α-Aminopropionsäure
$CH_3-CH(CH_3)-CH(NH_2)-COOH$	2-Amino-3-methyl-butansäure	Valin α-Amino-isovalerian-säure
$H_2N-CH(COOH)-CH_2-CH_2-COOH$	2-Aminopentandisäure	Glutaminsäure α-Aminoglutarsäure

2. Aminoäthansäure. Die einfachste 2-Aminosäure ist die Aminoäthansäure $H_2N \cdot CH_2 \cdot COOH$, die auch als **Glykokoll** oder **Glyzin** bezeichnet wird. Sie ist eine süß schmeckende, in Wasser leichtlösliche, feste Substanz, die früher aus Leim hergestellt wurde. Heute wird die Aminoäthansäure synthetisch erzeugt.

Das chemische Verhalten dieser Verbindung wird durch die Anwesenheit der (sauer reagierenden) Karboxylgruppe —COOH und der (basisch wirkenden) Aminogruppe $-NH_2$ bestimmt. Unter bestimmten Bedingungen reagiert die Aminogruppe eines Aminoäthansäuremoleküls mit der Karboxylgruppe eines zweiten Aminoäthansäuremoleküls, und es entsteht dann unter Wasserabspaltung eine neue Verbindung, ein **Dipeptid:**

$$\underset{\text{Aminoäthansäure}}{H_2N \cdot CH_2 \cdot CO \boxed{OH + H} NH \cdot CH_2 \cdot COOH} \rightarrow \underset{\text{Dipeptid}}{H_2N \cdot CH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot CH_2 \cdot COOH} + H_2O$$

3. Peptide und Peptidbindung. Die Bildung eines Dipeptides ist keine Besonderheit der Aminoäthansäure, sondern trifft für alle Aminosäuren zu.

Aus zwei Molekülen Aminosäuren entsteht unter Wasserabspaltung ein Molekül eines Dipeptides.

● *Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung eines Dipeptides aus Aminoäthansäure und 2-Aminopropansäure auf!*

Die Peptidbindung ist aber nicht nur auf zwei Aminosäuremoleküle beschränkt. Es können sich auch mehrere Aminosäuremoleküle auf diese Weise miteinander verbinden. Es entstehen dann Tripeptide, Tetrapeptide, Pentapeptide oder allgemein **Polypeptide.**

● *Stellen Sie die Formel eines Tripeptides auf, das aus Aminoäthansäure entstanden ist!*

Die Dipeptide und alle anderen Polypeptide enthalten als charakteristisches Strukturmerkmal die Atomgruppe —CO · NH—, welche die Verknüpfung von zwei Aminosäuren darstellt. Man nennt diese Art der Bindung **Peptidbindung** oder auch **Säureamidbindung.**

In den Polypeptiden sind die Aminosäurereste untereinander durch die Peptidbindung —CO · NH—, auch Säureamidbindung genannt, verbunden.

Eiweiße

1. Vorkommen und Zusammensetzung. Eiweiße sind im Plasma aller pflanzlichen und tierischen Zellen als wichtigster Bestandteil enthalten. Sie sind auf das engste mit allen Lebensvorgängen verbunden. „Überall, wo wir Leben vorfinden, finden wir es an einen Eiweißkörper gebunden, und überall, wo wir einen, nicht in der Auflösung begriffenen Eiweißkörper vorfinden, da finden wir ausnahmslos auch Lebenserscheinungen", schreibt Friedrich Engels in seinem Buch „Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft". Der Name „Eiweiß" leitet sich von der Benennung der äußeren flüssigen Schicht des Hühnereies, dem **Weißei** ab, dessen wichtigster Bestandteil **Eiweiß** genannt wurde.
Alle Eiweiße enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, oft auch Schwefel.

● *Führen Sie den Nachweis von Stickstoff in Eiweißen nach Versuch S 48 durch! Prüfen Sie Eiweiße nach Versuch S 49, ob sie schwefelhaltig sind!*

Eiweiße sind wichtige Bestandteile des Plasmas pflanzlicher und tierischer Zellen. Sie enthalten die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und oft Schwefel.

Die Kenntnis der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der Eiweiße gibt noch keinen Einblick in die Struktur dieser Verbindungen. Diesen Einblick erhielt man erst dadurch, daß man die Eiweißmoleküle spaltete. Nach einer Reihe von Versuchen, die bereits 1819 begannen und an denen sich verschiedene Forscher beteiligten, wies 1875 SCHÜTZENBERGER nach, daß sich die Eiweiße im wesentlichen aus Aminosäuren aufbauen. Dem deutschen Forscher EMIL FISCHER (Abb. 59) gelang es schließlich, aus dem komplizierten Gemisch, das bei der Eiweißspaltung entsteht, einzelne Aminosäuren zu isolieren. In der Folgezeit konnten etwa 25 verschiedene Aminosäuren als Bausteine der Eiweiße ermittelt werden.



Abb. 59 EMIL FISCHER

2. Bausteine der Eiweiße. Alle Aminosäuren, die als Bausteine der Eiweiße ermittelt wurden, sind 2-Aminosäuren (α-Aminosäuren).

2-Aminosäuren sind Bausteine der Eiweiße.

EMIL FISCHER gelang es, ein Polypeptid aus 18 Aminosäuremolekülen aufzubauen. Da er bei der Eiweißspaltung ebenfalls Polypeptide erhielt, folgerte er, daß die Eiweiße aus Polypeptidketten aufgebaut sind.

Spätere Untersuchungen, die vor allem von dem sowjetischen Gelehrten NIKOLAI DMITRIJEWITSCH SELINSKI (Abb. 60) durchgeführt wurden, ergaben, daß außer Polypeptidketten auch zyklische Strukturen in den Eiweißen vorliegen müssen.

Eiweiße sind aus Polypeptiden aufgebaut.

Die Untersuchungen über die Größe und den Bau der Eiweißmoleküle sind noch nicht abgeschlossen. Es konnte jedoch schon festgestellt werden, daß die Eiweiße einen komplizierten Bau besitzen und außerordentlich große Moleküle bilden. In besonderen Fällen liegen Molekulargewichte bis zu 800 Millionen vor. Eiweißmoleküle dieser Größenordnungen können mit Hilfe des Elektronenmikroskopes sichtbar gemacht werden.

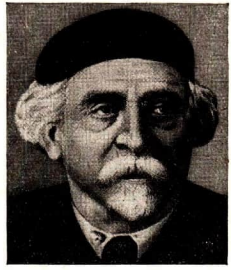


Abb.60 N. D. SELINSKI

Eiweiße sind hochmolekulare Verbindungen.

3. Eigenschaften und Reaktionen. Die Eiweiße zeigen auf Grund ihrer verschiedenartigen qualitativen und quantitativen Zusammensetzung auch in ihrem physikalischen Verhalten große Unterschiede. So gibt es wasserlösliche und wasserunlösliche Eiweiße, ferner Eiweiße, die nur in wäßrigen Salzlösungen löslich sind.
Läßt man anorganische Säuren, 96%iges Äthanol, Schwermetallsalze oder Gerbsäure (Tannin) auf Eiweißlösung einwirken, oder erhitzt man zum Sieden, so **koagulieren** (gerinnen) die Eiweiße. Dieser Vorgang ist nicht umkehrbar.

53

Je 5 ml Eiweißlösung werden mit der gleichen Menge 96%igem Äthanol beziehungsweise 10%iger Salpetersäure versetzt.
Was beobachten Sie?

54

Zu Eiweißlösungen geben wir salzsaure Quecksilber(II)-chloridlösung.
Was beobachten Sie?

Die im Versuch 54 ausgeführte Ausfällung gelöster Eiweiße durch Schwermetallsalze ist wichtig als erste Hilfe bei vielen Metallsalzvergiftungen. Man gibt dem Vergifteten Milch zu trinken. Das Milcheiweiß reagiert im Magen zum Beispiel mit dem Quecksilbersalz unter Bildung einer wasserunlöslichen und daher nicht mehr gefährlichen Verbindung. Durch Brechmittel (schwache Seifenlösung oder eine 3%ige Kupfersulfatlösung) erreicht man anschließend eine rasche Entleerung des Magens.
Eine weitere Eigenschaft der Eiweiße lernen wir durch den folgenden Versuch kennen:

55

Wir geben etwas festes Eiweiß (Federn, Haare, Horn) in ein trockenes Reagenzglas, erhitzen und prüfen die sich entwickelnden übelriechenden Dämpfe mit feuchtem rotem Lackmuspapier.
Was beobachten Sie?

Beim Erhitzen werden Eiweiße zersetzt, wobei auch Dämpfe von basischen Spaltprodukten auftreten.

56

Wir geben 6 ml Eiweißlösung in ein Reagenzglas und versetzen sie mit 2 ml konzentrierter Salpetersäure.
Was stellen Sie fest?
Wir erwärmen das Reagenzglas.
Was beobachten Sie?
Nachdem sich der Niederschlag abgesetzt hat, gießen wir die Säure vom Eiweiß ab und geben 10%ige Ammoniaklösung dazu.
Was beobachten Sie?

Eiweiße geben mit konzentrierter Salpetersäure eine charakteristische Gelbfärbung. Dieser Vorgang wird als **Xanthoprotein-Reaktion**[1] bezeichnet.
Bei Zugabe basischer Lösungen schlägt die gelbe Farbe nach Orange um. Auch die Gelbfärbung der Haut bei Einwirkung von Salpetersäure beruht auf der Xanthoprotein-Reaktion.

[1] xanthos (griech.) = gelb

● *Führen Sie die Xanthoprotein-Reaktion bei weißen Vogelfedern, weißer Schafwolle, hellen Haaren und hartgekochtem Weißei nach Versuch S 50 durch!*

Die meisten Eiweiße koagulieren durch Hitze, Säuren und konzentriertes Äthanol. Mit vielen Metallsalzen bilden die Eiweiße unlösliche Verbindungen. Mit konzentrierter Salpetersäure geben Eiweiße eine charakteristische Gelbfärbung (Xanthoprotein-Reaktion).

Gelöste Eiweiße lassen sich leicht durch die sogenannte **„Biuretreaktion"** nachweisen.

● *Untersuchen Sie Magermilch mit Hilfe der Biuretreaktion nach Versuch S 51!*

4. Eiweiße in Nahrungs- und Futtermitteln. Bei den Lebensvorgängen werden ständig Eiweiße aufgebaut und dann wieder abgebaut. Aber nur die Pflanzen können Eiweiß aus einfachen anorganischen Verbindungen aufbauen. Menschen und Tiere besitzen diese Fähigkeit nicht und sind deshalb auf die Zufuhr pflanzlicher und tierischer Eiweiße angewiesen.
Für die Beurteilung von Nahrungs- und Futtermitteln ist deshalb ihr Gehalt an (verdaulichem) Eiweiß von großer Bedeutung. Die in den Tabellen 11 und 12 gemachten

Tabelle 11. Eiweißgehalt einiger Nahrungsmittel

100 g Handelsware enthalten	Eiweiß in g
Rindfleisch	20
mageres Schweinefleisch	20
Blutwurst	10
Salami	28
Hering, Karpfen	7
Kabeljau (Filet)	16
Kuhmilch	3,4
Butter	0,7
Käse	16—28
Quark	17
Hühnerei	11,3
Haferflocken	14
Weizenmehl	10
Roggenmehl	5,5
Nudeln	12
Schwarzbrot	8
Linsen, Erbsen, Bohnen	23—26
Kartoffeln	2
Äpfel, Birnen	0,4
Gurken	0,6
Tomaten	0,9
Grünkohl	5

Tabelle 12. Eiweißgehalt einiger Futtermittel

100 g Futtermittel enthalten	Eiweiß in g	
A Grünfutter		
Wiesengras, vor der Blüte	2,4	
Ackerbohnen, Beginn der Blüte	2,1	
Futterwicken, vor der Blüte	2,9	
Kleegras, in der Blüte	2,3	
Luzerne, vor der Knospe	3,7	
Futterkohl (Blätter)	1,6	
Kartoffelkraut, noch grün	1,4	
Mais, milchreif, ganze Pflanze	0,9	
Maiskolben, milchreif	1,9	
B Körner und Samen		
Gerste	9,3	bezogen auf Trockensubstanz
Hafer	10,0	
Roggen	8,6	
Weizen	10,6	
Sojabohne	35	
Erbse	23	

Angaben sind ungefähre Mittelwerte. Die Eiweißgehalte schwanken je nach Qualität der Nahrungs- oder Futtermittel.

● *Warum sind Obst und Gemüse trotz ihres meist geringen Eiweißgehaltes für die menschliche Ernährung überaus wichtig?*

5. Eiweißsynthese. Seit Jahrzehnten bemühen sich Chemiker vieler Länder um die wissenschaftliche Klärung der Eiweißsynthese. Der erste Teil dieses sehr schwierigen Forschungsvorhabens ist die genaue Aufklärung der komplizierten Eiweißstrukturen. In dieser Richtung sind bereits beachtliche Erfolge erzielt worden. Weitere Teilprobleme konnten weitgehend gelöst werden. So ist es gelungen, die am Bau der Eiweißmoleküle beteiligten 2-Aminosäuren synthetisch herzustellen. Auch Synthesen hochmolekularer Polypeptide, die in einigen Eigenschaften den Eiweißen sehr ähnlich sind, wurden durchgeführt. Die Synthese von Eiweißen, auch von solchen, die für die Ernährung von Menschen und Tieren geeignet sind, ist daher nur noch eine Frage der Zeit.

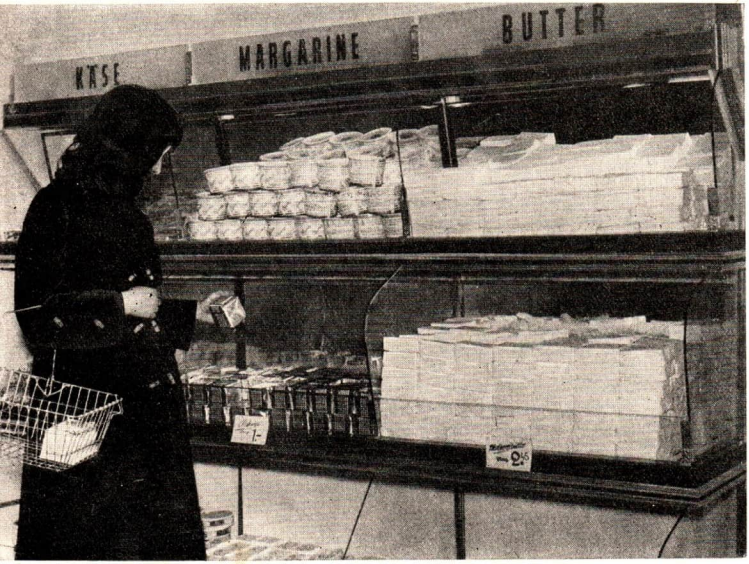
Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Erläutern Sie den Begriff „Aminosäuren" und nennen Sie einige Vertreter dieser Gruppe mit Formel und Namen!
2. Erklären Sie aus der Struktur der Aminosäuren die Bildung von Peptiden!
3. Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung eines Dipeptides aus 2-Aminopropansäure auf!

4. Erläutern Sie den Begriff „Peptidbindung“ an der Formel eines Dipeptides!
5. Wieviel Gramm Wasser werden gebildet, wenn sich 225 g Aminoäthansäure vollständig zum entsprechenden Dipeptid umsetzen?
6. Welche Elemente sind in den Eiweißen enthalten?
7. Aus welchen Grundbausteinen sind die Eiweiße zusammengesetzt?
8. Stellen Sie durch eine Gleichung dar, wie die Aminosäuren in den Eiweißmolekülen miteinander verknüpft sind!
9. Nennen Sie wichtige Eigenschaften und Reaktionen der Eiweiße!
10. Welche erste Hilfe kann bei Metallsalzvergiftungen gegeben werden?
11. Warum färbt sich die Haut bei Berührung mit konzentrierter Salpetersäure gelb?
12. Erläutern Sie den Begriff „Polypeptide“!
13. Nennen Sie eiweißreiche Nahrungsmittel!
14. Welche Futtermittel sind eiweißreich?

Ester

Eine der wichtigsten Reaktionen der Derivate der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe ist die Esterbildung. Ester entstehen bei der Reaktion von Hydroxylderivaten mit Säuren. Eine besondere Gruppe der Ester sind die Fette und fetten Öle. Sie entstehen durch Veresterung von Propantriol mit Karbonsäuren. Die natürlichen Fette und fetten Öle haben große Bedeutung für die menschliche Ernährung. Eine gesunde Kost muß jedoch außer Fetten, Eiweißen und Kohlenhydraten vor allem auch Frischobst und Frischgemüse enthalten, damit dem Körper genügend Vitamine und Nährsalze zugeführt werden. Die Speisen sollen auch in der Beigabe von Fetten abwechslungsreich gestaltet sein. Die wichtigsten Speisefette, die im Handel angeboten werden, sind Butter, Margarine, Speiseöl, Speisehartfett und Schlachtfette.



Aufbau, Benennung und Arten

1. Esterbildung. Reagiert eine Säure mit einem Alkanol, so entsteht eine Verbindung, die man als **Ester** bezeichnet. Bei der Esterbildung werden die Hydroxylgruppe der Säure und der Wasserstoff aus der Hydroxylgruppe des Alkanols abgetrennt, zum Beispiel:

$$\underset{\text{Äthanol}}{C_2H_5 \cdot O}\boxed{H + HO}\underset{\text{Äthansäure}}{OC \cdot CH_3} \rightarrow \underset{\substack{\text{Äthyläthanat}\\(\text{Ester})}}{C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3} + H_2O$$

Dadurch unterscheidet sich die Esterbildung grundsätzlich von der Salzbildung aus Säure und Hydroxid, die wir in der anorganischen Chemie kennengelernt haben. Das bei der Salzbildung gebildete Wasser entsteht aus der Hydroxidgruppe des Hydroxids und dem Wasserstoff der Säure, zum Beispiel:

$$Na\boxed{OH + H}NO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O$$

Ester- und Salzbildung unterscheiden sich auch noch dadurch voneinander, daß zur Esterbildung längere Zeit benötigt wird, während die Salzbildung aus Säure und Hydroxid in sehr kurzer Zeit vor sich geht. Die hohe Geschwindigkeit der Salzbildung ist durch die Spaltung der anorganischen Säuren und Hydroxide in Ionen bedingt, die in wäßriger Lösung sehr rasch miteinander reagieren.
Die Esterbildung ist eine **Gleichgewichtsreaktion:**

$$C_2H_5 \cdot OH + HOOC \cdot CH_3 \rightleftharpoons C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3 + H_2O$$

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Gleichgewicht einstellt, ist bei Raumtemperatur sehr klein, sie nimmt jedoch mit steigender Temperatur zu. Läßt man das Reaktionsgemisch sieden, so verläuft die Esterbildung mehr als hundertmal schneller als bei Raumtemperatur. Fügt man kleine Mengen starker anorganischer Säuren (Salzsäure oder Schwefelsäure) hinzu, so wird die Umsetzung katalytisch beschleunigt.

Die Esterbildung ist eine Gleichgewichtsreaktion. Durch Temperaturerhöhung und Zugabe von Katalysatoren (starke Säuren) wird eine schnellere Einstellung des Gleichgewichts erzielt.

Das Gleichgewicht kann gestört werden, wenn man das Mengenverhältnis der Stoffe ändert. Entzieht man dem Reaktionsgemisch einen Stoff, zum Beispiel Wasser durch Zusatz wasserbindender Mittel, so reagiert das System auf diesen Eingriff mit neuer Wasserbildung, die zu einer vermehrten Esterbildung führt. Die Ausbeute an Ester wird also durch Wasserentzug größer.

57

Wir verwenden zwei Rundkolben mit aufgesetzten Rückflußkühlern. In beide Kolben geben wir je 12 ml Äthanol und 10 ml konzentrierte Äthansäure, in einen Kolben außerdem etwa 15 g wasserfreies Zinkchlorid. Beide Kolbeninhalte lassen wir 20 Minuten sieden und gießen die Flüssigkeiten anschließend in hohe Bechergläser mit je 50 ml Wasser.

● *Führen Sie die Bildung von Äthyläthanat nach Versuch S 52 durch!*

Bei Versuch 57 hat der Zusatz des wasserbindenden Zinkchlorids eine verstärkte Esterbildung bewirkt. Der Ester ist fast wasserunlöslich und scheidet sich als dünne Schicht auf dem Wasser ab. Er besitzt einen angenehmen Geruch. Das zweite Reaktionsgemisch hat sich kaum verändert. Der stechende Geruch der Äthansäure ist geblieben und beweist, daß sich dieser Stoff nicht umgesetzt hat.

● *Stellen Sie einen anderen Ester nach Versuch S 53 her!*

▶ **Bei der Esterreaktion wird die Ausbeute an Ester größer, wenn dem Reaktionsgemisch Wasser entzogen wird (Störung des Gleichgewichts).**

2. Verseifung. Die Reaktionsgleichung für die Bildung eines Esters aus Äthanol und Äthansäure weist mit einem Doppelpfeil auf eine Besonderheit hin: Es findet nicht nur eine Esterbildung statt, sondern der entstandene Ester reagiert mit dem Wasser, wobei Äthanol und Äthansäure entstehen. Man bezeichnet die Umkehrung der Esterbildung, die Zerlegung eines Esters durch Wasser in Hydroxylverbindung und Säure, als **Verseifung**. Das Gleichgewicht, das sich bei der Esterbildung einstellt, ist daher kein Zustand der Ruhe im Reaktionsgemisch, sondern ein dynamisches Gleichgewicht. Es hat sich dann eingestellt, wenn in der Zeiteinheit die gleiche Anzahl Estermoleküle entsteht, wie zerlegt wird, also die Geschwindigkeiten der Esterbildung und der Verseifung gleich groß sind.

● *Führen Sie die Verseifung eines Esters nach Versuch S 54 durch!*

▶ **Die Umkehrung der Esterbildung ist die Verseifung.**

3. Benennung. Die Namen der Ester werden entsprechend den Namen der Salze dieser Säuren gebildet, wobei anstelle des Metalls der Name des Alkanolrestes genannt wird. In der Tabelle 13 werden die Formeln einiger Ester angegeben, daneben sind die wissenschaftlichen und einige ältere Bezeichnungen genannt.

Tabelle 13. Ester

Formel	wissenschaftliche Bezeichnungen	ältere Bezeichnungen
$(CH_3)_2SO_4$	Dimethylsulfat	Schwefelsäuredimethylester
$C_2H_5NO_2$	Äthylnitrit	Salpetrigsäureäthylester
$CH_3 \cdot O \cdot O\,C \cdot CH_3$	Methyläthanat	Methylazetat Essigsäuremethylester
$C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3$	Äthyläthanat	Äthylazetat Essigsäureäthylester
$C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot C_2H_5$	Äthylpropanat	Äthylpropionat Propionsäureäthylester
$C_5H_{11} \cdot O\ \ OC \cdot CH_3$	Pentyläthanat	Amylazetat Essigsäureamylester

● *Welchen wissenschaftlichen Namen erhalten die Ester folgender Formeln:* $CH_3 \cdot O \cdot OC \cdot C_2H_5$ *und* $C_3H_7 \cdot O \cdot OC \cdot C_2H_5$ *?*

4. Einige wichtige Ester. Die Ester anorganischer Säuren haben technische, biologische und medizinische Bedeutung. Besonders wichtig sind die **Ester der Salpetersäure** mit Propantriol, Äthandiol und Zellulose, die als Sprengstoffe dienen.
Die **Phosphorsäureester** haben vor allem biologische Bedeutung. Zu ihnen gehören lebenswichtige Verbindungen unseres Körpers, so zum Beispiel das im Gehirn vorkommende Lezithin. Die Erforschung dieser und anderer Verbindungen und ihrer Umsetzungen beweist, daß die Lebensprozesse der Zellen aller Organismen materieller Natur sind. Das Leben beruht auf nichts anderem als auf einer Vielzahl von teilweise sehr komplizierten chemischen Umsetzungen und physikalischen Vorgängen, von denen viele schon erforscht wurden. Einige andere Phosphorsäureester dienen als wirksame Schädlingsbekämpfungsmittel.
Die Ester der organischen Säuren werden in folgende Gruppen eingeteilt: die Fruchtester, die Wachse, die Polyester und die Fette. **Fruchtester** (auch Fruchtäther genannt) sind Ester aus niedrigmolekularen Alkanolen und niedrigmolekularen Alkansäuren. Ein solcher Ester ist zum Beispiel das Äthyläthanat $C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3$, das aus Äthanol und Äthansäure entsteht. Die Fruchtester werden synthetisch hergestellt. Sie sind in Wasser schwer oder fast gar nicht löslich und besitzen angenehme, fruchtartige Gerüche. Man verwendet sie als Backaromen und zur Limonadenherstellung. Außerdem dienen Fruchtester als Lösungsmittel für Klebstoffe und Lacke.
Wachse enthalten Ester aus hochmolekularen Alkanolen mit ebensolchen Alkansäuren. Es sind geruchlose, weiße bis gelbliche Stoffe, die wasserunlöslich sind. So enthält zum Beispiel das Bienenwachs den Ester $C_{31}H_{63} \cdot O \cdot OC \cdot C_{15}H_{31}$. Wichtige Wachse sind das Walrat, das aus den Kopfhöhlen des Pottwals stammt, und das Montanwachs, das aus bestimmten Braunkohlen gewonnen wird. Die Wachse werden zur Herstellung von Schuhcreme, Lederpflegemitteln, Bohnermassen, Möbelpolituren, Kerzen, Farbstiften, Schmierstoffen, Autopoliermitteln und anderen Produkten für den persönlichen und industriellen Bedarf verwendet. Skiwachse sind Gemische von Wachsen, Paraffin, Harz, Talg und Teer.
Polyester bauen sich aus Verbindungen mit mehreren Hydroxylgruppen, zum Beispiel Äthandiol-(1,2) oder Propantriol-(1,2,3), und organischen Säuren mit zwei Karboxylgruppen auf. Polyester sind hochmolekulare Verbindungen, die als Plaste und Chemiefasern vielseitig verwendet werden.
Fette sind Ester von besonderer Bedeutung. Sie sollen daher im folgenden Abschnitt etwas ausführlicher behandelt werden.

Fette

1. Begriff. Fette und fette Öle sind Gemische von Estern des Propantriols mit mittleren und höheren Monokarbonsäuren (Fettsäuren). Sind diese Ester bei Raumtemperatur fest, so nennt man sie **Fette,** sind sie dagegen flüssig, so spricht man von **fetten Ölen.** Die Bezeichnung „fette Öle" dient zur Unterscheidung von den aus Kohlenwasserstoffen bestehenden Mineralölen und den ätherischen Ölen, die verschiedenen chemischen Stoffgruppen angehören und zur Herstellung von Arzneimitteln und Riechstoffen dienen.

● *Führen Sie den Versuch S 55 zur Unterscheidung eines fetten Öles von einem Mineralöl durch!*

2. Aufbau und Eigenschaften. Die wichtigsten in den Fetten vorkommenden Monokarbonsäuren sind:

Hexadekansäure (Palmitinsäure)	$C_{15}H_{31} \cdot COOH$
Oktadekansäure (Stearinsäure)	$C_{17}H_{35} \cdot COOH$
Oktadekensäure (Ölsäure)	$C_{17}H_{33} \cdot COOH$

Über diese Verbindungen wurde bereits auf den Seiten 114 bis 116 berichtet.

● *Nennen Sie Eigenschaften dieser Verbindungen!*
Durch welche Reaktion kann man Oktadekensäure von Oktadekansäure unterscheiden?

Die natürlichen Fette und fetten Öle bestehen aus gemischten Propantriolestern sehr unterschiedlicher Zusammensetzung. Ein solcher Ester ist zum Beispiel durch die nachstehende Formel gekennzeichnet:

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot O \cdot OC \cdot C_{15}H_{31} \\ | \\ CH \cdot O \cdot OC \cdot C_{17}H_{35} \\ | \\ CH_2 \cdot O \cdot OC \cdot C_{17}H_{33} \end{array}$$

● *Weisen Sie Propantriol in Fetten oder fetten Ölen durch Versuch S 56 nach!*

In den natürlichen Fetten und fetten Ölen liegen sehr verschiedenartige Gemische derartiger gemischter Ester vor.
Enthält ein Fett vorwiegend die Reste gesättigter Karbonsäuren, so ist es bei Raumtemperatur fest, enthält es überwiegend Reste ungesättigter Säuren (vor allem der Ölsäure), so ist es flüssig.
Die festen pflanzlichen Fette (z. B. Kokosfett, Palmkernfett) und die Körperfette der Landtiere sind vor allem aus Resten gesättigter Karbonsäuren aufgebaut. Die Pflanzenöle (z. B. Olivenöl, Erdnußöl, Rapsöl, Sojaöl) sowie Waltran und Fischöle enthalten dagegen überwiegend Reste ungesättigter Säuren.

● *Prüfen Sie fette Öle auf ungesättigte Karbonsäuren nach Versuch S 57!*

Die pflanzlichen und tierischen Fette und Öle sind unlöslich in Wasser, dagegen löslich in vielen organischen Lösungsmitteln. Ihre Dichte ist kleiner als 1; sie schwimmen also auf Wasser. Reine Fette sind geruchlos und geschmackfrei. Bei längerer Lagerung (vor allem im Sommer) werden sie durch Einwirkung von Licht, Luft und Feuchtigkeit sowie unter Einfluß der Enzyme von Kleinlebewesen ranzig. Dabei bilden sich unangenehm riechende und schmeckende Verbindungen.

▶ **Fette und fette Öle sind Gemische von Estern des Propantriols mit gesättigten und ungesättigten Monokarbonsäuren.**

3. Vorkommen. Die Fette und fetten Öle sind im Tier- und Pflanzenreich weit verbreitet. Die Pflanzen bauen Fette aus anorganischen Stoffen auf und lagern sie reichlich vor allem in den Samenkörnern ab. Der Fettgehalt der Pflanzensamen kann sehr bedeutend sein. Er beträgt bei Raps 33 bis 44%, bei Lein 33 bis 36%, bei Mohn 43%, bei Erdnuß 38 bis 47% und bei Walnuß bis 50%. In Mitteleuropa sind Raps, Senf, Mohn, Hanf und Lein, in den Mittelmeerländern die Olive und in anderen Gebieten zum Beispiel Kokos, Baumwollsaat, Erdnuß und Sojabohne wichtige pflanzliche Fett- und Öllieferanten. Menschen und Tiere nehmen Fett entweder mit der pflanzlichen Nahrung auf, oder sie erzeugen Fette durch Spaltung von Kohlenhydraten (und zum Teil auch von Eiweißen), aus deren Spaltprodukten dann körpereigene Fette aufgebaut und an verschiedenen Stellen der Körper abgelagert werden, vor allem unter der Haut, in den Eingeweiden und Knochen. So enthält zum Beispiel Knochenmark bis zu 96% Fett. Für die Gewinnung von tierischen Fetten dienen außer den fetthaltigen Teilen der Schlachttiere noch die Milch (hauptsächlich Kuhmilch) und die Fettgewebe verschiedener Meerestiere (Wale, Robben, Fische).

4. Gewinnung. Die Fette und fetten Öle werden aus den Rohprodukten durch Ausschmelzen, Auspressen oder Extraktion gewonnen.
Das **Ausschmelzen** wird hauptsächlich bei tierischen Fetten (z. B. Schweineschmalz, Rindertalg, Waltran und Fischöl) angewendet. Die fetthaltigen Körpergewebe werden zerkleinert und meist in dampfbeheizten offenen Kesseln auf etwa 50 °C erhitzt. Die Fleischrückstände, **Grieben** genannt, werden vom ausgeschmolzenen Fett getrennt. Je niedriger die Schmelztemperatur liegt, desto reiner und haltbarer sind die gewonnenen Fette.
Pflanzliche Fette und Öle können durch **Auspressen** und **Extrahieren** (Herauslösen mit Hilfe von Lösungsmitteln) gewonnen werden. Meist kommen beide Verfahren kombiniert zur Anwendung. Die Ölfrüchte werden zunächst gereinigt und dann in Walzenstühlen durch Walzen zerkleinert, die sich gegeneinander mit verschiedenen Geschwin-

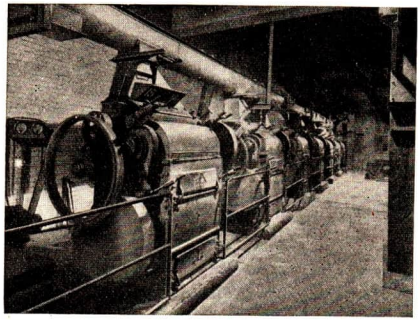


Abb. 61 Walzenstühle für Ölsaaten im VEB Öl- und Fettwerke „Hans Schellheimer" Magdeburg

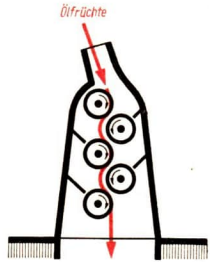


Abb. 62 Schematische Darstellung eines Walzenstuhles

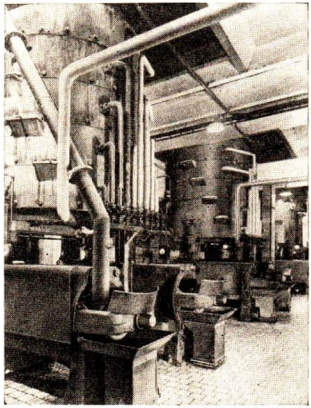


Abb. 63 Preßstation für Ölsaaten
im VEB Öl- und Fettwerke
„Hans Schellheimer" Magdeburg

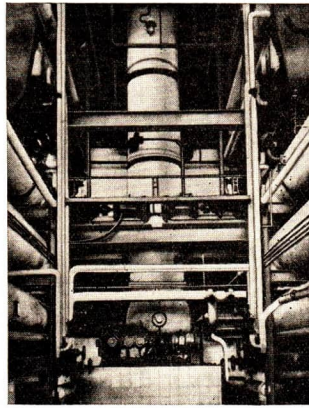


Abb. 64 Extraktionsanlage
im VEB Öl- und Fettwerke
„Hans Schellheimer" Magdeburg

digkeiten drehen (Abb. 61 und 62). Danach erwärmt man das Mahlgut, damit das Öl dünnflüssiger wird. In Schneckenpressen und hydraulischen Pressen (Abb. 63) preßt man nun das Öl unter hohem Druck aus. Es läuft durch Öffnungen im Mantel der Presse ab. Der Preßrückstand wird nochmals gepreßt. Das noch in ihm verbliebene Öl gewinnt man durch Extraktion mit Hilfe von Benzin, Benzol, Tetrachlormethan oder anderen Fettlösungsmitteln.

Der Preßrückstand wird zerkleinert, erwärmt und in hohen, zylinderförmigen Extraktionstürmen (Abb. 64) mit einem Fettlösungsmittel behandelt. Aus den Lösungen gewinnt man das Öl, indem das leichtflüchtige Lösungsmittel durch Erwärmen verdampft wird. Die Lösungsmittel werden durch Kondensation der Dämpfe wiedergewonnen.

Die Rohöle werden durch besondere Nachbehandlung vollständig geschmackfrei und geruchlos gemacht, so daß sie für Speisezwecke geeignet sind.

Preßrückstände der Ölgewinnung (Ölkuchen) und Extraktionsschrot sind wertvolle eiweißreiche Futtermittel.

58

Wir führen eine Extraktion fetthaltiger Stoffe im Soxhletapparat (Abb. 65) durch. Rapssamen, Mohn oder andere Ölfrüchte werden in einer Reibschale zerquetscht und damit die poröse Extraktionshülse des Apparates zu zwei Dritteln gefüllt. Die Hülse wird in den Mittelteil eingesetzt. Dann füllen wir in den Kolben Tetrachlormethan und erhitzen zum Sieden. Der Dampf steigt aus dem Kolben durch das Dampfrohr zum Kühler und wird dort kondensiert. Die Flüssigkeit tropft herunter, füllt langsam den

Mittelteil und löst aus dem in der Extraktionshülse befindlichen Material das Fett. Hat die Flüssigkeit die obere Biegung des Heberrohres erreicht, so fließt die Fettlösung durch Heberwirkung in den Kolben hinab. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis das Material völlig entfettet ist. Dann entfernt man Mittelteil und Kühler, verbindet den Kolben mit einem abwärtsgeneigten Kühler und destilliert das Lösungsmittel vorsichtig ab. Das extrahierte Fett bleibt zurück.

● *Führen Sie eine Extraktion von Fett nach Versuch S 58 durch!*

Die Gewinnung der Fette und fetten Öle geschieht durch Ausschmelzen, Auspressen und Extraktion.

5. Butter und Margarine. Die in unserer Republik für die menschliche Ernährung hauptsächlich verwendeten Fette sind Butter und Margarine. Beide Produkte sind keine chemisch reinen Fette, sondern eine Emulsion von etwa 20% Wasser in Fett. Deswegen sind Butter und Margarine leicht verdaulich.

Butter wird aus dem Rahm der Kuhmilch gewonnen, den man durch Zentrifugieren von Vollmilch herstellt. Der Rahm, dessen Fettgehalt 20 bis 22% beträgt, wird zur Vernichtung schädlicher Bakterien erhitzt (pasteurisiert) und dann gekühlt. Nach einem Säuerungsprozeß, manchmal aber auch als Süßrahm, kommt er in die Buttermaschine (Abb. 66), in der die Fetteilchen des Rahms zu Klumpen vereinigt werden. Die Butterklumpen werden von der Buttermilch getrennt und mit Wasser durchgeknetet, um die letzten Reste von Buttermilch zu entfernen.

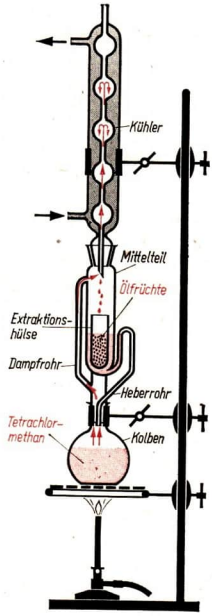


Abb. 65 Fettextraktion im Soxhletapparat

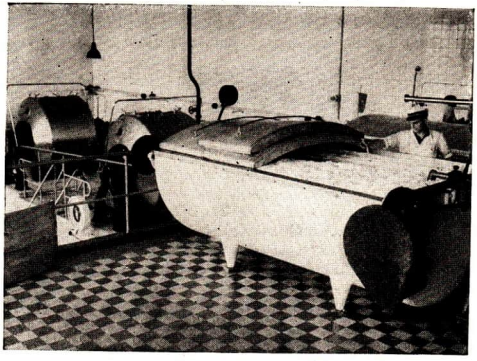


Abb. 66 Butterfertiger und Rahmreifer der Molkereigenossenschaft Kyritz

Zur Herstellung von **Margarine**[1] werden Pflanzenfette, fette Öle, gehärtete Fette und Oleomargarin verwendet. Die Rohstoffe werden geschmolzen und in Rührbottichen mit Magermilch zu einem steifen Brei verrührt. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Kirnen.** Der Masse werden Pflanzenfarbstoffe, Eigelbextrakte, Vitamine und Speisesalz zugemischt. Außerdem muß Margarine auf Grund gesetzlicher Vorschriften 0,2% Stärkemehl enthalten, das mit Jodlösung leicht nachgewiesen werden kann. Die Masse erstarrt durch rasches Abkühlen.

59

A Wir geben 10 g Margarine in ein Reagenzglas und tauchen dieses in ein Becherglas mit siedendem Wasser. Die Margarine schmilzt. Dabei sammelt sich am Boden des Glases eine wäßrige Flüssigkeit an, auf der sich eine Fettschicht absetzt. Wir entnehmen nun mit einer Pipette die wäßrige Flüssigkeit, füllen sie in ein zweites Reagenzglas, geben die gleiche Menge Wasser dazu und erhitzen zum Sieden. Anschließend wird die Flüssigkeit auf Raumtemperatur abgekühlt und mit Jodlösung versetzt. Die auftretende Blaufärbung zeigt Stärke an.

Die fertige Margarine wird in Spezialmaschinen gewalzt und geknetet, bleibt mehrere Stunden zur Reifung stehen und wird schließlich durch automatisch arbeitende Maschinen abgewogen und verpackt (Abb. 67). Um Verwechslungen mit Butter zu vermeiden, kommt Margarine in Würfelform in den Handel.

Zur Herstellung der in unserer Republik in den Handel kommenden Margarinesorten werden hochwertige Pflanzenöle und -fette verwendet. Die **Delikateßmargarine „Sahna“** wird vor allem aus Kokosfett, Erdnußöl, Sonnenblumenöl und Zusätzen von Eigelb, Lezithin und Vitaminen hergestellt. Sie ist leichtverdaulich und besonders als Brotaufstrich geeignet. Die **Reformmargarine „Vita“** wird aus leichtverdaulichen Fetten, wie Palmkernfett und Erdnußöl, sowie Eigelb, Lezithin und Vitaminen hergestellt. Sie ist salzfrei und als Brotaufstrich besonders für Magen-, Gallen- und Nierenkranke geeignet. Zur Herstellung der **Tafelmargarine „Marina“**

[1] Margarine ist nach dem Oleomargarin benannt, dem leicht schmelzenden Bestandteil des Rindertalgs, der beim Auspressen von erwärmtem Talg in Form glänzender Ölperlen abtropft. oleum (lat.) = Öl; margarites (griech.) = Perle

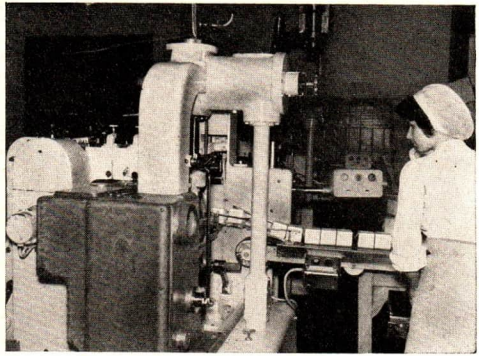


Abb. 67 Verpackungsmaschine für Margarine im VEB Berolina Margarinefabrik Berlin

verwendet man verschiedene Pflanzenfette, wie Erdnußöl, Sonnenblumenöl, Baumwollsaatöl, Kokosfett und Palmkernfett. Sie enthält ebenfalls Eigelb, Vitamine und andere Zusätze und ist ein gut bekömmlicher Brotaufstrich.

Die **Haushaltmargarine „Sonja“** wird vorwiegend aus Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl erzeugt. Sie ist zum Braten, Kochen und Backen geeignet.

Die Abbildungen 68 und 69 veranschaulichen die Erzeugung von Butter und Margarine in unserer Republik.

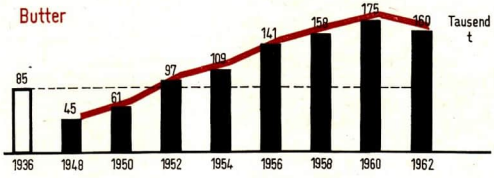


Abb. 68
Entwicklung der Buttererzeugung der Deutschen Demokratischen Republik

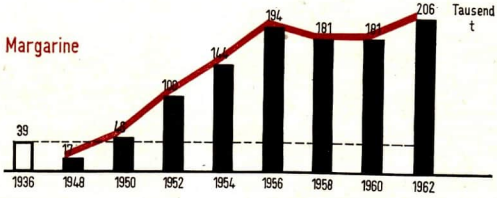


Abb. 69
Entwicklung der Margarineerzeugung der Deutschen Demokratischen Republik

6. Fetthärtung. Um den großen Bedarf an bei Raumtemperatur festen Fetten zu decken, werden fette Öle durch katalytische Anlagerung von Wasserstoff gehärtet. In den fetten Ölen liegen hauptsächlich Propantriolester ungesättigter Karbonsäuren vor. Diese ungesättigten Karbonsäuren addieren Wasserstoff bei etwa 200 °C in Gegenwart bestimmter Katalysatoren (meist fein verteiltes Nickel), wobei die Doppelbindungen aufgerichtet und gesättigte Fettsäuren gebildet werden. Da die Ester von gesättigten Fettsäuren bei Raumtemperatur fest sind, bezeichnet man diesen Prozeß als **Fetthärtung.** Die gehärteten Fette werden als Speisehartfett, zur Margarineerzeugung und für technische Zwecke verwendet. Unsere Republik verfügt über eine bedeutende Fetthärtungsanlage im VEB Deutsches Hydrierwerk Rodleben.

7. Verwendung der Fette. Fette sind hochwertige Nährstoffe, aber auch wichtige Ausgangsstoffe für die chemische Industrie. Sehr große Fettmengen werden zur Herstellung von Seifen und Neutralwaschmitteln benötigt. Ein weiterer Fett- und Ölverbraucher ist die Lack- und Anstrichmittelindustrie. Die Textilindustrie verwendet Fette zum Geschmeidigmachen von Geweben. Aus Fetten werden Propantriol (Glyzerin) und das Stearin für die Kerzenherstellung gewonnen. Kleinere Fettmengen

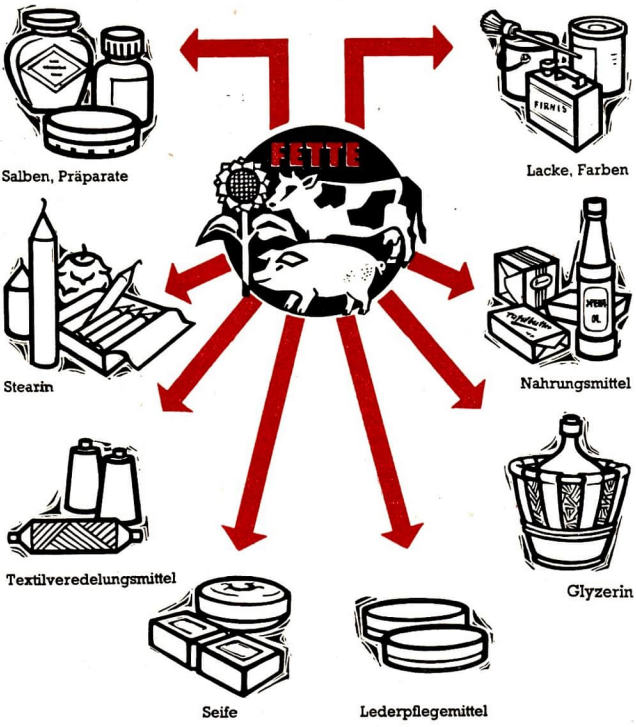


Abb. 70 Verwendung der Fette

werden auch zur Herstellung von kosmetischen Präparaten, Arzneimitteln und anderen Produkten benötigt.
Abbildung 70 gibt einen Überblick über die Verwendung der Fette.

Fette sind wichtige Nahrungsmittel. Sie werden ferner als Ausgangsstoffe für die Seifenindustrie, Lackindustrie, Textilindustrie und andere Industriezweige verwendet.

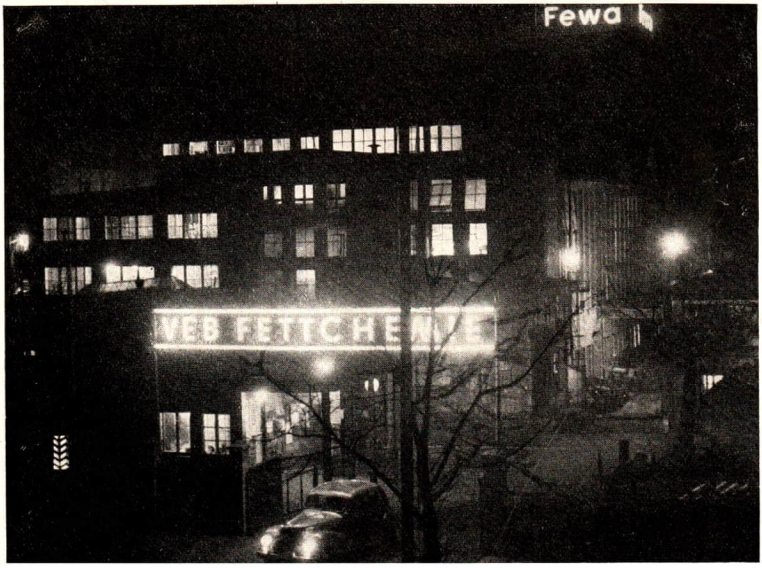
Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Wodurch unterscheidet sich die Esterbildung von der Salzbildung?
2. Erläutern Sie die Besonderheiten einer Gleichgewichtsreaktion am Beispiel der Bildung von Äthyläthanat!
3. Erläutern Sie den Begriff „Ester"!
4. Wieviel Äthanol wird zur Bildung von 44 g Äthyläthanat benötigt, wenn nur zwei Drittel des Äthanols verestert werden?
5. Wieviel Gramm 10%ige Natronlauge sind notwendig, um die bei der Verseifung von 37 g Methyläthanat freiwerdende Äthansäure zu binden?
6. Wie lautet die Formel von Propylpropanat?
7. Geben Sie einen Überblick über wichtige Arten von Estern!
8. Nennen Sie Ester mit Formeln und Namen, die zu den Fruchtestern gehören!
9. Erläutern Sie die Struktur der Fette!
10. Nennen Sie wichtige Monokarbonsäuren, die am Aufbau der Fette und fetten Öle beteiligt sind, und ihre Eigenschaften!
11. Welche Stoffe bezeichnet man als fette Öle?
12. Welchen Strukturunterschied weisen Fette und fette Öle auf?
13. Geben Sie einen Überblick über wichtige Eigenschaften der Fette!
14. Nennen Sie pflanzliche und tierische Produkte, die zur Fettgewinnung dienen!
15. Sprechen Sie über die Gewinnung der natürlich vorkommenden Fette!
16. Aus 250 kg Ölsaat werden 85 kg fettes Öl gepreßt. Der Preßkuchen enthält noch 6% Fett. Wieviel Prozent Fett hatte die Ölsaat?
17. Erläutern Sie die Herstellung von Butter und Margarine!
18. Erklären Sie das Verfahren der Fetthärtung!
19. Geben Sie einen Überblick über die Verwendung der Fette!

8. KAPITEL

Seifen und Neutralwaschmittel

Waschmittel sind wichtige Erzeugnisse unserer chemischen Industrie. Neben die schon seit dem Altertum gebräuchlichen Seifen sind seit einigen Jahren die Neutralwaschmittel getreten, die gegenüber den ersteren eine Reihe von Vorteilen aufweisen. Unsere Republik verfügt über eine leistungsfähige Seifen- und Waschmittelindustrie, die nicht nur den eigenen Bedarf deckt, sondern darüber hinaus noch in beträchtlichen Mengen Exportwaren liefert. Die Seifenerzeugung ist zur Zeit noch auf zahlreiche, zum Teil kleinere Betriebe verteilt. Für die Waschmittelproduktion stehen dagegen vor allem zwei Großbetriebe zur Verfügung, der VEB Waschmittelwerk Genthin und der VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt. Im Rahmen der sozialistischen Rekonstruktion in unserer Republik wird auch die Seifenerzeugung auf wenige, größere Betriebe konzentriert werden.



Seifen

1. Zusammensetzung. Als Seifen bezeichnet man die Salze der mittleren und höheren Monokarbonsäuren (Fettsäuren). Die Produkte, die man im täglichen Leben als „Seife" oder „Waschseife" bezeichnet, sind feste oder halbfeste Gemische von Natrium- oder Kaliumseifen. Seife war schon im Altertum bekannt. Sie war damals ein sehr teurer Luxusartikel, der nur der herrschenden Klasse zur Verfügung stand. Erst als zu Beginn des 19. Jahrhunderts die technische Herstellung der zur Seifenerzeugung notwendigen Alkaliverbindungen gelungen war und tropische Pflanzenfette in großen Mengen zur Verfügung standen, stieg die Seifenproduktion in Europa erheblich an. Heute ist Seife ein unentbehrliches Hilfsmittel für Haushalt und Industrie.

2. Herstellung. Seife wird industriell nach verschiedenen Verfahren hergestellt, von denen das Laugenverfahren und das Karbonatverfahren die wichtigsten sind.

Beim **Laugenverfahren,** einem wichtigen Verfahren unserer volkseigenen Seifenindustrie, werden Fette mit Natron- oder Kalilauge in **Siedekesseln** (Abb. 71 und 72) durch Wasserdampf zum Sieden erhitzt und in Bewegung gehalten. Es bildet sich eine Seifenlösung, die außerdem Propantriol enthält:

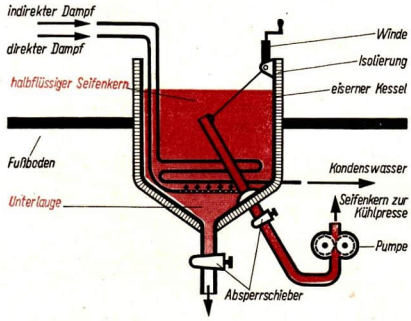


Abb. 71 Schematische Darstellung eines Siedekessels

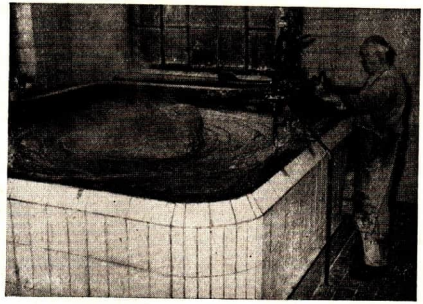
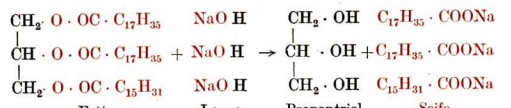
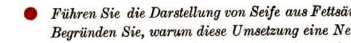


Abb. 72 Siedekessel zur Seifenherstellung im VEB Steckenpferd Seifen- und Kosmetikwerk Radebeul

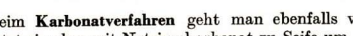


Bei einem anderen Verfahren, das in großem Umfang in den volkseigenen Seifenfabriken unserer Republik angewendet wird, läßt man Alkalilaugen mit freien Monokarbonsäuren reagieren. Die als Ausgangsstoff dienenden Fette werden in einem besonderen Arbeitsgang zunächst durch Wasserdampf in Karbonsäuren und Propantriol gespalten. Das Propantriol läßt sich leicht abtrennen. Außer den durch Fettspaltung hergestellten Säuren werden bei diesem Verfahren in steigendem Maße auch synthetische Karbonsäuren verwendet. Die zur Verarbeitung kommenden Karbonsäuregemische werden mit Natronlauge zu Seife umgesetzt, zum Beispiel:



- *Führen Sie die Darstellung von Seife aus Fettsäuren und Lauge nach Versuch S 59 durch! Begründen Sie, warum diese Umsetzung eine Neutralisation ist!*
  Nennen Sie anorganische Neutralisationsreaktionen und geben Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen an!
  Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Seifendarstellung aus Hexadekansäure und Kalilauge auf!

Beim **Karbonatverfahren** geht man ebenfalls von freien Monokarbonsäuren aus, setzt sie aber mit Natriumkarbonat zu Seife um, zum Beispiel:



Bei der technischen Durchführung des Karbonatverfahrens werden die Karbonsäuren geschmolzen und dann in siedende Natriumkarbonatlösung eingetragen. Unter starkem Aufschäumen entweicht Kohlendioxid. Wenn die Reaktion beendet ist, wird Dampf durch die Flüssigkeit geblasen, um entstandenes Natriumhydrogenkarbonat $NaHCO_3$ zu zersetzen. Gleichzeitig treibt der Dampf das restliche Kohlendioxid aus dem Reaktionsgemisch. Werden Karbonsäuren aus der Fettspaltung verwendet, so ist stets noch etwas Fett vorhanden, das durch Zugabe von Natronlauge am Ende des Siedeprozesses in Seife umgewandelt wird.

Wichtige Verfahren zur Herstellung von Seife sind das Laugen- und das Karbonatverfahren.

Bei den genannten Herstellungsverfahren gibt man nach Beendigung des Siedeprozesses zu der heißen Lösung Natriumchlorid. Man sagt, die Seife wird **ausgesalzen.** Dabei trennt sich das Gemisch in zwei Schichten: in eine obere, den halbflüssigen **Seifenkern,** und in eine untere, die **Unterlauge,** die das zugesetzte Salz (und beim Laugenverfahren auch Propantriol) enthält.

In ein Becherglas geben wir 100 ml destilliertes Wasser, erhitzen es bis zum Sieden und lösen darin 7 g entwässertes Natriumkarbonat auf. Außerdem erhitzen wir in einer Porzellanschale 20 g technisches Karbonsäuregemisch auf etwa 110 °C und lassen die geschmolzenen Karbonsäuren ganz langsam unter ständigem Rühren in die Natriumkarbonatlösung einlaufen.

Was stellen Sie fest?

Dann lassen wir die Flüssigkeit noch 10 Minuten unter öfterem Rühren sieden und geben zum Schluß 10 g Natriumchlorid hinzu. Wir trennen den Seifenkern von der Unterlauge und lassen ihn in einer Porzellanschale erstarren.

Prüfen Sie die Eigenschaften der entstandenen Seife!

3. Weiterverarbeitung der Seife. Der halbflüssige Seifenkern gelangt nach Abtrennung von der Unterlauge in **Kühlpressen** (Abb. 73), in denen er zu Seifenplatten erstarrt. Die Seifenplatten werden in besonderen Schneidevorrichtungen gegen straff gespannte Stahldrähte gepreßt und dadurch in Riegel und Stücke geschnitten. Die Stücke durchlaufen eine **Trockenanlage** und werden dann geprägt. Damit ist die Herstellung der gewöhnlichen **Kernseife** (Waschseife) beendet.

Bei der Herstellung von **Feinseifen** (Toilettenseifen) läßt man den halbflüssigen Seifenkern auf gekühlte Walzen laufen. Es entstehen Seifenschnitzel, die im heißen Luftstrom bis auf einen Wassergehalt von 8 bis 15% trocknen, wodurch der Fettsäuregehalt beträchtlich ansteigt. Die getrockneten Seifenschnitzel werden in **Knetmaschinen** kalt mit

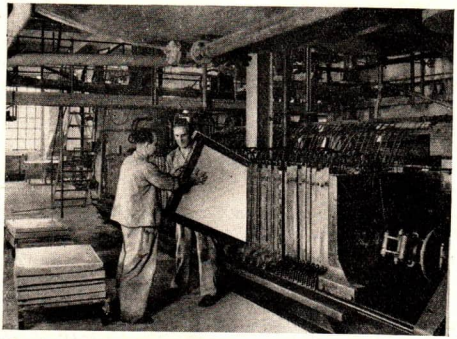




Abb. 73 Kühlpressen in der Konsum-Seifenfabrik Riesa

Abb. 74 Piliermaschine im VEB Patina Seifen- und Parfümeriefabrik Halle



Abb. 75 Strangpresse im VEB Steckenpferd Seifen- und Kosmetikwerk Radebeul



Abb. 76 Schlagpresse in der Konsum-Seifenfabrik Riesa

Duft- und Farbstoffen sowie anderen Zusätzen gemischt. Anschließend wird die Seifenmasse in der **Pilliermaschine** (Abb. 74) durch mehrere Walzenpaare gedrückt und verrieben, wodurch eine gute und gleichmäßige Mischung von Seife und Zusätzen erzielt wird. Die Masse wird nun in der **Strangpresse** (Abb. 75) zu einem Strang gepreßt, dann in gleich große Stücke geschnitten und in **Schlagpressen** (Abb. 76) zu verkaufsfertigen Stücken gepreßt.

4. Besondere Seifenerzeugnisse. Außer Kern- und Feinseifen wird eine Reihe weiterer Seifenerzeugnisse hergestellt. Salzt man bei Natriumseifen den Seifenkern nicht aus, so erstarrt das Siedegemisch (der Seifenleim) nach einiger Zeit zu einer festen Masse, der **Leimseife.** Während gewöhnliche Kernseifen nur etwa 30% Wasser enthalten, beträgt der Wasseranteil der Leimseifen bis zu 80%. Leimseifen gleichen in ihrem Aussehen und ihrer Schaumkraft häufig den guten Kernseifen, verbrauchen sich aber rascher als diese. **Schmierseifen** sind Kaliumleimseifen, die unter Verwendung billiger Öle (z. B. Hanföl oder Fischtran) ohne Aussalzen hergestellt werden. Da die Kaliumleimseifen nicht fest werden, gelangen sie als schmierige Masse in Fässern zum Versand (Faßseife).

Seifenflocken sind Kernseifen, die warm zu dünnen Schichten ausgewalzt und zerquetscht werden. Sie lösen sich infolge ihrer größeren Oberfläche wesentlich schneller im Waschwasser als die gewöhnlichen Kernseifen.

Versprüht man Seifenlösungen in heiße Luft, so verdampft das Wasser, und die Trokkensubstanz (Seife) fällt pulverförmig als **Seifenpulver** an. Seifenpulver besitzt eine sehr große Oberfläche und löst sich daher schnell im Wasser.

In Tabelle 14 sind die wichtigsten Seifenarten und ihre Kennzeichen zusammengestellt.

Tabelle 14. Einige Arten von Seifen

Name	Kennzeichen
Kernseifen	Erstarrter Seifenkern (durch Aussalzen hergestellt)
Leimseifen	Erstarrter Natriumseifenleim; hoher Wassergehalt
Schmierseifen	In Fässern abgefüllte, erkaltete Kaliumleimseifen
Feinseifen	Gute Kernseifen mit Zusätzen von Hautpflegemitteln, Duft- und Farbstoffen usw.
Rasierseifen	Meist Gemische von Natrium- und Kaliumstearat mit Zusätzen
Seifenflocken	Gute Kernseifen in Flockenform; enthalten wenig Wasser
Seifenpulver	Durch Zerstäubungstrocknung hergestellte pulverförmige Seifen; enthalten häufig Zusätze

5. Eigenschaften und Waschwirkung der Seife. Alle Waschseifen sind Alkalisalze von Fettsäuren. Sie sind wasserlöslich. Die wäßrigen Seifenlösungen reagieren bei entsprechender Verdünnung basisch. Wir untersuchen diese Eigenschaft der Seife:

61

Wir lösen 1 g Kernseife in 10 ml siedendem destilliertem Wasser auf und kühlen die Lösung ab. Dann geben wir zu 1 ml dieser Lösung einige Tropfen Phenolphthaleinlösung.
Was stellen Sie fest?
Nun verdünnen wir stark mit destilliertem Wasser.
Welche Farbe zeigt die Lösung nach der Verdünnung?

62

Wir versetzen einige Milliliter einer alkoholischen Seifenlösung mit einigen Tropfen Phenolphthaleinlösung und verdünnen die farblose Lösung mit Methanol oder Äthanol.
Was beobachten Sie?

Lösungen von Seifen in Alkanolen reagieren bei allen Verdünnungsgraden neutral. Wäßrige Seifenlösungen zeigen erst bei großer Verdünnung basische Reaktion, die durch Rotfärbung der Phenolphthaleinlösung sichtbar wird. Die Bildung von Alkalihydroxiden in wäßrigen Seifenlösungen ist eine Gleichgewichtsreaktion:

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

Das Gleichgewicht liegt bei konzentrierten Seifenlösungen ganz auf der linken Seite der Reaktionsgleichung. Die Lösung reagiert neutral. Setzen wir viel Wasser hinzu, so verschiebt sich dadurch das Gleichgewicht nach der anderen Seite. Die Lösung reagiert dann basisch.

Verdünnte wäßrige Seifenlösungen reagieren basisch.

63

Wir geben in ein Reagenzglas klare, wäßrige Seifenlösung und fügen Äthansäure bis zur sauren Reaktion hinzu.
Was beobachten Sie?

Durch Zugabe von Säuren zu Seifenlösungen wird die Seife zerstört; es werden wasserunlösliche Karbonsäuren ausgeschieden. Seifen sind säureempfindlich. Seifenlösungen können also nicht durch Zugabe von Säuren neutralisiert werden.
Von großer Bedeutung sind die Reaktionen von Seifenlösungen mit Kalzium- und Magnesiumsalzen.

64

In drei Standzylinder geben wir je 50 ml 0,5%ige Seifenlösung. Die Lösung im ersten Zylinder versetzen wir mit 10 ml 10%iger Kalziumchloridlösung, die Lösung im zweiten mit der gleichen Menge 10%iger Magnesiumchloridlösung.
Was beobachten Sie?
Wir verschließen alle drei Zylinder und schütteln sie kräftig in der Längsrichtung.
Beobachten Sie die Schaumbildung in den Zylindern!
Was stellen Sie fest?

Seifenlösungen ergeben mit Kalzium- und Magnesiumsalzen unlösliche Verbindungen, zum Beispiel:

$$\underset{\text{Natriumstearat (wasserlöslich)}}{2\,C_{17}H_{35}\cdot COONa} + CaCl_2 \rightarrow \underset{\text{Kalziumstearat (in Wasser unlöslich)}}{(C_{17}H_{35}\cdot COO)_2Ca\downarrow} + 2\,NaCl$$

● *Untersuchen Sie die Beeinflussung der Seifenwirkung durch die Wasserhärte nach Versuch S 60!*

Durch diese Fällungen wird die Schaumkraft der Seifenlösungen zerstört. Außerdem haben die entstandenen (unlöslichen) Verbindungen keinerlei Waschwirkung.
Da mit Ausnahme des Regenwassers alle natürlichen Wässer Kalzium- und Magnesiumsalze enthalten, muß man diese Salze durch Zugabe bestimmter Chemikalien aus dem Wasser entfernen, bevor man die Seife auflöst. Unterläßt man diese Maßnahme, so treten beim Baden und vor allem beim Wäschewaschen erhebliche Seifenverluste durch Bildung von unlöslichen Kalzium- und Magnesiumseifen auf. Außerdem werden die Textilien durch Ablagerung von Erdalkaliseifen geschädigt.

Seifen besitzen einige nachteilige Eigenschaften. Sie sind unbeständig gegen Säuren und die im Wasser gelösten Salze. Sie reagieren in wäßriger Lösung basisch.

65

Zu etwa 5 ml einer Seifenlösung geben wir einige Milliliter konzentrierte Natriumchloridlösung.
Was beobachten Sie?

Seife löst sich in Wasser, nicht aber in Natrium- oder Kaliumchloridlösungen bestimmter Konzentration. Aus wäßrigen Seifenlösungen fällt daher die Seife bei Zusatz von Alkalichloriden aus. Von dieser Eigenschaft macht man beim Aussalzen des Seifenkernes Gebrauch. Sie macht aber auch die Verwendung von Meerwasser zum Waschen mit Seife unmöglich.
Von einem guten Waschmittel wird gefordert, daß es die Haut und die Textilfasern benetzt, daß es Fett und Schmutzteilchen von der Haut und der Wäsche entfernt, ferner möglichst viel Schmutz aufnimmt und in der Schwebe hält.

Wir untersuchen, ob Seife diese Eigenschaften besitzt:

66

Wir füllen ein Reagenzglas zur Hälfte mit Wasser, ein anderes zur Hälfte mit Seifenlösung. In beide Gläser geben wir einige Tropfen Pflanzen- oder Paraffinöl und mischen durch kräftiges Schütteln.

In welchem Reagenzglas bleibt das Öl länger in der Flüssigkeit verteilt?

67

Ein Standzylinder wird zur Hälfte mit Wasser, ein zweiter zur Hälfte mit Seifenlösung gefüllt. In beide Flüssigkeiten geben wir je eine Messerspitze Braunsteinpulver und schütteln kräftig durch. Der Braunstein soll in unserem Versuch den Schmutz darstellen.

Stellen Sie fest, welche Flüssigkeit das bessere Schmutztragevermögen hat!

- *Untersuchen Sie die Herabsetzung der Oberflächenspannung bei Textilgeweben durch Seifenlösung nach Versuch S 61!*
  Beobachten Sie, welche Flüssigkeit das Gewebe schneller benetzt!

Seife ist ein gutes Waschmittel. Sie nimmt Fette und Öle auf, benetzt rasch und besitzt gutes Schmutztragevermögen.

6. Die volkswirtschaftliche Bedeutung unserer Seifenindustrie. Unsere Republik verfügt über eine ganze Reihe kleinerer und größerer Seifenfabriken. Diese Werke versorgen alle Teile des Landes mit Seifen und Seifenerzeugnissen. Die Werktätigen der Seifenindustrie haben in den vergangenen Jahren große Initiative entwickelt, den Umfang und die Qualität ihrer Produktion erheblich zu erhöhen, so daß uns heute ein sehr vielseitiges Angebot von hochwertigen Seifenerzeugnissen zur Verfügung steht. Die bekanntesten Seifenwerke der Deutschen Demokratischen Republik sind folgende:

VEB Decenta-Werk	Döbeln
VEB Fettchemie	Karl-Marx-Stadt
VEB Oderna Seifen- und Kerzenfabrik	Frankfurt (Oder)
VEB Patina Seifen- und Parfümeriefabrik	Halle (Saale)
VEB Rumbo-Seifenwerk	Freital
VEB Steckenpferd Seifen- und Kosmetikwerk	Radebeul
VEB Zeulenrodaer Seifenfabrik	Zeulenroda
VEB Zitza-Werk	Zeitz
Konsum-Seifenfabrik	Riesa

Die Erzeugnisse unserer Seifenindustrie sind in aller Welt sehr geschätzt und werden daher in zahlreiche Länder exportiert. Von einem der Werke, dem VEB Steckenpferd Seifen- und Kosmetikwerk Radebeul, ging Anfang des Jahres 1958 eine große Bewegung der Werktätigen der Exportbetriebe aus, die **Steckenpferdbewegung.** Sie hatte das Ziel, zusätzliche Exportwaren zu produzieren und ermöglichte den außerplanmäßigen Ankauf von Handelsschiffen und anderen Industrieprodukten.

Wasserhärte und Wasserenthärtung

1. Die Härte des Wassers. Leitungswasser, Quellwasser, Flußwasser und andere natürliche Wässer, außer Regenwasser, enthalten neben gelösten Gasen auch Salze in wechselnden Mengen. In den meisten Fällen sind Kalziumhydrogenkarbonat, Magnesiumhydrogenkarbonat und Kalziumsulfat. gelegentlich auch Eisen(II)-hydrogenkarbonat und andere Schwermetallsalze im Wasser gelöst.
Der Gesamtgehalt an diesen Verbindungen wird als **Härte des Wassers** bezeichnet. Die im Wasser enthaltenen Salze nennt man **Härtebildner.** Man unterscheidet
a) die **vorübergehende** oder **temporäre Härte:** Sie ergibt sich aus der Menge der gelösten Hydrogenkarbonate. Diese Salze werden beim Sieden des Wassers als schwerlösliche Karbonate ausgefällt. Auf diese Weise kann die temporäre Härte beseitigt werden.
b) die **bleibende** oder **permanente Härte:** Sie ergibt sich vor allem aus dem Gehalt an Sulfaten und Silikaten. Im Gegensatz zur temporären Härte wird die permanente Härte durch Sieden nicht verändert. Zur Beseitigung der permanenten Härte können bestimmte Chemikalien verwendet werden.
Die **Gesamthärte** ist die Summe von temporärer und permanenter Härte.

Die Wasserhärte ist durch die in den natürlichen Wässern gelösten Salze bedingt.
Wir unterscheiden temporäre und permanente Härte.
Die Summe beider ist die Gesamthärte.

Die Wasserhärte wird in Härtegraden angegeben. Man versteht unter einem **deutschen Härtegrad** (1° dH oder 1° d) die Menge von 10 mg Kalziumoxid in einem Liter Wasser. Das heißt jedoch nicht, daß Kalziumoxid im Wasser gelöst ist. Man bestimmt durch Analysen die vorhandenen Härtebildner und rechnet die festgestellten Mengen von Kalzium-, Magnesium- und anderen Salzen (Hydrogenkarbonate, Sulfate, Chloride usw.) stöchiometrisch auf Kalziumoxid um.
Wasser bis zu 4° dH wird als sehr weich bezeichnet, mit 4 bis 8° dH heißt es weich, mit 8 bis 30° dH hart und mit über 30° dH sehr hart.
Abgesehen davon, daß ein mittlerer Gehalt an Hydrogenkarbonaten den Geschmack des Trinkwassers verbessert und auch vom Körper benötigt wird, wirkt sich die Wasserhärte fast immer nachteilig aus. Bei der Verwendung als Speisewasser für Dampfkessel scheiden sich aus dem Wasser Salze an den Innenwänden der Kessel als Kesselstein ab. Kesselstein ist ein schlechter Wärmeleiter und verursacht große Brennstoffverluste, weil er die Wärmeübertragung an das Wasser behindert. Infolge seiner schlechten Wärmeleitfähigkeit bewirkt Kesselstein auch Überhitzungen der Kesselwand, die zu Ausbeulungen und Rissen in den Kesselblechen, in ungünstigen Fällen sogar zu Kesselexplosionen führen können. Röhren, in denen hartes Wasser erhitzt wird, werden infolge Kesselsteinbildung immer enger und „wachsen" schließlich ganz zu.
Ebenso nachteilig wirkt sich die Wasserhärte in verschiedenen Zweigen der chemischen Industrie (z. B. in der Bierbrauerei und bei der Zuckergewinnung) und auch beim Waschprozeß aus.
Beim Waschen bilden sich aus Seife und Härtebildnern schmierige und schwerlösliche Kalzium- und Magnesiumseifen, die nicht schäumen und keine Waschwirkung besitzen. Abbildung 77 gibt über Seifenverluste bei verschiedener Härte des Wassers Aufschluß.

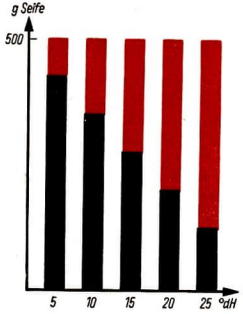


Abb. 77 Seifenverluste von 500 g Seife in 100 l Wasser bei verschiedener Härte

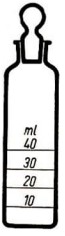


Abb. 78 Schüttelzylinder zur Wasserhärtebestimmung

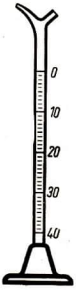


Abb. 79 Bürette zur Wasserhärtebestimmung

Die Herabsetzung und weitgehende Beseitigung der Wasserhärte ist eine der wichtigsten Aufgaben der Chemiker und Ingenieure in vielen Betrieben.
Bevor das Wasser enthärtet wird, bestimmt man nach verschiedenen Methoden die Wasserhärte. Die Gesamthärte des Wassers wird häufig nach der **Methode von Boutron und Boudet** ermittelt. Zur Bestimmung der Wasserhärte dienen Seifenlösungen bestimmter Konzentration, Schüttelzylinder (Abb. 78) und Büretten (Abb. 79). An der Bürette kann man unmittelbar die Gesamthärte in ° dH ablesen.

68

Von dem zu untersuchenden Wasser geben wir 40 ml (die mit einer Pipette abgemessen werden) in den Schüttelzylinder. Dann füllen wir die Bürette mit Seifenlösung nach Boutron und Boudet, geben sie tropfenweise in die Wasserprobe und schütteln kräftig um. Das Zusetzen und Schütteln wiederholen wir so lange, bis der Seifenschaum im Schüttelzylinder etwa 5 Minuten stehen bleibt. Dann lesen wir den Seifenverbrauch beziehungsweise die ° dH am Zulaufgefäß ab.
Bei hartem Wasser, das über 20° dH hat, wird die Bestimmung durch die ausgefällten Kalzium- und Magnesiumseifen sehr erschwert. In solchen Fällen messen wir nur 20 ml des zu untersuchenden Wassers ab und verdünnen durch Zugabe von 20 ml destilliertem Wasser. Die abgelesenen Härtegrade müssen in diesem Falle mit 2 multipliziert werden.

2. Wasserenthärtung durch chemische Verfahren. Die technische Enthärtung des Wassers, das heißt die Entfernung der Härtebildner, ist abhängig von der Art der gelösten Salze und dem Verwendungszweck des Wassers. In der Industrie kommen hauptsächlich die Enthärtung durch chemische Ausfällung der Härtebildner und die Enthärtung durch Ionenaustausch zur Anwendung.
Die chemischen Verfahren zur Wasserenthärtung beruhen darauf, daß man durch Zugabe bestimmter Chemikalien (z. B. Kalziumhydroxid und Natriumkarbonat) die Härtebildner ausfällt. Das am häufigsten angewendete Fällungsverfahren ist das **Kalk-Soda-Verfahren.** In der ersten Stufe des Verfahrens werden die Hydrogenkarbonate, die die temporäre Härte des Wassers bilden, durch Zugabe von Kalziumhydroxid (Kalkmilch, Kalkwasser) ausgefällt, zum Beispiel:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2\,CaCO_3\downarrow + 2\,H_2O$$

In der zweiten Stufe wird die permanente Härte des Wassers durch Zusatz von Natriumkarbonat (Soda) beseitigt, zum Beispiel:

$$Ca\,SO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + Na_2SO_4$$

Das Prinzip des Kalk-Soda-Verfahrens wird durch folgende Versuche veranschaulicht.

69



Wir geben einige Milliliter Kalziumhydrogenkarbonatlösung in ein Reagenzglas und versetzen sie mit einer klaren Lösung von Kalziumhydroxid (Kalkwasser).
Was beobachten Sie?

70



Wir geben zu einer gesättigten Lösung von Kalziumsulfat etwas Natriumkarbonatlösung.
Was stellen Sie fest?

Das nach dem Kalk-Soda-Verfahren enthärtete Wasser enthält immer noch eine geringe Resthärte, meist 2 bis 4° dH, die in bestimmten Fällen, vor allem bei der Verwendung des Wassers als Kesselspeisewasser, beseitigt werden muß. Man kann die restlichen Härtebildner mit Trinatriumphosphat Na_3PO_4 ausfällen und damit die Härte auf 0,1° dH senken. Dieses Verfahren ist jedoch verhältnismäßig kostspielig.

3. Wasserenthärtung durch Ionenaustausch. Heute wendet man meist die Wasserenthärtung durch Ionenaustausch an. Bei diesem Verfahren werden entweder bestimmte Silikate, die **Permutite** und **Zeolithe,** oder Kunstharze, die **Wofatite,** verwendet, die die Ionen der Härtebildner gegen andere Ionen austauschen.
Beim Permutitverfahren wird gekörntes Permutit in große eiserne Zylinder gefüllt, die von dem harten Wasser durchflossen werden. Dabei bindet das Permutit die Kalzium- beziehungsweise Magnesiumionen der Härtebildner und gibt dafür Natriumionen an das Wasser ab.
Bei der Wasserenthärtung mit Wofatit, einem Erzeugnis des VEB Farbenfabrik Wolfen, werden ebenfalls die Kationen (Metallionen) der Härtebildner gegen Natriumionen ausgetauscht:

$$Ca^{2+} + Na_2\text{-Wofatit} \rightarrow Ca\text{-Wofatit} + 2\,Na^+$$

In der Industrie enthärtet man das Wasser gewöhnlich erst durch Zugabe von Kalkmilch auf etwa 10° dH und entfernt dann die Resthärte mit Wofatit.
Mit bestimmten Wofatiten ist es auch möglich, die gelösten Salze aus dem Wasser gänzlich zu entfernen. Dieses Verfahren wird nicht mehr als Enthärtung, sondern als **Vollentsalzung** bezeichnet. Bei der Vollentsalzung werden in einem zylinderförmigen Wofatitfilter zuerst die Metallionen gegen Wasserstoffionen ausgetauscht, zum Beispiel:

$$CaSO_4 + H_2\text{-Wofatit} \rightarrow Ca\text{-Wofatit} + H_2SO_4$$

Das entstandene säurehaltige Wasser fließt nun durch einen zweiten Zylinder, der mit einem Anionenaustauscher gefüllt ist.
In diesem Gefäß werden die Säurereste gegen Hydroxylionen ausgetauscht. Es bildet sich Wasser:

$$H_2SO_4 + (OH)_2\text{-Wofatit} \rightarrow 2\,H_2O + SO_4\text{-Wofatit}$$

Ist die Austauschfähigkeit der Ionenaustauscher erschöpft, so können diese leicht regeneriert werden. Zum Beispiel werden Kationenaustauscher wieder gebrauchsfähig, wenn man sie mit konzentrierter Natriumchloridlösung behandelt:

$$\text{Ca-Wofatit} + 2\,\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}_2\text{-Wofatit} + \text{CaCl}_2$$

● *Ermitteln Sie bei Betriebsbesichtigungen, nach welchen Verfahren das Kesselspeisewasser enthärtet wird!*

▶ **Die Härtebildner werden durch chemische Fällung (z. B. Kalk-Soda-Verfahren) oder mit Hilfe von Ionenaustauschern (Permutit oder Wofatit) aus dem Wasser entfernt.**

Neutralwaschmittel

Seife besitzt viele Vorzüge: Sie läßt sich billig herstellen, sie benetzt rasch Haut und Textilfasern und hat gute Schaumbildung, sie löst Schmutz von der Unterlage und sie nimmt Fette und Öle auf. Diesen Vorzügen stehen Nachteile gegenüber: Seifenlösungen reagieren basisch und schaden insbesondere den Textilwaren aus Schafwolle. Seifen sind ferner unbeständig gegen die Härtebildner des Wassers und reagieren mit Säuren und verschiedenen anderen Chemikalien in ungünstiger Weise. Aus diesen Gründen arbeiten die Chemiker seit Jahrzehnten an der Herstellung von Waschmitteln, die an Stelle von Seife verwendet werden können, aber deren nachteilige Eigenschaften nicht aufweisen. Besonders in Deutschland wurden große Erfolge bei der Entwicklung dieser neuen Waschmittel erzielt. Unsere volkseigene Industrie stellt heute eine große Anzahl von Wasch- und Reinigungsmitteln auf der Basis der neuentwickelten Produkte her.

Moderne Waschmittel sind keine einheitlichen Produkte, sondern Gemische mehrerer Stoffe und enthalten als waschaktive Substanzen häufig **Alkylsulfate.** Die Alkylsulfate wurden im VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt entwickelt. Zu ihrer Herstellung werden Karbonsäuren verwendet, die man durch Paraffinoxydation oder Fettspaltung erzeugt. Durch katalytische Hochdruckreduktion der Karbonsäuren erhält man bestimmte Alkanole. Diese Alkanole werden in ihre Schwefelsäureester umgewandelt, die man anschließend neutralisiert. Dabei entstehen Alkylsulfate.

Wir stellen nun Natriumalkylsulfate aus langkettigen Alkanolen ($C_{12}H_{25} \cdot OH$ bis $C_{18}H_{37} \cdot OH$) in einem Versuch her.

71

Wir geben in ein Reagenzglas ein kleines Stück von einem langkettigen Alkanol oder einem Alkanolgemisch, in ein zweites Reagenzglas 1 ml konzentrierte Schwefelsäure, in ein drittes 3 ml 10%ige Natronlauge und erwärmen die drei Reagenzgläser in heißem Wasser. Wenn das Alkanol (das Alkanolgemisch) geschmolzen ist, fügen wir 4 Tropfen der erwärmten konzentrierten Schwefelsäure hinzu, schütteln und lassen das Reaktionsgemisch kurze Zeit im Wasserbad. Anschließend versetzen wir mit einem Tropfen Phenolphthaleinlösung und tropfenweise (Vorsicht!) mit so viel warmer 10%iger Natronlauge, bis sich eine bleibende schwache Rosafärbung zeigt. Nach erfolgter Neutralisation spülen wir das Reaktionsprodukt in ein großes Reagenzglas, füllen das Glas bis zur Hälfte mit Wasser, verschließen es mit einem Stopfen und schütteln kräftig in der Längsrichtung des Glases.

Was beobachten Sie?

Die Bildung einer hohen, bleibenden Schaumschicht ist ein Zeichen für entstandenes Natriumalkylsulfat.
Die Alkylsulfate werden in der Textilveredlung, in Wäschereien und im Haushalt verwendet. Sie kommen unter verschiedenen Namen (z. B. Fewa, Fit) in den Handel. Die folgenden Versuche mit Fewa zeigen einige Eigenschaften der Alkylsulfate:

72

Wir lösen etwas Fewa in destilliertem warmem Wasser und untersuchen die Reaktion der wäßrigen Lösung mit Lackmus und Phenolphthalein.
Wie reagiert eine Alkylsulfatlösung?

73

Zwei Reagenzgläser werden je zur Hälfte mit 1%iger Seifenlösung gefüllt, ein drittes Reagenzglas mit der gleichen Menge Fewalösung. Zu dem einen Glas mit Seifenlösung und zur Fewalösung geben wir etwas Kalziumchloridlösung. Dann werden die drei Gläser verschlossen und kräftig in der Längsrichtung geschüttelt.
Was beobachten Sie?
Was können Sie aus dem Ergebnis des Versuches folgern?

74

Wir verbinden ein gebogenes Glasrohr, dessen kurzer Teil zu einer Kapillare ausgezogen ist, am langen Teil durch einen Schlauch mit einem kleinen Trichter (Abb. 80). Der Schlauch wird mit einem Quetschhahn geschlossen. In den Trichter füllen wir Öl. Wir öffnen nun den Quetschhahn und lassen so viel Öl in das Rohr, daß es gerade aus der Kapillare läuft. Dann wird der Schlauch wieder geschlossen. Nun hängen wir das Rohr in einen großen Standzylinder, der mit Wasser gefüllt ist, und öffnen die Klemmschraube etwas. Das Öl quillt langsam aus der Kapillare und steigt in Form kleiner runder Tropfen an die Oberfläche des Wassers. Dann hängen wir das Rohr in einen zweiten Standzylinder, der 2%ige Fewalösung von etwa 30 °C enthält. Das Öl steigt jetzt als feiner, zusammenhängender Strahl nach oben.
Fewa zeigt starkes Benetzungsvermögen und verringert die Oberflächenspannung zwischen Öl und Wasser so sehr, daß die Tropfenbildung unterbleibt.

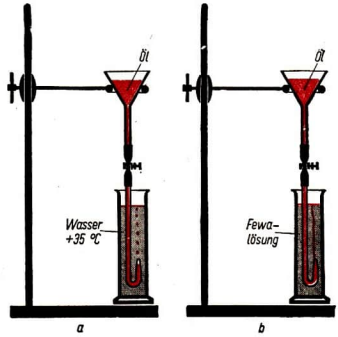


Abb. 80 Ausströmen von Öl in Wasser (a) und Fewalösung (b)

Die Alkylsulfate sind in Wasser leicht löslich. Ihre wäßrigen Lösungen reagieren neutral. Deshalb heißen Waschmittel, die Alkylsulfate enthalten, **Neutralwaschmittel.** Alkylsulfate zeigen gutes Aufnahmevermögen für Fette, sie benetzen rasch die zu

reinigenden Stoffe, heben von ihnen den Schmutz ab und halten ihn lange in der Schwebe. Alkylsulfate sind aber auch säurebeständig und unempfindlich gegen hartes Wasser und Alkalichloride.

● *Vergleichen Sie das Verhalten von Seife und Fewa nach Versuch S 62!*
Was beobachten Sie?
Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie aus Ihren Beobachtungen?

▶ **Neutralwaschmittel besitzen sehr gutes Waschvermögen und weisen nicht die nachteiligen Eigenschaften der Seife auf.**

Neben den Alkylsulfaten sind auch andere waschaktive Verbindungen mit ähnlichen Eigenschaften entwickelt worden. Sie alle gehören zur Gruppe der Neutralwaschmittel oder Feinwaschmittel. Handelsprodukte, wie Fewa, Fit, Milwa, Wok, Milwok, Gentina und andere, enthalten etwa 30 bis 50% waschaktive Substanz (z.B. Alkylsulfate). Im Gegensatz zu den meisten Seifen, deren wäßrige Lösungen erst nahe der Siedetemperatur voll wirksam werden, entfalten die Neutralwaschmittel (Feinwaschmittel) bereits in handwarmer Lösung, also unter 40 °C, ihr volles Waschvermögen. Sie eignen sich auf Grund ihrer Eigenschaften besonders für solche Textilwaren, die alkaliempfindlich sind (Abb. 81) oder die nicht heiß gewaschen werden dürfen, wie Wolle, Dederon, Wolpryla, Grisuten, Viskosefaser und Viskoseseide. Gefärbte Textilien mit unbefriedigender Farbechtheit können meist in lauwarmen Lösungen mit Feinwaschmitteln gewaschen werden, ohne daß sich ihre Farbe ändert. Häufig wird angenommen, daß die Schaumkraft der Waschmittel von großer Bedeutung für den Waschvorgang ist. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, daß die Waschkraft eines Waschmittels unabhängig von der Schaumbildung ist. Schaum unterstützt lediglich den Reinigungsprozeß. Lösungen von Feinwaschmitteln haben ein auffallend großes Schaumvermögen. Beim Vermischen mit Seifenlösungen fällt der Schaum jedoch zusammen.

▶ **Neutralwaschmittel (Feinwaschmittel) entfalten ihr volles Waschvermögen bereits in lauwarmen Lösungen und eignen sich daher vorzüglich zum Waschen empfindlicher Textilien.**

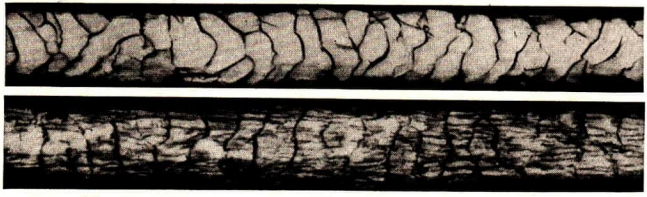


Abb. 81 Wollfaser (300fach vergrößert)
a) nach Fewawäsche; die Schuppen der oberen Schicht sind unverändert,
b) nach alkalischer Wäsche; die Schuppenschicht ist angegriffen und an vielen Stellen zerstört

In Tabelle 15 sind einige bekannte Wasch- und Reinigungsmittel für den Haushalt zusammengestellt.

Tabelle 15. Einige Wasch- und Reinigungsmittel für den Haushalt

Name	Kennzeichnung	Hersteller
Fewa	Neutralwaschmittel (auf Alkylsulfatbasis) für Wolle, Dederon usw.	VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt
Fit	Neutrales Putz-, Reinigungs- und Abwaschmittel auf Alkylsulfatbasis	
Fay	Schnellwaschmittel auf Basis neutraler Waschrohstoffe für Wolle, Dederon, Wolpryla usw. Durch seinen Gehalt an Natriumhydrogenkarbonat wirkt es bei Temperaturen über 60 °C als Grobwaschmittel	
Gentina	Kochwaschmittel für Weiß- und Buntwäsche auf Basis von Neutralwaschmitteln	VEB Waschmittelwerk Genthin
Persil	Kochwaschmittel für Weiß- und Buntwäsche, enthält Neutralwaschmittel, Natriumsilikat, sauerstoffabspaltende Verbindungen (Bleichmittel) u. a. Stoffe	
Milwa	Schnellwaschmittel auf Basis neutraler Waschrohstoffe	
Wok	Schnellwaschmittel; enthält Neutralwaschmittel, sauerstoffabspaltende Verbindungen (Bleichmittel), Phosphate, Silikate u. a. Stoffe	
Milwok	Waschmittel ohne starke Schaumbildung; geeignet für Waschmaschinen	
Gemol rapid	Einweichmittel und Wasserenthärtungsmittel auf Basis von Natriumsilikat	
Sil	Spülmittel für Wäsche auf Basis von Natriumsilikat mit Zusätzen von sauerstoffabspaltenden Verbindungen (Bleichmitteln)	

Fay, Milwa und Wok sind sogenannte **Schnellwaschmittel**. Man faßt unter dieser Bezeichnung Waschmittel zusammen, deren siedende Lösung zum sofortigen Reinigen der Wäsche dient, ohne daß ein vorheriges Einweichen des Waschgutes erfolgt. Bei stark verschmutzter Wäsche ist allerdings auch bei Verwendung von Schnellwaschmitteln eine Vorreinigung durch Einweichen von Vorteil.

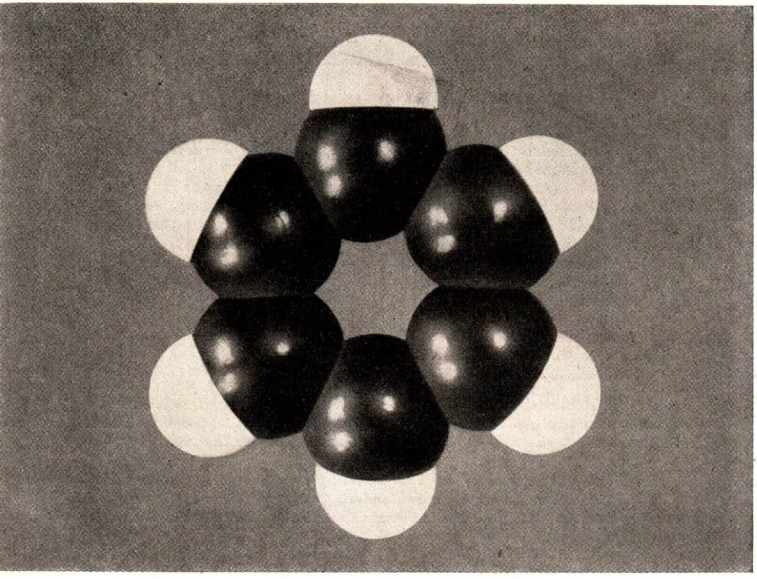
Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Erläutern Sie den Begriff Seife!
2. Welche Ausgangsstoffe werden zur Seifenherstellung verwendet?
3. Beschreiben Sie wichtige Verfahren der Seifenherstellung!
4. Erklären Sie den Unterschied zwischen Kernseifen und Leimseifen!
5. Erläutern Sie die Herstellung von Feinseifen!
6. Wieviel Natriumkernseife mit 30% Wassergehalt erhält man aus 100 kg Oktadekansäure?
7. Wieviel kg 20%ige Natronlauge werden theoretisch zur Umsetzung von 512 kg Hexadekansäure zu Seife benötigt?
8. Wieviel kg Oktadekensäure müssen in den Seifenkessel eingetragen werden, damit man 1600 kg einer 20%igen Kaliumschmierseife erhält?
9. 710 kg Oktadekansäure werden nach dem Karbonatverfahren zu Seife umgewandelt. Wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) entstehen bei diesem Prozeß?
10. Welche Eigenschaften besitzen wäßrige Seifenlösungen?
11. Erläutern Sie, warum bestimmte Eigenschaften der Seife ungünstig sind!
12. Erklären Sie den Begriff „Härtebildner des Wassers"!
13. Was versteht man unter einem deutschen Härtegrad?
14. Wieviel Gramm Substanz sind in 1 l Wasser von 22,4° dH gelöst, das nur Kalziumhydrogenkarbonat enthält?
15. Erklären Sie anhand von Reaktionsgleichungen die Kalk-Soda-Enthärtung des Wassers!
16. Erläutern Sie die Begriffe temporäre, permanente und Gesamthärte des Wassers!
17. Aus 1 l Wasser von 28° dH werden beim Sieden 300 mg Kalziumkarbonat ausgefällt. Wieviel ° dH beträgt bei diesem Wasser die permanente Härte?
18. Nennen Sie nachteilige Wirkungen des harten Wassers!
19. Erläutern Sie eine Methode, nach der die Gesamthärte des Wassers bestimmt werden kann!
20. Ein Wasser, das 0,544 kg Kalziumsulfat in 1 m^3 enthält, soll durch Natriumkarbonat enthärtet werden. Wieviel Liter einer 10%igen Natriumkarbonatlösung (D: 1,1) müssen auf 1 m^3 Wasser zugesetzt werden?
21. Wie wird die Enthärtung des Wassers nach dem Ionenaustauschverfahren durchgeführt?
22. Nennen Sie wichtige Ionenaustauscher!
23. Vergleichen Sie die Eigenschaften der wäßrigen Lösungen von Seifen und Feinwaschmitteln!
24. Das Schnellwaschmittel Fay enthält auch Natriumhydrogenkarbonat. Erläutern Sie anhand einer Reaktionsgleichung, warum deshalb lauwarme Faylösungen annähernd neutral, siedende jedoch alkalisch reagieren!
25. Lösen Sie kleine Mengen von verschiedenen Wasch- und Reinigungsmitteln, wie sie im Haushalt verwendet werden, in Wasser auf und prüfen Sie die Reaktion der erhaltenen Lösungen mit rotem Lackmuspapier oder Phenolphthalein! Halten Sie die Ergebnisse in einer Tabelle fest!
26. Prüfen Sie Proben von festen (nicht gelösten) Wasch- und Reinigungsmitteln durch Übergießen mit 10%iger Salzsäure auf Karbonatgehalt! Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Natriumkarbonat und Salzsäure auf! Tragen Sie die Ergebnisse in die Tabelle von Aufgabe 25 ein!
27. Welche Substanzen sind enthalten, wenn Sie bei einem Wasch- oder Reinigungsmittel alkalische Reaktion und Karbonatgehalt beziehungsweise neutrale Reaktion und Karbonatgehalt festgestellt haben?

9. KAPITEL

Ringförmige Kohlenwasserstoffe und ihre Derivate

Außer den kettenförmigen gibt es zahlreiche ringförmige organische Verbindungen. Eine wichtige Gruppe davon wird unter dem Namen aromatische Verbindungen zusammengefaßt. Die Bezeichnung „aromatisch" deutet an, daß viele dieser Stoffe einen angenehmen, charakteristischen Geruch haben. Sie wurde zu einer Zeit geprägt, als man die verschiedenen Stoffe der Natur in Unkenntnis ihrer chemischen Struktur nach äußeren Merkmalen, zum Beispiel nach dem Geruch, einteilte. Später erkannte man, daß sich viele der aromatisch riechenden Stoffe von einem ringförmigen Kohlenwasserstoff, dem Benzol, ableiten. Seither verwendet man die Bezeichnung „aromatische Verbindungen" zur Kennzeichnung von Verbindungen einer bestimmten Struktur. Heute sind über 100000 verschiedene aromatische Verbindungen bekannt, darunter viele, die geruchlos sind oder unangenehm riechen.



Benzol

1. Aufbau und Eigenschaften. Die einfachste aromatische Verbindung ist das **Benzol.** Einige Eigenschaften dieses Stoffes sollen durch Versuche festgestellt werden.

75

Wir geben in ein trockenes Reagenzglas etwa 3 ml Methanol und in ein zweites trockenes Glas die gleiche Menge Benzin. Dann geben wir zu beiden Flüssigkeiten je 3 ml Benzol, verschließen die Gläser mit Stopfen und schütteln.
Was beobachten Sie?

76

In ein trockenes Reagenzglas geben wir mit Hilfe eines Glasstabes eine kleine Menge Fett und in ein zweites trockenes Glas ein wenig Kolophonium (höchstens halbe Erbsengröße). Dann gießen wir in beide Gläser je etwa 5 ml Benzol, verschließen mit Stopfen und schütteln.
Was beobachten Sie?

● *Untersuchen Sie die Dichte des Benzols und sein Verhalten gegen Wasser nach Versuch S 63!*
Ist die Dichte des Benzols größer oder kleiner als 1?
Warum erhalten wir keine klaren Lösungen, wenn wir zu Versuch 76 Butter oder Margarine verwenden?

77

Wir wärmen eine flache Eisenschale oder eine Uhrglasschale leicht an und geben darauf einige Tropfen Benzol. Dann nähern wir dem Benzol einen brennenden Holzspan.
Wann tritt Entzündung ein?
Welches Aussehen hat die Benzolflamme?

Benzol ist eine leicht bewegliche, farblose Flüssigkeit, die eigenartig riecht und kaum in Wasser löslich ist. Es ist jedoch ein gutes Lösungsmittel für Fette, Öle, Harze und viele andere organische Stoffe.
Benzol bildet bei Raumtemperatur leicht entzündliche Dämpfe, so daß es schon vor Berührung mit einer Flamme zu brennen beginnt. Es ist also sehr feuergefährlich. Die Benzolflamme rußt stark. Da Benzol eine kleinere Dichte als Wasser hat, können Benzolbrände nicht mit Wasser gelöscht werden. Geeignet sind hierzu Schaum- oder Kohlendioxidlöscher. Benzol ist giftig. Beim Einatmen konzentrierter Benzoldämpfe können Bewußtlosigkeit und Tod eintreten. Längeres Einatmen von kleineren Benzoldampfmengen verursacht oft gefährliche Erkrankungen.

Vorsicht beim Arbeiten mit Benzol! Es ist sehr feuergefährlich! Benzolbrände können nicht mit Wasser gelöscht werden!
Benzoldämpfe sind giftig!

Benzol ist ein Kohlenwasserstoff. Die stark rußende Flamme, die wir bei Versuch 77 beobachtet haben, ist ein Beweis für das Vorhandensein von Kohlenstoff im Benzolmolekül. Den Nachweis von Wasserstoff führen wir in Versuch 78 durch.

78

Wir geben in einen trockenen, nicht zu großen Standzylinder einige Tropfen Benzol, verschließen ihn mit einer Deckplatte und schütteln kräftig. Dann umwickeln wir den Zylinder mit einem Handtuch und entzünden das im Zylinder enthaltene Gasgemisch.

Vorsicht! Bei bestimmten Mischungsverhältnissen von Luft mit Benzoldampf kommt es zu einer Explosion.
Was für ein Beschlag hat sich an der Innenwandung des Zylinders gebildet?
Was schließen Sie aus dieser Erscheinung?

● *Führen Sie den Nachweis vom Kohlenstoff und Wasserstoff nach Versuch S 2 durch!*

Die quantitative Elementaranalyse ergab, daß Benzol aus 92,3% Kohlenstoff und 7,7% Wasserstoff besteht. Das Molekulargewicht des Benzols wurde mit 78 ermittelt. Aus diesen Angaben ergibt sich die Summenformel des Benzols C_6H_6. Vergleicht man diese Formel mit den Summenformeln der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe, so kann man vermuten, daß im Benzolmolekül Mehrfachbindungen vorhanden sind. Dies würde zur Folge haben, daß das Benzol ähnlich reaktionsfähig wäre wie die Alkene oder Alkine.

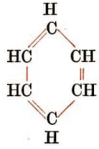
79

5 ml Benzol werden mit der gleichen Menge Bromwasser geschüttelt.
Was beobachten Sie?

Versuch 79 zeigt, daß sich Brom leicht in Benzol löst. Da die braune Farbe dabei bestehen bleibt, kann man schließen, daß Brom bei Raumtemperatur entweder nicht oder nur sehr langsam an Benzol angelagert (addiert) wird. Benzol enthält demnach keine aktiven Mehrfachbindungen wie zum Beispiel die Alkene.

● *Prüfen Sie das Verhalten von Benzol gegenüber* BAEYERs *Reagens nach Versuch S 64!*
Was beobachten Sie?
Wie verhalten sich Äthen und Äthin gegenüber Bromwasser und BAEYERs *Reagens?*
Erläutern Sie die Reaktion von Äthen mit Brom beziehungsweise BAEYERs *Reagens anhand von Reaktionsgleichungen!*

Der deutsche Chemiker AUGUST KEKULÉ VON STRADONITZ (Abb. 82) stellte 1865 auf Grund der Summenformel C_6H_6 eine Strukturformel für das Benzol auf, nach der sechs CH-Gruppen zu einem Sechsring zusammengeschlossen sind. Da Kohlenstoff vierwertig ist, nahm KEKULÉ drei Doppelbindungen im Ring an:



Nach dieser Strukturformel müßte Benzol eine stark ungesättigte Verbindung sein, leicht Brom addieren oder einen Farbumschlag bei BAEYERS Reagens bewirken. Die Versuche 79 und S 64 beweisen jedoch, daß dies nicht der Fall ist. Nach unseren heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen liegt im Benzolmolekül tatsächlich eine ring-

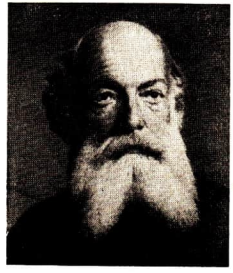


Abb. 82
A. KEKULÉ VON STRADONITZ

förmige Anordnung von sechs CH-Gruppen vor. Die Bindungen der Kohlenstoffatome untereinander sind jedoch von besonderer Art und können nur mit Hilfe der Elektronentheorie der Valenz erklärt werden.

Obgleich die Kekulésche Formel Mängel aufweist, ist sie für den Chemiker ein geeignetes Modell von der Struktur des Benzols. Man wendet sie daher auch heute noch an. Zur Vereinfachung läßt man aber die Symbole für Kohlenstoff und Wasserstoff sowie die Doppelbindungen aus dem Formelbild weg und zeichnet dieses nur als Sechseck:



Benzol C_6H_6

Die Theorie Kekulés von der Benzolstruktur hat wesentlich dazu beigetragen, daß die Strukturen zahlreicher anderer Stoffe in der Folgezeit aufgeklärt wurden. Mit Hilfe der Vorstellungen über den Aufbau des Benzols konnten die Grundlagen für wissenschaftlich und technisch bedeutsame Untersuchungen und Synthesen geschaffen werden. Aus diesem Grunde hat die Kekulésche Theorie auch große Auswirkungen auf die rasche Entwicklung der chemischen Industrie gehabt.

Das Benzolmolekül C_6H_6 enthält sechs ringförmig angeordnete CH-Gruppen, die untereinander auf besondere Art verbunden sind.

Die Kenntnis der Struktur einer organischen Verbindung ist nicht nur für die systematische Einordnung, sondern auch für das Studium der Eigenschaften, der Reaktionen und der Synthese der Verbindungen von großer Wichtigkeit.

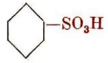
Die Theorie, mit deren Hilfe Strukturformeln aufgestellt und ausgewertet werden können, wurde von dem bedeutenden russischen Chemiker Alexander Michailowitsch Butlerow (Abb. 2, Seite 9) in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aufgestellt. Im Gegensatz zu einer Reihe von Chemikern jener Zeit vertrat Butlerow materialistische Auffassungen. Seine Verdienste um die Aufklärung des Strukturbegriffes liegen nicht nur auf chemischem, sondern vor allem auf philosophischem Gebiet. Butlerow vertrat konsequent den Standpunkt, daß durch das Studium der chemischen Umwandlungen die innere Struktur der Moleküle erkannt werden kann. Er ging bei der Aufstellung seiner Theorie vom Experiment aus, wie überhaupt für Butlerows Arbeitsweise die enge Verbindung von Theorie und Praxis kennzeichnend ist. Butlerow führte zahlreiche Synthesen durch, mit denen er glänzende Beweise für die Richtigkeit seiner Theorie lieferte.

Butlerows Strukturtheorie trug dazu bei, daß sich die Kenntnisse der Chemiker vom Aufbau der Stoffe bedeutend vertieften und Erscheinungen, wie zum Beispiel die Isomerie, erklärt werden konnten. Butlerows Lehre von der Struktur organischer Verbindungen bildet noch heute das Fundament der theoretischen organischen Chemie. Benzol enthält, wie bereits festgestellt wurde, keine aktiven Mehrfachbindungen. Dies zeigt sich auch bei der Reaktion mit Säuren. Konzentrierte Schwefelsäure wird zum Beispiel nicht addiert, sondern wirkt substituierend auf Benzol:

$$C_6H_5\boxed{H+HO}SO_3H \rightarrow C_6H_5 \cdot SO_3H + H_2O$$

Benzol Schwefelsäure Benzolsulfonsäure

Es entsteht eine wasserlösliche Säure, die **Benzolsulfonsäure:**



Dieser Vorgang wird als **Sulfonierung** bezeichnet.
Wir führen die Sulfonierung von Benzol in einem Versuch durch:

80

In einem großen Reagenzglas versetzen wir etwa 4 ml konzentrierte Schwefelsäure nach und nach mit 12 Tropfen Benzol und erwärmen vorsichtig unter Schütteln, bis sich alles Benzol gelöst hat. (Vorsicht! Spritzgefahr!)
Nach einigen Minuten kühlen wir das Reagenzglas mit kaltem Wasser. Dann gießen wir das Reaktionsgemisch in einen zur Hälfte mit Wasser gefüllten kleinen Erlenmeyerkolben.
Beobachten Sie, ob sich das Reaktionsgemisch klar auflöst!
Was schließen Sie aus Ihrer Beobachtung?

Salpetersäure wirkt ebenfalls substituierend auf Benzol ein. Man nennt diesen Vorgang, bei welchem **Nitrobenzol $C_6H_5 \cdot NO_2$** entsteht, eine **Nitrierung.** Bildung und Eigenschaften von Nitrobenzol werden in einem besonderen Abschnitt behandelt.

Benzol läßt sich verhältnismäßig leicht sulfonieren und nitrieren.

2. Gewinnung, Herstellung und Verwendung von Benzol. Benzol fällt in beträchtlichen Mengen bei der Hochtemperatur-Entgasung der Steinkohlen an. In Kokereien und Gaswerken wird Benzol durch Auswaschen aus dem Rohgas oder durch Adsorption mit Aktivkohle gewonnen. Der bei der Hochtemperatur-Entgasung der Steinkohlen entstehende Teer enthält ebenfalls Benzol (etwa 1%). Die Gewinnung dieses Benzols erfolgt durch Destillation des Teeres. Benzol fällt dabei vollständig im Leichtöl an.

- *Erläutern Sie die Hochtemperatur-Entgasung der Steinkohlen, wie sie in Kokereien und Gaswerken durchgeführt wird!*
  Welche Haupt- und Nebenprodukte erhält man in Kokereien und Gaswerken?
  Welche Unterschiede bestehen zwischen dem Hochtemperatur-Steinkohlenteer und dem Braunkohlen-Schwelteer?
  Wie wird die Destillation bei der Erdölaufarbeitung durchgeführt und welche Apparate verwendet man bei diesem Verfahren?

Die Leichtöl-Rohfraktion wird nochmals destilliert. Dann werden die einzelnen Destillate durch Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure und anschließendes Waschen mit Natronlauge von Begleitstoffen befreit. Nach dieser Reinigung wird erneut destilliert. Auf diese Weise gewinnt man ein sehr reines Benzol.
Seit Jahren wird Benzol in zunehmendem Maße durch petrolchemische Verfahren hergestellt. Zu diesem Zwecke werden Alkane und Naphthene bestimmter Erdölfraktionen durch Reformierungsverfahren in Benzol und andere aromatische Kohlenwasserstoffe umgewandelt.

● *Nennen Sie Alkane mit Namen und Formel, die Bestandteile der Benzinfraktionen des Erdöls sind!*
Beschreiben Sie die Durchführung der Reformierungsprozesse!

Die petrolchemische Herstellung von Benzol ist für unsere Republik, die nur über geringe Steinkohlenvorräte verfügt, von besonderer Bedeutung. Die Reformierung sowjetischen Erdöls versetzt unsere chemische Industrie in die Lage, Benzol und andere aromatische Verbindungen ohne den Rohstoff Steinkohle zu erzeugen.

▶ **Benzol wird aus dem Rohgas und dem Teer der Hochtemperatur-Entgasung der Steinkohlen gewonnen oder durch petrolchemische Verfahren aus bestimmten Erdölfraktionen hergestellt.**

Benzol hat große Bedeutung als Zwischenprodukt für die chemische Industrie, da es sich durch Sulfonierung, Nitrierung, Chlorierung usw. in Verbindungen umwandeln läßt, die als Ausgangsstoffe für die Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Chemiefasern, Farbstoffen, Arzneimitteln, Waschmitteln, synthetischem Kautschuk und zahlreichen anderen Produkten dienen. Benzol ist auch ein wichtiges Lösungsmittel für Lacke und andere Stoffe. Es dient ferner als Zusatz für Vergaserkraftstoffe.

▶ **Benzol dient als chemisches Zwischenprodukt, als Lösungsmittel und als Zusatz zu Vergaserkraftstoffen.**

Benzolderivate

1. Die Homologen des Benzols. Ähnlich wie bei den Kettenkohlenwasserstoffen können auch Wasserstoffatome des Benzols durch andere Gruppen ersetzt werden. Durch Substitution eines Wasserstoffatoms durch eine Methylgruppe entsteht das **Methylbenzol:**



oder $C_6H_5 \cdot CH_3$

Methylbenzol wird vielfach auch **Toluol**[1] genannt. Es kommt neben Benzol im Steinkohlenteer vor und wird durch Destillation gewonnen. Methylbenzol ist eine wasserhelle Flüssigkeit, die benzolähnlich riecht und leicht entzündlich ist.
Methylbenzol dient zur Herstellung von Farbstoffen, Sprengstoffen, Süßstoff, Arzneimitteln und anderen Produkten. Es wird ferner als sehr klopffester Kraftstoff verwendet.
Treten in einem Benzolmolekül an die Stelle von zwei Wasserstoffatomen Methylgruppen, so erhält man die **Dimethylbenzole,** die auch **Xylole** genannt werden. Es gibt drei isomere Verbindungen der Formel $C_6H_4 \cdot (CH_3)_2$. Zur Kennzeichnung der Isomeren gibt man die Stellung der Substituenten im Namen der Verbindung durch Ziffern an. Die Kohlenstoffatome des Benzolringes werden der Reihe nach beziffert. Befinden sich die Methylgruppen an zwei benachbarten Kohlenstoffatomen, so spricht man von einer 1,2-Verbindung. Sind die Kohlenstoffatome, die die Methylgruppen tragen, durch ein anderes Kohlenstoffatom getrennt, so handelt es sich um eine 1,3-Verbindung, sind sie durch 2 Kohlenstoffatome getrennt, liegt eine 1,4-Verbindung vor.

[1] Der Name Toluol ist von Tolubalsam abgeleitet, einem Stoff, aus dem Toluol erstmalig hergestellt wurde.

Außer dieser Kennzeichnung sind auch die älteren Bezeichnungen **ortho-, meta-** und **para-**Stellung gebräuchlich:



1,2-Dimethylbenzol
o-Xylol (ortho-Xylol)



1,3-Dimethylbenzol
m-Xylol (meta-Xylol)



1,4-Dimethylbenzol
p-Xylol (para-Xylol)

Die Stellungsbezeichnungen werden auch bei allen anderen Disubstitutionsprodukten des Benzols angewandt.

Die Dimethylbenzole sind farblose Flüssigkeiten, die in vielen Eigenschaften (z. B. Geruch, Brennbarkeit) dem Benzol ähnlich sind, in ihrem chemischen Reaktionsvermögen aber ein abweichendes Verhalten zeigen. Sie werden aus Steinkohlenteer durch fraktionierte Destillation gewonnen. Sie dienen als Lösungsmittel, als klopffeste Beimischungen zu Kraftstoffen (besonders für Flugzeugmotoren) und werden ferner zur Herstellung von Farbstoffen und Riechstoffen verwendet.

2. Nitrobenzol. Ein wichtiges Derivat des Benzols ist das Nitrobenzol. Es hat die Formel:



oder $C_6H_5 \cdot NO_2$

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß Nitrobenzol durch Einwirkung von Salpetersäure auf Benzol entsteht. Wir führen diese Reaktion in einem Versuch durch:

81

Wir geben in einen Erlenmeyerkolben 13 ml konzentrierte Schwefelsäure und langsam unter Schütteln (Vorsicht!) 10 ml konzentrierte (etwa 65%ige) Salpetersäure hinzu. In dieses Gemisch (Nitriersäure) lassen wir nach dem Abkühlen langsam 9 ml Benzol eintropfen und schütteln nach jedem Benzolzusatz um (Vorsicht!). Ist alles Benzol zugesetzt, dann schütteln wir das Reaktionsgemisch noch einige Minuten und halten dabei dessen Temperatur durch gelindes Erwärmen auf 50 °C. Anschließend gießen wir die Flüssigkeit in einen mit Wasser gefüllten Standzylinder.

Was beobachten Sie?

Vergleichen Sie die Dichten von Nitrobenzol, Wasser und Benzol! Gießen Sie das Wasser aus dem Standzylinder weg, geben Sie dann das Nitrobenzol in eine Schale und prüfen Sie den Geruch des Stoffes!

Vorsicht! Nitrobenzol ist giftig!

Reagiert konzentrierte Salpetersäure mit Benzol, so wird Benzol nitriert, das heißt, ein Wasserstoffatom dieser Verbindung wird durch eine **Nitrogruppe** $-NO_2$ ersetzt.

$$C_6H_5\boxed{H+HO}NO_2 \rightarrow C_6H_5 \cdot NO_2 + H_2O \cdot$$

Benzol Salpetersäure Nitrobenzol

Die in der Nitriersäure vorhandene konzentrierte Schwefelsäure begünstigt durch Bindung von Wasser die Bildung von Nitrobenzol. Nitrobenzol riecht ähnlich wie bittere Mandeln und wurde deshalb früher im Handel als „falsches Bittermandelöl" bezeichnet. Es ist eine gelbliche Flüssigkeit, die sich in Wasser nur spurenweise löst. In Äthanol, Benzol und anderen organischen Lösungsmitteln ist es sehr gut löslich. Da die Dichte von Nitrobenzol größer als eins ist (1,21 g/ml), sinkt das Reaktionsprodukt von Versuch 81 beim Eingießen in Wasser (in Form öliger Tropfen) zu Boden.
Nitrobenzol ist ein wichtiges Zwischenprodukt der organisch-chemischen Industrie. Es dient auch als Lösungsmittel und zur Parfümierung von Seifen.

Nitrobenzol wird durch Nitrierung von Benzol hergestellt und ist ein wichtiges Zwischenprodukt der chemischen Industrie.

3. Aminobenzol (Anilin). Aminobenzol ist ein Benzolderivat, bei dem ein Wasserstoffatom des Benzols durch die **Aminogruppe** $-NH_2$ substituiert ist. Es hat die Formel



oder $C_6H_5 \cdot NH_2$

Aminobenzol wurde 1826 erstmalig von dem deutschen Chemiker Otto Unverdorben aus dem Naturstoff Indigo hergestellt. 1834 entdeckte Friedlieb Ferdinand Runge das Aminobenzol im Steinkohlenteer. Nach der portugiesischen Bezeichnung „anil" für Indigo gab man im Jahre 1840 der Verbindung den Namen **Anilin.** 1841 gelang dem russischen Chemiker Nikolai Nikolajewitsch Sinin die erste Synthese von Aminobenzol durch Reduktion von Nitrobenzol. Diese Synthese von Sinin hat in der Folgezeit große Bedeutung für die chemische Industrie erlangt und ist heute noch ein technisch wichtiges Verfahren. Wir führen diese Darstellung von Aminobenzol in einem Versuch durch:

82

In einem Rundkolben mischen wir 5 ml Nitrobenzol mit 12 g Zinkpulver und verschließen ihn mit einem Stopfen, durch den ein langes Steigrohr führt. Durch das Steigrohr lassen wir konzentrierte Salzsäure in vier Anteilen zu je 8 ml zu dem Gemisch einfließen. Wenn sich das Reaktionsgemisch zu stark erwärmt, kühlen wir durch kaltes Wasser, ohne jedoch dadurch die Reaktion ganz zu unterdrücken. Nach Beendigung der Reaktion entfernen wir das Steigrohr und erhitzen den Rundkolben im Wasserbad, um Reste von nicht umgesetztem Nitrobenzol zu vertreiben. Wenn kein Nitrobenzolgeruch mehr wahrnehmbar ist, kühlen wir das Reaktionsgemisch ab und machen es durch Zugabe von 50%iger Natronlauge alkalisch (Prüfung mit rotem Lackmuspapier).

Dem Versuch liegen folgende Reaktionen zugrunde: Zink reagiert mit Salzsäure unter Bildung von atomarem Wasserstoff, der Nitrobenzol zu Aminobenzol reduziert:

$$3\,Zn + 6\,HCl \rightarrow 6\,H + 3\,ZnCl_2$$

$$C_6H_5 \cdot NO_2 + 6\,H \rightarrow C_6H_5 \cdot NH_2 + 2\,H_2O$$

$$C_6H_5 \cdot NO_2 + 3\,Zn + 6\,HCl \rightarrow C_6H_5 \cdot NH_2 + 3\,ZnCl_2 + 2\,H_2O$$

Da Aminobenzol eine Base ist, bildet es in der stark sauren Lösung ein Salz. Durch Zugabe von Natronlauge wird Aminobenzol aus dem Salz wieder in Freiheit gesetzt. Um Aminobenzol aus dem erhaltenen Gemisch zu isolieren, müssen wir eine **Wasserdampfdestillation** vornehmen:

83

Wir verwenden die Apparatur nach Abbildung 83. Wir erhitzen das Wasser im Stehkolben zum Sieden und das Reaktionsgemisch von Versuch 82 bis nahe an die Siedetemperatur, damit sich nicht zu viel Kondenswasser im Rundkolben ansammelt. In die Vorlage tropft ein trübes Destillat, eine Emulsion von Aminobenzol und Wasser, aus welchem sich das Aminobenzol als ölige Schicht abscheidet.

- *Führen Sie die Darstellung von Aminobenzol nach Versuch S 65 durch!*
  Vorsicht! Aminobenzol ist giftig!

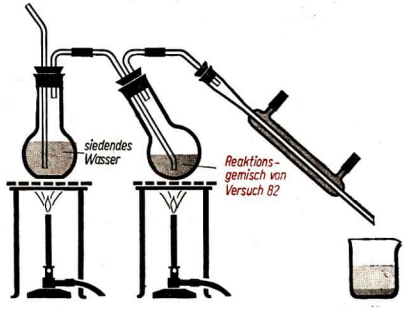


Abb. 83 Wasserdampfdestillation

Aminobenzol ist eine leicht ölige, farblose Flüssigkeit, die sich an der Luft schnell bräunt und bei −6,2 °C erstarrt. Aminobenzol ist in Wasser wenig löslich, aber mit vielen organischen Lösungsmitteln unbegrenzt mischbar. Der Nachweis von Aminobenzol erfolgt mit Hilfe von Farbreaktionen.

84

In einem Reagenzglas wird eine Messerspitze frischer Chlorkalk mit etwa 5 ml Wasser aufgeschlämmt. Dann setzen wir einige Milliliter der wäßrigen Aminobenzollösung von Versuch 83 zu.
Welche Färbung wird im Reagenzglas sichtbar?

- *Führen Sie den Nachweis von Aminobenzol mittels der Ligninreaktion nach Versuch S 66 durch!*

Reagiert eine geringe Menge Aminobenzol mit einer Chlorkalkaufschlämmung, so entsteht eine violette Färbung, die immer kräftiger wird (Rungesche Reaktion). Diese Reaktion ist sehr empfindlich. Bei Zugabe von zu großen Mengen Aminobenzol tritt eine fast schwarze Färbung auf. Die Chlorkalkreaktion gelingt nur mit Aminobenzol selbst, jedoch nicht mit seinen Salzen. Lignin reagiert mit Aminobenzol und seinen Salzen unter Bildung einer gelben Färbung.
Aminobenzol ist ein wichtiges Zwischenprodukt der organisch-chemischen Technik. Es wird vor allem zur Herstellung von Farbstoffen und Arzneimitteln verwendet.

Aminobenzol wird durch Reduktion von Nitrobenzol hergestellt und dient hauptsächlich als Ausgangsstoff für Farbstoff- und Arzneimittelsynthesen.

4. Phenol. Phenole sind aromatische Verbindungen, die unmittelbar an Kohlenstoffatome des Benzolringes gebundene Hydroxylgruppen enthalten. Der einfachste Vertreter dieser Verbindungen ist das **Phenol (Hydroxybenzol):**



oder $C_6H_5 \cdot OH$

Phenol bildet farblose Nadeln, die eigenartig riechen und bei 41 °C schmelzen. An der Luft färben sie sich nach einiger Zeit rötlich. Phenol ist bei Raumtemperatur in Wasser wenig löslich.

Vorsicht! Phenol ist stark giftig und wirkt ätzend auf die Haut!

Phenol ist ebenso wie ein Alkanol ein Hydroxylderivat eines Kohlenwasserstoffes. Die Hydroxylgruppe ist die funktionelle Gruppe der Phenole und Alkanole. Als Beispiele seien hier Äthanol und Phenol genannt:

$CH_3 \cdot CH_3$	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH$
Äthan	Äthanol
C_6H_6	$C_6H_5 \cdot OH$
Benzol	Phenol

Trotz dieser ähnlichen Struktur unterscheidet sich Phenol in seinem chemischen Verhalten von den aliphatischen Hydroxylverbindungen. Phenol besitzt einen stärker sauren Charakter als die Alkanole. Während Alkanole nicht mit Alkalilaugen reagieren, bildet Phenol mit Alkalilaugen salzartige **Phenolate.**

85

Wir versetzen eine Spatelspitze Phenol in einem Reagenzglas mit 3 ml Wasser und schütteln, wobei eine trübe Emulsion entsteht. Dann versetzen wir mit Natronlauge in kleinen Anteilen und schütteln nach jeder Zugabe.

Was stellen Sie fest?

Die entstandene klare Lösung verteilen wir auf zwei Reagenzgläser. In das eine Glas geben wir Salzsäure bis zur sauren Reaktion, in das andere Glas leiten wir eine Zeitlang Kohlendioxid ein.

Was stellen Sie in beiden Gläsern fest?

Welche Schlußfolgerungen bezüglich der Stärke des Phenols als Säure ziehen Sie aus Ihrer Beobachtung?

Da Phenol nur wenig in Wasser löslich ist, bildet sich zu Beginn des Versuchs 85 eine trübe Emulsion. Bei Zugabe von Natronlauge entsteht ein in Wasser leichtlösliches Salz, das Natriumphenolat:

$$\underset{\text{Phenol}}{C_6H_5 \cdot OH} + NaOH \rightarrow \underset{\text{Natriumphenolat}}{C_6H_5 \cdot ONa} + H_2O$$

Bei Säurezusatz zur wäßrigen Phenolatlösung wird das Phenol wieder in Freiheit gesetzt und trübt neuerdings die Lösung:

$$2\ C_6H_5 \cdot O\ \overset{\ominus}{N}a + CO_2 + H_2O \rightarrow 2\ C_6H_5 \cdot OH + Na_2CO_3$$

- *Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Natriumphenolat mit Salzsäure auf!*

Da bereits Kohlendioxid beziehungsweise Kohlensäure imstande ist, Phenol aus den Phenolaten zu verdrängen, muß Phenol eine sehr schwache Säure sein, die viel schwächer als die Karbonsäuren ist.

- *Können Karbonsäuren durch Kohlendioxid (bzw. Kohlensäure) aus ihren Salzen verdrängt werden oder ist dies umgekehrt der Fall?*

Phenol unterscheidet sich nicht nur in bezug auf seine stärkere Säurereaktion, sondern auch noch in einigen anderen chemischen Eigenschaften von den Alkanolen. Die Ursache für das verschiedene Verhalten von Phenolen und Alkanolen liegt in den unterschiedlichen Radikalen beider Stoffgruppen: Beim Zusammenwirken von aromatischen Radikalen (zum Beispiel der Gruppe C_6H_5—) mit einer Hydroxylgruppe werden zum Teil andere chemische Eigenschaften einer Verbindung ausgebildet, als wenn kettenförmige Radikale mit der gleichen funktionellen Gruppe zusammentreten. Am Beispiel des Phenols wird wieder deutlich, daß die Eigenschaften einer Verbindung nicht nur von der funktionellen Gruppe allein bestimmt werden, sondern daß auch das jeweils vorhandene Radikal Einfluß hat. Wir erkennen auch an diesem Beispiel wieder, daß die Vorgänge und Erscheinungen der Natur stets im Zusammenhang betrachtet werden müssen.

Phenol ist eine feste, giftige, ätzende Verbindung. In seinem chemischen Verhalten unterscheidet es sich deutlich von den Alkanolen.

Phenol wurde im Jahre 1834 erstmalig von dem deutschen Chemiker Friedlieb Ferdinand Runge im Steinkohlenteer entdeckt. Wegen seines Verhaltens gegenüber Laugen wurde es von Runge als **Karbolsäure** bezeichnet.
Von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist das Vorkommen von Phenol im Braunkohlenschwelteer, im Steinkohlenteer und in den Abwässern der Schwelereien, Braunkohlenkokereien, Hydrierwerke, Gaswerke und Teerverarbeitungswerke.
Phenolhaltige Abwässer wirken sich sehr schädlich aus, wenn sie in die Flußläufe abgeführt werden. Schon geringe Phenolgehalte im Flußwasser führen zu Störungen im Stoffwechsel der Fische, Abwanderung des Fischbestandes und zu einem übermäßigen Fischsterben. Außerdem werden die Frischwasserversorgung in den Flußgebieten und der Wassersport erheblich beeinträchtigt. Da Phenole andererseits sehr wichtige Ausgangsstoffe für die chemische Industrie sind, ist die **Entphenolung der Industrieabwässer** ein volkswirtschaftlich wichtiges Verfahren. In der Deutschen Demokratischen Republik wird die Phenolgewinnung aus Abwässern planmäßig weiter ausgebaut. Unsere Wissenschaftler sind ständig bemüht, die Verfahren zur Entphenolung zu verbessern, den Phenolgehalt der Abwässer zu senken und Möglichkeiten zur Gewinnung größerer Phenolmengen für die chemische Industrie zu finden. Phenol wird auch aus dem Leichtöl und Mittelöl der Steinkohlenteer-Destillation gewonnen. Man behandelt diese Fraktionen mit Natronlauge, wodurch das gut wasserlösliche Natriumphenolat gebildet wird, das in die wäßrige Phase übergeht. Die Phenolatlösung wird

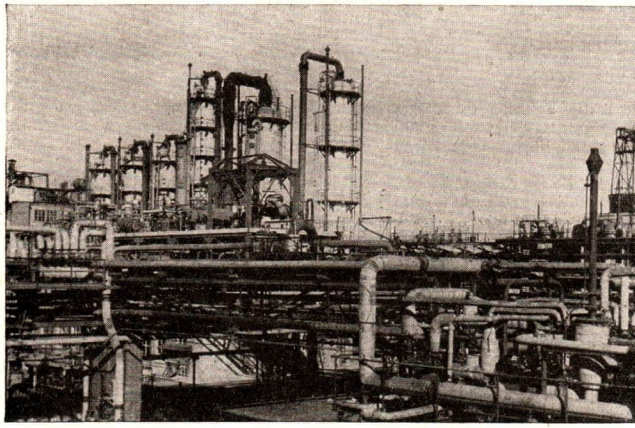


Abb. 84 Phenol-Destillationskolonnen im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

von den Teerfraktionen abgetrennt und dann in Vakuumverdampfern konzentriert. Zum Schluß leitet man Kohlendioxid in die Phenolatlösung ein, wodurch Phenol ausgeschieden wird. Wir veranschaulichen dieses Verfahren durch einen Versuch.

86

Wir lösen in einem Reagenzglas eine Spatelspitze Phenol in etwa 5 ml Benzol. Es bildet sich eine klare, meist bräunliche Flüssigkeit, die ungefähr dem Leichtöl der Teerdestillation entspricht. Dann fügen wir 3 ml 10%ige Natronlauge zu, verschließen das Glas mit einem Stopfen und schütteln etwa eine Minute lang, wodurch das Phenol in das wasserlösliche Phenolat übergeführt wird. Anschließend gießen wir das Gemisch in einen Scheidetrichter, warten, bis zwei Schichten entstanden sind und lassen dann durch vorsichtiges Öffnen des Hahnes die untere (wäßrige) Schicht in ein Reagenzglas ablaufen. In diese Lösung leiten wir nun Kohlendioxid ein.
Was beobachten Sie?

Die wichtigsten Rohstoffquellen unserer Republik für Phenol sind jedoch Braunkohlenprodukte und -abwässer. Bei der Aufarbeitung dieser Produkte kommt in steigendem Maße das **Phenosolvanverfahren** zur Anwendung. Hierbei wird Phenol durch geeignete Lösungsmittel aus den Abwässern herausgelöst. Aus der Phenollösung wird Phenol durch Abdestillieren des Lösungsmittels gewonnen (Abb. 84). Das gereinigte Lösungsmittel kehrt wieder in den Prozeß zurück.
Phenol hat in den letzten Jahren immer größere Bedeutung als Ausgangsstoff für die chemische Industrie erlangt.

Es wird in großen Mengen zur Erzeugung von Plasten und Chemiefasern verwendet. Darüber hinaus dient es zur Herstellung von Farbstoffen, Gerbstoffen, Schädlingsbekämpfungsmitteln und Arzneimitteln. Abbildung 85 gibt einen Überblick über die Verwendung von Phenol.

Phenol wird in unserer Republik vor allem aus Braunkohlenprodukten und Abwässern der Kohlenveredlungsindustrie gewonnen. Es ist ein wichtiger Ausgangsstoff für die chemische Industrie.

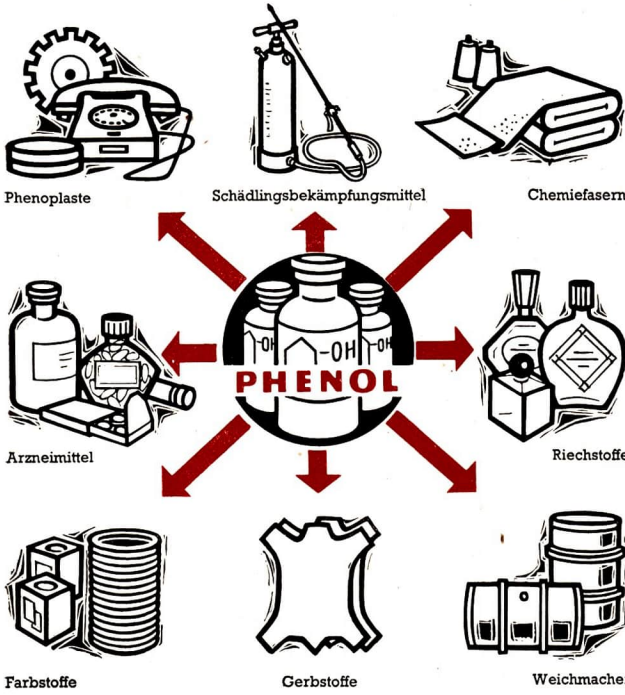


Abb. 85 Verwendung von Phenol

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Vergleichen Sie das chemische Verhalten des Benzols mit dem der ungesättigten kettenförmigen Kohlenwasserstoffe!
2. Was muß man beim Arbeiten mit Benzol beachten?
3. Nennen Sie die wichtigsten Verwendungszwecke des Benzols!
4. Wie weist man Kohlenstoff und Wasserstoff als Bestandteile des Benzols nach?
5. Nennen Sie die Eigenschaften des Benzols!
6. Erläutern Sie den Begriff „aromatische Verbindungen"!
7. Was ist beim Löschen von Benzolbränden zu beachten?
8. Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden benötigt, um 39 g Benzol vollständig zu Kohlendioxid und Wasser zu verbrennen?
9. Wieviel Gramm Benzol sind vollständig oxydiert worden, wenn bei dieser Reaktion 6,72 l Kohlendioxid (Normzustand) entstehen?
10. Beim Nachweis von Kohlenstoff in Benzol nach Versuch S 2 werden in das Reagenzglas 0,39 g Benzol eingetragen. Wieviel Kupfer(II)-oxid werden theoretisch zur Oxydation dieser Benzolmenge benötigt, wenn Sie das Atomgewicht des Kupfers mit 63,6 annehmen?
11. Schildern Sie Verfahren, nach denen Benzol gewonnen wird!
12. Erläutern Sie die Nitrierung von Benzol!
13. Wieviel Gramm Nitrobenzol entstehen bei vollständiger Nitrierung von 7,8 g Benzol?
14. Wieviel Kilogramm 65%ige Salpetersäure würden zur Nitrierung von 156 kg Benzol benötigt, wenn sich nur 50% der Säure umsetzten?
15. Bei einer Nitrierung entstehen 246 kg Nitrobenzol. Wieviel Wasser wird bei dieser Reaktion gebildet?
16. Welche Eigenschaften hat Nitrobenzol?
17. Wozu wird Nitrobenzol verwendet?
18. Erläutern Sie die Darstellung von Aminobenzol aus Nitrobenzol!
19. Wieviel Zink (Atomgewicht 65,4) wird theoretisch zur Umsetzung von 6,15 g Nitrobenzol zu Aminobenzol benötigt?
20. Welche Menge Nitrobenzol wird theoretisch gebraucht, um 465 kg Aminobenzol herzustellen?
21. Nennen Sie Eigenschaften und Verwendung von Aminobenzol!
22. Welche Verbindungen werden als Phenole bezeichnet?
    Nennen Sie auch Beispiele mit Formel und Namen!
23. Weshalb unterscheidet sich Phenol in seinem chemischen Verhalten von den Alkanolen?
24. Sprechen Sie über die Eigenschaften des Phenols!
25. Wo tritt Phenol auf und wie wird es gewonnen?
26. Welche Bedeutung hat die Entphenolung der Industrieabwässer?
27. Erläutern Sie die chemischen Grundlagen der Phenolgewinnung aus dem Leichtöl der Steinkohlenteerdestillation!
28. Geben Sie wichtige Verwendungszwecke des Phenols an!
29. Wieviel Milliliter 10%ige Natronlauge (D: 1,11 g/ml) werden zur Umwandlung von 4,7 g Phenol in Natriumphenolat benötigt?
30. Wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) werden theoretisch gebraucht, um aus 11,6 kg einer 10%igen Natriumphenolatlösung das Phenol frei zu machen?
31. Wieviel Phenol entsteht aus 34,8 g Natriumphenolat?

10. KAPITEL

Kohlenhydrate

Die Kohlenhydrate sind eine große Gruppe von organischen Naturstoffen. Sie sind aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff aufgebaut. Viele dieser Verbindungen enthalten (wie das Wasser) Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2 : 1. In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts faßte man daher die Stoffe als Verbindungen des Wassers mit Kohlenstoff auf und gab ihnen den Namen Kohlenhydrate. Spätere Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Annahme falsch ist und daß die Kohlenhydrate einen besonderen Molekülbau besitzen. Zu den Kohlenhydraten gehören die verschiedenen Zuckerarten, die Stärke und die Zellulose. Zucker wird bei uns aus dem Saft der Zuckerrüben gewonnen. In unseren landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften und volkseigenen Gütern wird die Zuckerrübenernte mit modernen Vollerntemaschinen durchgeführt.



Zucker

1. Glukose (Traubenzucker). Glukose $C_6H_{12}O_6$ kommt in den meisten süßen Früchten und in anderen Pflanzenteilen, ferner im Blut und im Honig vor. Glukose ist außerdem der Grundbaustein hochmolekularer Kohlenhydrate, so zum Beispiel der Stärke und der Zellulose. Wir stellen einige Eigenschaften der Glukose durch Versuche fest.

87

In ein Reagenzglas geben wir 5 g Glukose und 10 ml Wasser, in ein zweites Glas 1 g Glukose und 10 ml Äthanol und schütteln.
Was beobachten Sie?

88

Einige Milliliter einer ammoniakalischen Silbersalzlösung (hergestellt wie bei Versuch 36) geben wir in ein sorgfältig gereinigtes Reagenzglas, fügen etwas Natronlauge und einige Milliliter 10%ige Glukoselösung hinzu und mischen durch Schütteln. Dann erwärmen wir die Lösung, indem wir das Reagenzglas in ein Becherglas mit heißem Wasser stellen und darin einige Zeit ruhig stehen lassen.
Was beobachten Sie im Reagenzglas!

89

Wir mischen gleiche Teile Fehling I und II (zusammen etwa 4 ml), so daß eine klare, tiefblaue Lösung entsteht, fügen 2 ml 10%ige Glukoselösung hinzu und erhitzen zum Sieden. (Vorsicht! Siedeverzug.)
Was stellen Sie fest?
Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie aus den Versuchen 88 und 89?

Das Reduktionsvermögen der Glukose kann auch durch die TROMMERsche Probe nachgewiesen werden.

● *Führen Sie die TROMMERsche Probe nach Versuch S 67 durch!*
Weisen Sie reduzierende Zucker, so wie in Versuch S 68 beschrieben, in Früchten und Gemüse nach!

Glukose ist ein weißes, geruchloses, süß schmeckendes Pulver, das sich leicht in Wasser, aber nur wenig in Äthanol löst. Die Versuche 88 und 89 zeigen, daß Glukose reduzierend wirkt. Dieses Verhalten steht im Einklang mit der Strukturformel, die bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts für die Glukose aufgestellt wurde:



Die Formel enthält die Gruppe —CHO, also die funktionelle Gruppe der Alkanale.

● *Was verstehen Sie unter einer funktionellen Gruppe?*
Welche funktionellen Gruppen haben Sie schon kennengelernt?

Wir haben bei Methanal und Äthanal ebenfalls Reduktionswirkung festgestellt, aber auch erkannt, daß diese Reaktion allein noch nicht die Anwesenheit der Gruppe —CHO beweist. Als spezieller Nachweis für Alkanale kann die Reaktion mit fuchsinschwefliger Säure (SCHIFFS Reagens) dienen.

90

5 ml fuchsinschweflige Säure füllen wir in ein Reagenzglas, geben 1 ml 10%ige Glukoselösung dazu und schütteln.

Was stellen Sie fest?

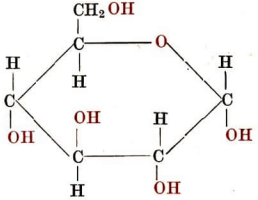
Der negative Ausfall der Farbreaktion und noch andere Eigenschaften der Glukose lassen darauf schließen, daß im Bau der Glukosemoleküle Besonderheiten vorliegen müssen.

Zur eindeutigen Bestimmung der Zusammensetzung und des Aufbaues einer Verbindung müssen mehrere Reaktionen durchgeführt werden. Ein Nachweis allein kann zu Fehlschlüssen führen.

Durch eingehende Untersuchungen haben die Chemiker festgestellt, daß es verschiedene Molekülformen der Glukose gibt, kettenförmige und ringförmige Glukosemoleküle:



Kettenform (Oxoform)



Ringform (Zykloform)

Die Glukosemoleküle in Kettenform und die in Ringform sind isomere Verbindungen.

● *Erläutern Sie den Begriff Isomerie und nennen Sie Beispiele isomerer Verbindungen!*

Die Umwandlung der Ketten- in die Ringform und umgekehrt erfolgt sehr leicht. In einer wäßrigen Glukoselösung liegt ein Gleichgewicht zwischen den Formen vor, das sehr stark nach der Seite der Ringform verschoben ist:

$$\text{Kettenform} \rightleftarrows \text{Ringform}$$

Damit wird auch das Verhalten von Glukose erklärt: In der wäßrigen Lösung sind so wenige kettenförmige Moleküle mit der Gruppe —CHO enthalten, daß keine nennenswerte und sichtbar werdende Reaktion mit fuchsinschwefliger Säure eintritt. Die Glukoselösung enthält meistens ringförmige Moleküle, die ebenso wie die Alkanale (jedoch aus anderen Gründen) reduzierend wirken; dieser Umstand erklärt die Ergebnisse von Versuch 88 und Versuch 89 sowie Versuch S 67.

Glukose kommt in Ketten- und in Ringform vor.

Glukose wird technisch aus Stärke hergestellt. Sie entsteht ferner in den Verdauungsorganen der Menschen und Tiere aus Stärke, Dextrin und anderen Kohlenhydraten durch Einwirkung von Enzymen. In Pflanzen werden ebenfalls Enzyme gebildet, die Stärke in Glukose umwandeln. Die fermentative Spaltung der Stärke wird auch industriell durchgeführt. Man erhält dabei Zuckerlösungen, die meist zu Äthanol vergoren werden. Auch die Zellulose des Holzes kann durch Einwirkung von Schwefelsäure oder Salzsäure zu Glukose abgebaut werden (Holzverzuckerung).
Die industriell aus Stärke hergestellte Glukose wird als Stärkezucker, in reiner Form als **Dextrose** oder **Dextropur** bezeichnet. Glukose kommt auch als dickflüssiger, meist farbloser **Stärkesirup** in den Handel.
Glukose dient in der Gärungsindustrie als Ausgangsstoff für die Äthanolgärung, ferner in der Medizin als Nährstoff, der von unserem Körper besonders rasch aufgenommen wird, und als Grundmasse für Tabletten. Stärkesirup wird zur Likörherstellung und zur Erzeugung von Zuckerwaren und Marmeladen verwendet. Größere Mengen von Glukose dienen auch zur Herstellung von Zuckerfarbe. Durch Erhitzen auf 210 °C erhält man aus Glukose eine schwarzbraune Masse, die bitter schmeckt und zum Färben von Bier, Essig, Tunken und anderem benutzt wird.

91

Wir erhitzen etwas Glukose vorsichtig in einem trockenen Reagenzglas.
Was beobachten Sie?
Wir nehmen etwa die Hälfte der entstandenen Zuckerfarbe und lösen sie in Wasser. Die restliche Masse im Reagenzglas geht bei weiterem kräftigen Erhitzen in schwarze Zuckerkohle über. Zuckerkohle löst sich nicht in Wasser.

Glukose (Traubenzucker) $C_6H_{12}O_6$ wird aus Stärke hergestellt. Sie wird in der Gärungs-, Marmeladen- und Zuckerwarenindustrie, in der Medizin sowie zur Herstellung von Likören und Zuckerfarbe verwendet.

2. Sacharose (Rohrzucker). Sacharose $C_{12}H_{22}O_{11}$ ist als der „Zucker" des Haushalts bekannt. Sie ist im Pflanzenreich sehr verbreitet. Sacharose kommt in großen Mengen vor allem im Zuckerrohr und in der Zuckerrübe vor. Nach ihrem Vorkommen im Zuckerrohr, aus dem sie schon seit Jahrtausenden gewonnen wird, erhielt sie die Bezeichnung **Rohrzucker.** Ihr Vorkommen in der Runkelrübe (beta vulgaris) wurde erst 1747 durch den deutschen Chemiker Andreas Sigismund Marggraf entdeckt.
Der Begriff „**Rübenzucker**" wird nur dann angewendet und gegen „Rohrzucker" abgegrenzt, wenn es sich darum handelt, die Herkunft der Sacharose oder das Gewinnungsverfahren näher zu kennzeichnen. Sacharose bildet entweder große farblose Kristalle, den **Kandiszucker,** oder ein weißes kristallines Pulver, den **Kristallzucker.** Wir stellen einige Eigenschaften der Sacharose durch Versuche fest.

92

Wir geben 5 g Sacharose in ein Reagenzglas, gießen 5 ml Wasser dazu und schütteln. In ein zweites Glas geben wir 1 g Sacharose und 5 ml Äthanol.
Welche Löslichkeiten beobachten Sie?

93

Wir geben etwas Sacharose in ein Reagenzglas und erwärmen vorsichtig so lange, bis sich eine dunkelbraune Schmelze gebildet hat. Dann lassen wir abkühlen.
Prüfen Sie die erstarrte Masse auf Geruch und Geschmack!

94

Wir mischen gleiche Teile Fehling I und II (zusammen etwa 4 ml) und setzen der entstandenen tiefblauen Flüssigkeit 1 ml 10%ige Sacharoselösung hinzu. Dann erhitzen wir zum Sieden (Vorsicht!).

Was beobachten Sie?

Vergleichen Sie das Ergebnis dieses Versuches mit dem von Versuch 89!

Sacharose ist sehr leicht in Wasser, jedoch nur wenig in Äthanol löslich. Sie schmeckt sehr süß, viel süßer als Glukose. Ihre wäßrigen Lösungen reduzieren FEHLINGsche Lösung nicht und zeigen auch sonst vielfach andere Reaktionen als Glukose. Beim vorsichtigen Erhitzen bildet Sacharose eine braune, angenehm schmeckende Masse, den **Karamelzucker.**

Sacharose dient in erster Linie zur Ernährung, daneben werden kleinere Mengen als Ausgangsstoff für chemische Prozesse, in der Tabakindustrie und zu anderen Zwekken verwendet.

95

In ein Reagenzglas geben wir 5 ml 10%ige Sacharoselösung, fügen einige Tropfen konzentrierte Salzsäure hinzu und lassen die Flüssigkeit einige Minuten sieden. Dann kühlen wir das Glas etwas ab, neutralisieren mit Natronlauge (Prüfung mit Lackmuspapier) und führen die FEHLINGsche Probe durch.

Was stellen Sie fest?

Sacharose wird durch verdünnte Säuren in einfacher gebaute Zucker zerlegt. Durch genaue Untersuchungen wurde ermittelt, daß ein Molekül Sacharose beim Sieden mit stark verdünnten Säuren unter gleichzeitiger Wasseraufnahme in ein Molekül Glukose und ein Molekül Fruktose zerlegt wird.

$$\underset{\text{Sacharose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \rightarrow \underset{\text{Glukose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fruktose}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Fruktose $C_6H_{12}O_6$, auch **Fruchtzucker** genannt, hat die gleiche Summenformel wie Glukose, aber einen anderen Molekülbau. Fruktose schmeckt süß und wird vom menschlichen Organismus in der gleichen Weise wie Glukose verwertet.

Da die entstandenen Spaltprodukte Glukose und Fruktose reduzierend wirken, konnten wir bei Versuch 95 die Bildung eines roten Niederschlages beobachten.

Die Spaltung von Sacharose durch Säuren wird auch industriell durchgeführt. Man stellt durch Auflösen von Sacharose in Wasser eine 80%ige Lösung her, setzt die für die Reaktion benötigte Säure hinzu (Methansäure, 2-Hydroxypropansäure, Salzsäure oder Schwefelsäure) und erhitzt das Ganze in emaillierten Kesseln auf 100 °C. Die Beheizung erfolgt durch Dampf, damit ein Anbrennen vermieden wird. Nach beendeter Reaktion wird die Säure neutralisiert. Das erzielte Produkt enthält gleiche Teile Glukose und Fruktose (zusammen 80%) und etwa 20% Wasser. Es kommt unter der Bezeichnung **Kunsthonig** in den Handel.

● *Prüfen Sie Kunsthonig auf reduzierende Zucker nach Versuch S 69!*

▶ **Kunsthonig wird durch Spaltung von Sacharose mit Hilfe von Säuren hergestellt. Er enthält hauptsächlich Glukose, Fruktose und Wasser.**

Kunsthonig dient als hochwertiges Nahrungsmittel und wird ferner in der Gärungsindustrie als Zusatz zu zuckerarmen Mosten verwendet.

Sacharose (Rohrzucker) $C_{12}H_{22}O_{11}$ ist ein wichtiges Kohlenhydrat. Sie wird hauptsächlich zur menschlichen Ernährung, aber auch für industrielle Zwecke benötigt.

Die industrielle Gewinnung des Zuckers aus Zuckerrüben

1. Vorbereitung der Zuckerrüben. Die Zuckerrüben werden bei der Ernte, die im Oktober beginnt, auf dem Felde geköpft, da der obere Teil wenig Zucker enthält. Auf den Großflächen unserer sozialistischen landwirtschaftlichen Betriebe werden Vollerntemaschinen eingesetzt, die alle Erntearbeiten vollmechanisch und schnell ausführen. Lange Lagerzeiten der geernteten Rüben müssen vermieden werden, da sonst erhebliche Zuckerverluste durch Atmung auftreten. Die mit Eisenbahnwaggons, Lastkraftwagen oder Fuhrwerken in der Zuckerfabrik ankommenden Rüben (eine Fabrik braucht bis zu 2000 t täglich) werden in modernen Betrieben mechanisch, zum Beispiel durch Kippen der Eisenbahnwaggons (Abb. 86), durch Herunterspülen vom Lastkraftwagen mit einem starken Wasserstrahl usw. entladen. Der Weitertransport in der Fabrik erfolgt durch fließendes Wasser in Schwemmrinnen aus Beton, wobei auch der größte Teil des anhaftenden Schmutzes entfernt wird. Zur vollständigen Reinigung werden die Rüben in Maschinen gewaschen. Die gesäuberten Rüben gelangen über automatische Waagen zu den Schnitzelmaschinen und werden dort durch rotierende Messerscheiben in Schnitzel zerteilt.

Die ersten Arbeiten in der Zuckerfabrik sind Waschen, Wiegen und Schnitzeln der Rüben.

2. Saftgewinnung. Die Rübenschnitzel werden mit Hilfe von Transportbändern in senkrecht stehende eiserne Zylinder von 5 bis 10 m³ Inhalt, die **Diffuseure,** gefüllt (Abb. 87) und mit heißem Wasser ausgelaugt. Beim Auslaugen diffundiert der Zucker

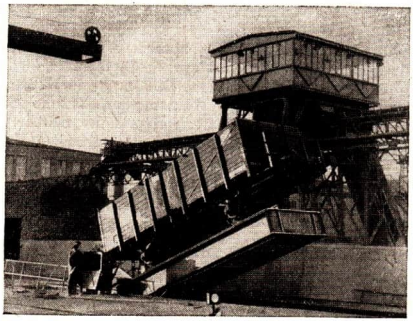


Abb. 86
Entladevorrichtung für Waggons im VEB Zuckerfabrik Delitzsch

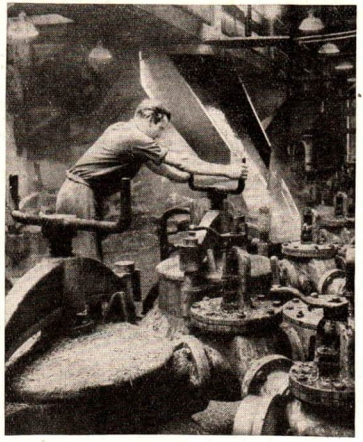


Abb. 87 Beschickung von Diffuseuren im VEB Zuckerfabrik Kleinwanzleben

durch die Zellwände hindurch. Diese Diffusion ist aber nur möglich, wenn das Protoplasma der noch lebenden Rübenzellen im Diffuseur sofort durch heißen Saft abgetötet wird. 10 bis 18 Diffuseure sind zu einer **Diffusionsbatterie** vereinigt. Die einzelnen Diffuseure sind durch Rohrleitungen untereinander verbunden, in denen das Lösungswasser durch Heizvorrichtungen auf der notwendigen Arbeitstemperatur von 80 °C gehalten wird. Außerdem ist jeder Zylinder an die Frischwasser- und die Saftleitung angeschlossen. Das Auslaugen der Rübenschnitzel erfolgt im Gegenstromverfahren. Auf die am meisten ausgelaugten Schnitzel wird stets frisches Wasser geleitet, während der zuckerreichste Saft, der die ganze übrige Batterie bereits durchlaufen hat, in denjenigen Diffuseur fließt, der eben mit frischen Schnitzeln gefüllt wurde. Auf diese Weise erhält man eine Lösung mit etwa 15% Zucker, also mit fast der gleichen Konzentration, wie sie in den Rüben vorliegt.

Die ausgelaugten Schnitzel dienen als Viehfutter. Sie werden entweder direkt verfüttert oder vorher getrocknet.

Neuerdings hat man in den Zuckerfabriken anstelle der Diffusionsbatterien versuchsweise auch kontinuierlich arbeitende Apparate eingeführt.

Das Auslaugen der Rübenschnitzel geschieht in Diffusionsbatterien bei 80 °C. Die ausgelaugten Schnitzel dienen als Viehfutter.

3. Saftreinigung. Der noch sehr verdünnte Rohsaft (15% Zucker), der die Diffusionsbatterie verläßt, ist eine dunkelfarbige, trübe Flüssigkeit. Er muß noch gereinigt werden, da er viele, die Weiterverarbeitung störende Verunreinigungen enthält, besonders Eiweiße und Säuren. Die Eiweiße behindern die Kristallisation der Sacharose. Die Säuren (zum Beispiel Phosphorsäure und Äthandisäure) spalten den Zucker beim Sieden in Glukose und Fruktose, die weniger süß schmecken und außerdem schlecht kristallisieren. Deshalb müssen Eiweiße und Säuren aus dem Rohsaft entfernt werden.

Zu diesem Zwecke wird dem Rohsaft Kalziumhydroxid (in Form von Kalkmilch) zugesetzt.

● *Erläutern Sie die Herstellung von Branntkalk im Schachtofen!*
Stellen Sie die Reaktionsgleichung für das Löschen des Kalkes auf!

Die im Rohsaft enthaltenen Säuren reagieren mit dem Kalziumhydroxid unter Bildung schwerlöslicher Salze, zum Beispiel Kalziumphosphat, Kalziumäthandiat (Kalziumoxalat).

96

Wir versetzen in einem Reagenzglas verdünnte Äthandisäurelösung mit klarer Kalziumhydroxidlösung (Kalkwasser).
Was beobachten Sie?
Stellen Sie für diesen Vorgang die Reaktionsgleichung auf!

97

Wir versetzen in einem Reagenzglas stark verdünnte Äthandisäurelösung reichlich mit Kalkmilch, schütteln und filtrieren dann die Flüssigkeit. Das Filtrat versetzen wir mit (klarer) Kalziumhydroxidlösung.
Was beobachten Sie in diesem Falle?
Prüfen Sie das Filtrat mit rotem Lackmuspapier!
Welche Reaktion zeigt das Filtrat?

Durch die nun basische Reaktion des Saftes treten weder Gärung noch Spaltung der Sacharose ein. Außerdem gerinnen die Eiweiße und werden dadurch ausgefällt. Die Behandlung des Rohsaftes mit Kalziumhydroxid wird als **Scheidung** bezeichnet.
Da mit einem Überschuß von Kalziumhydroxid gearbeitet wird, bilden sich auch Verbindungen des Kalziums mit Sacharose, sogenannte Kalziumsacharate. Diese Sacharate würden die Ausbeute an Zucker verringern. Deshalb leitet man anschließend Kohlendioxid in die heiße Lösung und fällt das Kalzium aus den Sacharaten und dem überschüssigen Kalziumhydroxid als Karbonat aus. Die Ausfällung des Kalziums aus den Sacharaten mit Kohlendioxid nennt man **Saturation.**

In der Scheidung werden aus dem Rohsaft durch Kalziumhydroxid störende Verunreinigungen ausgefällt. Die Saturation bezweckt die Zerlegung der in der Scheidung entstandenen Kalziumsacharate und die Entfernung des überschüssigen Kalziumhydroxids.

Der große Bedarf an Branntkalk beziehungsweise Löschkalk und Kohlendioxid macht es erforderlich, daß die Zuckerfabriken in den meisten Fällen eigene Kalkbrennöfen betreiben.
Die bei Scheidung und Saturation gebildeten Niederschläge werden in **Filterpressen** oder **Drehfiltern** von der Sacharoselösung getrennt. Die Filtration des Schlammsaftes durch Filterpressen ist eine schwere Arbeit. In modernen Betrieben, so zum Beispiel im VEB Zuckerfabrik Delitzsch, ist der Arbeitsgang der Trennung voll mechanisiert. Der Schlammsaft kommt vor der Filtration in Dekanteure, in denen sich der Schlamm absetzt. Der eingedickte Schlammsaft wird anschließend in großen Drehfiltern filtriert (Abb. 88). Der mit dem Schlamm angereicherte Saft läuft in einen Trog, in dem ein Rührwerk das Absetzen des Schlammes verhindert. In den Schlammsaft taucht eine rotierende Trommel, auf die ein Filtertuch gespannt ist. Durch eine Vakuumpumpe wird im Innern der Trommel ein Unterdruck erzeugt, der die Zuckerlösung nach innen saugt, während der Schlamm außen auf dem Filtertuch festgehalten wird. Auf das Oberteil der Trommel wird Wasser aufgesprüht und dadurch die

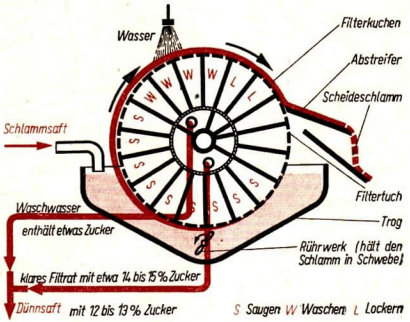


Abb. 88 Schematische Darstellung eines Drehfilters

noch im Schlamm vorhandene Zuckerlösung ausgewaschen. Beim Weiterdrehen der Trommel wird durch Druckluft, die von innen nach außen strömt, die Schlammschicht etwas gelockert und dann meist durch Schaber vom Filtertuch abgenommen. Das von den Filterpressen oder Drehfiltern ablaufende klare Filtrat wird **Dünnsaft** genannt. Der anfallende Schlamm, auch **Scheideschlamm** genannt, wird als Düngemittel verwendet.

Nach Scheidung und Saturation wird der Schlammsaft in Filterpressen, Drehfiltern oder anderen Apparaten filtriert. Man erhält ein klares Filtrat, den Dünnsaft. Als Rückstand verbleibt der Scheideschlamm, der als Düngemittel dient.

4. Eindampfen des Dünnsaftes. Der Dünnsaft enthält 12 bis 13% Zucker. Er wird stufenweise unter vermindertem Druck so weit eingedampft, daß der Zucker auskristallisiert. Zunächst gelangt der Dünnsaft in die **Verdampferstation** (Abb. 89), die aus mehreren Kochkesseln mit jeweils etwas höherem Vakuum besteht. Daher sinken die Siedepunkte der Zuckerlösung stufenweise von Kessel zu Kessel von 112 °C im Vorkocher über 100, 90, 76 bis auf 60 °C im letzten Verdampfer.

Die Zuckerlösung läuft während der Verdampfung gleichmäßig vom ersten bis zum letzten Verdampfer und verläßt die Apparatur als Dicksaft. Die Wirkung der Anlage wird durch Abbildung 90 verdeutlicht. Die Kessel werden indirekt durch eine Heizvorrichtung mit Dampf beheizt. Zur Heizung des Kessels I dient Frischdampf

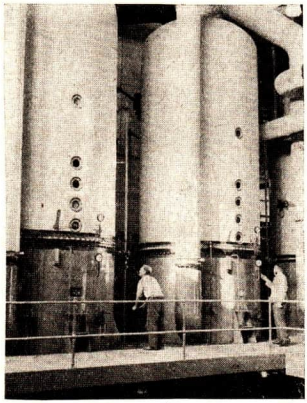


Abb. 89 Verdampferstation im VEB Zuckerfabrik Walschleben

oder Abdampf vom Vorkocher. Die Kessel 2 und 3 werden jeweils mit dem Abdampf des vorhergehenden Kessels beheizt.

Die Stufenverdampfung hat große Vorteile. Durch die sinkenden Siedepunkte wird der wärmeempfindliche Zucker geschont. Von großem Vorteil ist vor allem der geringe Dampfverbrauch. Müßte man jedem Verdampfer zur Beheizung Frischdampf zuleiten, so wäre der Dampfverbrauch wesentlich größer. Da eine Zuckerfabrik bei einer täglichen Verarbeitung von 2000 t Rüben etwa 2400 m³ Wasser verdampfen muß, bedeutet die Stufenverdampfung eine große Einsparung an Brennstoffen. Die Zuckerlösung verläßt den letzten Verdampfer als klarer, hellbrauner **Dicksaft,** der in einem besonderen Kessel, dem **Verkocher** (Abb. 91), im Vakuum bei 60 °C bis auf etwa 7% Wassergehalt eingedampft wird. Man verkocht so weit, daß die Kristallisation des Zuckers bereits im Vakuumverkocher einsetzt. Der eingedampfte Dicksaft heißt **Füllmasse.**

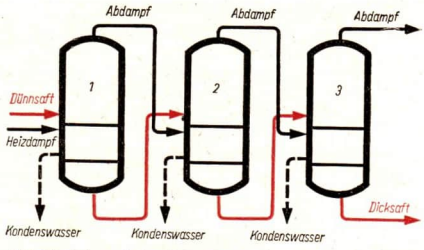
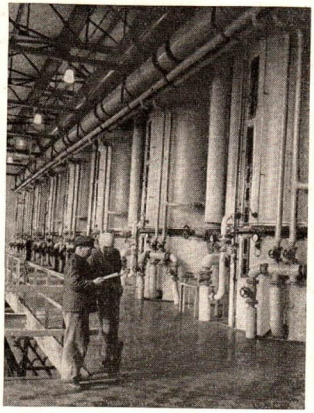


Abb. 90 Schematische Darstellung einer Verdampferstation

Das Eindampfen des Dünnsaftes über Dicksaft zur Füllmasse geschieht in drei Stufen: Vorkochen, Verdampfen und Verkochen.


Abb. 91 Verkocherstation im VEB Zuckerfabrik Delitzsch

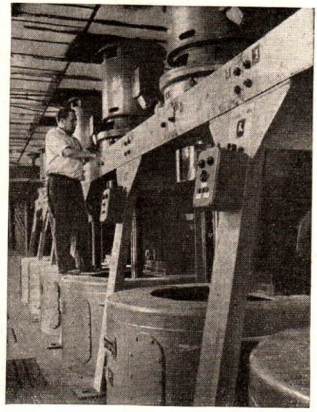
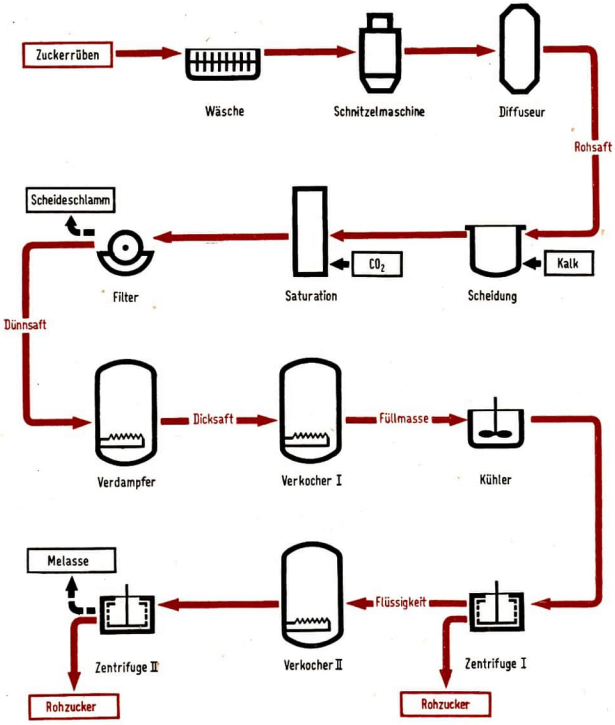

Abb. 92 Zentrifugenstation im VEB Zuckerraffinerie „Hermann Danz" Magdeburg

Abb. 93
Gewinnung von Rohzucker
Fließbild



5. Gewinnung des Rohzuckers. Die aus dem Verkocher ablaufende Füllmasse kommt in einen offenen Trog und wird dort durch Rühren gekühlt, wobei weitere Kristallisation der Sacharose stattfindet. Die Kristalle werden in **Zentrifugen** (Abb. 92) durch Schleudern vom Sirup getrennt. Die aus den Zentrifugen ablaufende Flüssigkeit enthält noch kristallisierbaren Zucker und wird nochmals im Vakuum verkocht. Nach dem anschließenden Kristallisieren und Schleudern des Zuckers verbleibt ein tiefbrauner Sirup, die **Melasse.** Melasse enthält noch etwa 60% Zucker. Sie wird durch Gärung auf Hefe, Äthanol und andere Stoffe verarbeitet oder zur Herstellung von Mischfuttermitteln verwendet. Aus 100 kg Frischrüben erhält man 15 bis 16 kg Rohzucker mit bis zu 97% Sacharose und 1,5 bis 2,5 kg Melasse.
Abbildung 93 (Seite 181) gibt einen Gesamtüberblick über die Rohzuckergewinnung.

Die Endprodukte der Zuckerfabrikation sind Rohzucker und Melasse.

6. Raffinieren des Zuckers. Der Rohzucker ist für Genußzwecke im allgemeinen nicht brauchbar. Er hat eine bräunliche Farbe, ist klebrig und besitzt einen kratzenden Beigeschmack. Diese unerwünschten Eigenschaften werden von Sirupteilchen hervorgerufen, die noch an den Zuckerkristallen haften. Der Rohzucker wird deshalb in Raffinerien auf Weißzucker verarbeitet. Im Gegensatz zu den Zuckerfabriken, die meistens nur während der Monate Oktober bis Januar arbeiten, läuft der Betrieb in den Raffinerien während des ganzen Jahres. Das Raffinieren erfolgt in zwei Stufen. Zuerst wird der Rohzucker mit reiner Zuckerlösung oder Wasser gewaschen, wodurch die Siruphülle von den Zuckerkristallen entfernt wird. Dann wird der gewaschene Rohzucker in Wasser gelöst. Es folgen Kalkscheidung und Saturation. Schließlich wird die Lösung mit Aktivkohle und Bleichmitteln weiter gereinigt und entfärbt. Dann schließen sich Filtration und wieder das Verkochen im Vakuum zu Füllmasse, Kristallisieren und Zentrifugieren an. Raffinierter Zucker hat einen Sacharosegehalt von mehr als 99%.

Der Rohzucker wird in Zuckerraffinerien gereinigt (raffiniert).

Stärke

Ein weiteres wichtiges Kohlenhydrat ist die **Stärke** $(C_6H_{10}O_5)_n$, die durch den Assimilationsprozeß der Pflanzen aus dem Kohlendioxid der Luft und Wasser unter Mithilfe des Blattgrüns und des Lichtes erzeugt wird.
Die Stärke wird in den Zellen verschiedener Pflanzenteile, in Früchten, Samen (zum Beispiel bei den Getreidearten), Knollen (zum Beispiel Kartoffeln), Zwiebeln und Wurzeln in Form mikroskopisch kleiner Körner abgelagert und dient als Speicherstoff.

98

Wir betrachten Kartoffel- und Reisstärke unter dem Mikroskop.
Vergleichen Sie die Stärkekörner!

Die Stärkekörner verschiedener Pflanzen unterscheiden sich äußerlich durch Größe und Gestalt voneinander. Vielfach kann man daher schon bei mikroskopischer Betrachtung eines Produktes die Herkunft der Stärke feststellen.

Im folgenden werden einige Eigenschaften der Stärke untersucht.

99



Wir schütteln 1 g Stärke mit 5 ml kaltem Wasser und gießen den dünnen Stärkebrei unter Umrühren in 50 ml fast siedendes Wasser. Die Stärke löst sich ziemlich klar auf. Beim Abkühlen erstarrt die Flüssigkeit zu einer durchscheinenden gallertartigen Masse (Kleister).

100



Etwa 1 ml des bei Versuch 99 erhaltenen Stärkekleisters verdünnen wir mit Wasser auf 50 ml. Zu einigen Millilitern dieser Lösung geben wir einige Tropfen stark verdünnte Jod-Kaliumjodid-Lösung.

Was beobachten Sie?

Wir erhitzen die Lösung nach der Zugabe von Jod-Kaliumjodid-Lösung kurz und lassen wieder abkühlen.

Was stellen Sie fest?

Was ist folglich bei der Durchführung des Stärkenachweises mit Jod zu beachten?

- *Führen Sie den Stärkenachweis nach Versuch S 70 durch!*
- *Erhalten Sie mit Stärke oder mit Stärkekleister die richtige Blaufärbung?*
- *Prüfen Sie die verschiedenen Nahrungsmittel auf das Vorhandensein von Stärke nach Versuch S 71!*
- *Führen Sie den Nachweis von Stärke in Margarine mit Hilfe der Jod-Stärke-Reaktion nach Versuch S 72 durch!*

101



Wir mischen gleiche Teile Fehling I und II, geben Stärkekleister hinzu und erhitzen zum Sieden.

Was können Sie beobachten?

Was schließen Sie aus dem Ergebnis dieses Versuches?

Stärke ist ein feines weißes, geruchloses und geschmackfreies Pulver, das sich in kaltem Wasser nicht löst. Mit 60 bis 80 °C heißem Wasser bildet Stärke eine Lösung (Stärkekleister), die mit FEHLINGscher Lösung nicht reagiert, also nicht reduzierend wirkt. Stärkekleister gibt mit Jod-Kaliumjodid-Lösung eine intensive Blaufärbung. Diese Reaktion ist sehr empfindlich: Man kann damit sehr geringe Stärkemengen nachweisen.



Stärke wird durch heißes Wasser in Stärkekleister umgewandelt, der mit Jod-Kaliumjodid-Lösung eine intensive Blaufärbung ergibt. Diese Reaktion dient als Nachweis der Stärke.

102



Wir geben 30 ml Stärkekleister in ein kleines Becherglas, versetzen ihn mit Speichel, erwärmen das Gemisch auf einem Wasserbad auf 40 ° C und halten es etwa 10 Minuten auf dieser Temperatur. Dann prüfen wir einige Milliliter dieser Lösung mit Jod-Kaliumjodid-Lösung, den Rest mit FEHLINGscher Lösung wie bei Versuch 101.

Was stellen Sie fest?

Stärke wird durch bestimmte Enzyme, zum Beispiel durch die Enzyme des Mundspeichels, zu Stoffen abgebaut, die mit Jod keine Blaufärbung ergeben und FEHLINGsche Lösung reduzieren.

103

50 ml Stärkekleister versetzen wir mit 1 ml konzentrierter Salzsäure und erhitzen in einem Becherglas zum Sieden. In Abständen von 2 Minuten entnehmen wir 2 bis 3 ml Flüssigkeit, kühlen diese Proben gut ab und prüfen mit Jod-Kaliumjodid-Lösung. Wenn keine Farbreaktion mehr zu beobachten ist, lassen wir noch einige Minuten weitersieden, kühlen dann die Lösung etwas ab und neutralisieren mit Natronlauge. Nun geben wir FEHLINGsche Lösung dazu und erhitzen wieder zum Sieden. Nach kurzer Zeit scheidet sich ein roter Niederschlag aus.

Was schließen Sie aus diesem Versuchsergebnis?

Kocht man Stärkekleister mit verdünnten anorganischen Säuren, so entstehen ebenfalls reduzierende Stoffe. Durch genauere Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß bei der Spaltung von Stärke durch Säuren oder Enzyme Glukose als Endprodukt entsteht:

$$\underset{\text{Stärke}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + n\ H_2O \rightarrow n\ \underset{\text{Glukose}}{C_6H_{12}O_6}$$

Diese Umwandlung ist eine Zerlegung der Stärkemoleküle unter Wasseraufnahme. Mit Hilfe dieser Reaktion wird in der Industrie Glukose aus Stärke hergestellt. In den Verdauungsorganen der Menschen und der Tiere, aber auch in pflanzlichen Organismen wird die wasserunlösliche Stärke mit Hilfe von Enzymen in wasserlösliche Glukose umgewandelt. So werden zum Beispiel in den „Augen" der Kartoffelknollen stärkeabbauende Enzyme gebildet, durch deren Wirkung während der Lagerung aus Stärke langsam Glukose entsteht. Diese Glukose wird jedoch sofort von der Knolle „veratmet", so daß wir durch den Geschmack keinen Zucker feststellen können. Der Stärkeverlust während des Winters und Frühjahrs durch Atmung beträgt 10 bis 20% der Kartoffelmasse. Bei sehr kalter Lagerung im Winter hören die Lebensprozesse der Kartoffelknolle fast auf. Es wird nahezu kein Zucker mehr verbraucht. Die Enzyme bilden jedoch Zucker in gleichem Umfang wie bisher. Der Zucker reichert sich daher an, so daß die Kartoffeln süß schmecken. Bringt man solche Kartoffeln in einen mäßig warmen Raum, so steigt die Atmung der Knolle auf das frühere Maß und darüber an. Die Folge ist ein rascher Verbrauch der entstandenen Glukose. Der süße Geschmack verschwindet.

Die Stärkemoleküle sind sehr groß. Es sind viele Gruppen $-C_6H_{10}O_5-$, die sich von Glukose durch Wasserabspaltung ableiten, zu einem Molekül vereinigt. Man hat bei manchen Stärkearten Molekulargewichte bis zu einer Million ermittelt. Derartige Moleküle bezeichnet man als **Makromoleküle.** Infolge ihrer Größe können Stärkemoleküle bei Mensch und Tier nicht von den Darmwandungen resorbiert werden. Sie werden durch die Verdauung zu Glukosemolekülen abgebaut.

Stärke wird durch Sieden mit verdünnten Säuren oder durch bestimmte Enzyme unter Wasseraufnahme zu Glukose abgebaut.

Bei der industriellen Gewinnung der Stärke geht man von stärkereichen Pflanzenprodukten, zum Beispiel von Kartoffeln, Mais, Weizen und Reis aus.

Zur Gewinnung von Kartoffelstärke werden die Kartoffeln zuerst gewaschen und dann durch Reibmaschinen zerkleinert. Der erhaltene Brei gelangt in Bürstenmaschinen, in denen die Zellwände vollends zerstört und die freigelegten Stärkekörner herausgewaschen werden. Die ab-

fließende Rohstärkemilch wird zunächst mittels feiner Siebe von den Zellfasern befreit und anschließend in langen Rinnen ausgewaschen, wobei sich die Stärke absetzt. Sie wird dann vorsichtig bis auf einen Wassergehalt von etwa 20% getrocknet.

104

Einige Kartoffeln werden geschält und zu einem Brei gerieben. Den Brei füllen wir in eine große Flasche und setzen etwa das doppelte Volumen Wasser hinzu. Nun schütteln wir einige Minuten kräftig und lassen die Flüssigkeit durch ein Tuch ablaufen. Aus der Flüssigkeit setzt sich bald Stärke ab. Wir dekantieren die Flüssigkeit und reinigen die Stärke durch mehrmaliges Waschen und Dekantieren. Zuletzt lassen wir die Stärke in einem flachen Gefäß an der Luft trocknen.

Stärke dient in erster Linie als Nährstoff und wird dem Körper in Form von Kartoffeln, Teigwaren, Backwaren und Mehlspeisen zugeführt. Erhebliche Stärkemengen werden durch enzymatischen Abbau in Zucker umgewandelt und dann vergoren. Gereinigte Stärke wird zur Herstellung von Puddingpulvern, Kartoffelsago und anderen Nährmitteln (z. B. Weizenin und Maizena) verwendet. Stärke dient ferner zur Erzeugung von Stärkezucker (Glukose), Klebstoffen, medizinischen Präparaten und Pudern. Sie wird außerdem zum Steifen von Wäsche, in der Textilindustrie zum Verdicken der Druckfarben, zum Appretieren und Beschweren von Geweben und zu vielen anderen Zwecken verwendet.

Stärke ist ein wichtiger Nährstoff. Sie dient zur Erzeugung von Nährmitteln, Klebemitteln und anderen Produkten und wird auch in der Gärungs- und Textilindustrie verwendet.

Zellulose

Beim Assimilationsprozeß der Pflanzen entsteht neben anderen Stoffen auch das wichtige Kohlenhydrat **Zellulose,** das die Bruttoformel $(C_6H_{10}O_5)_n$ aufweist. Die Zahl der Bausteine $-C_6H_{10}O_5-$, die zu einem Zellulosemolekül verbunden sind, beträgt in einigen Fällen bis zu 4000. Zellulosemoleküle sind Makromoleküle. Zwischen Stärke und Zellulose bestehen im Molekülbau erhebliche Unterschiede. Zellulose bildet die **Gerüstsubstanz** der meisten Pflanzen. Besonders reich an Zellulose sind pflanzliche Gespinstfasern.
Baumwolle ist nach Abtrennung aller Verunreinigungen fast reine Zellulose, aber auch bei Flachs, Hanf, Jute und anderen Pflanzenfasern bildet dieses Kohlenhydrat den Hauptbestandteil. Von großer Bedeutung ist die im Holz enthaltene Zellulose, die etwa 50% der wasserfreien Substanz des Holzes ausmacht.

Zellulose hat die Bruttoformel $(C_6H_{10}O_5)_n$. Sie bildet den Hauptbestandteil der pflanzlichen Gespinstfasern und des Holzes.

Wir untersuchen einige Eigenschaften der Zellulose.

105

Wir geben Zellulose (Watte, Filterpapier) in ein Reagenzglas, gießen Wasser dazu und erhitzen zum Sieden.
Welche Löslichkeit stellen Sie fest?

106

In ein Reagenzglas gießen wir gleiche Teile Fehling I und II, geben Zellulose hinzu und erhitzen zum Sieden.

Was können Sie aus ihrer Beobachtung schließen?

107

Wir übergießen Zellulose mit Wasser und fügen etwas Jod-Kaliumjodid-Lösung hinzu.

Was können Sie aus Ihrer Beobachtung schließen?

108

Wir stellen uns Chlorzinkjodlösung her, indem wir 30 g wasserfreies Zinkchlorid, 5 g Kaliumjodid und 1 g Jod in 14 ml Wasser auflösen. Dieses Reagens tropfen wir auf Zellulose.

Was beobachten Sie?

109

Wir verreiben 0,2 g Zellulose mit 5 ml 70%iger Schwefelsäure etwa 2 bis 3 Minuten in einer Reibschale (Vorsicht!). Es entsteht ein Brei, den wir vorsichtig in ein Becherglas mit 25 ml Wasser gießen. Die Flüssigkeit lassen wir dann mindestens 15 Minuten sieden. Anschließend kühlen wir die Lösung und neutralisieren mit Natronlauge. (Vorsicht!) Dann versetzen wir die Flüssigkeit mit FEHLINGscher Lösung und lassen wieder einige Minuten sieden.

Was beobachten Sie?

Zellulose ist ein geruchloser und geschmackfreier weißer, fester Stoff, der auch in siedendem Wasser unlöslich ist. Mit Jodlösungen gibt Zellulose keine Blaufärbung, eine solche tritt nur mit Chlorzinkjodlösung auf. Chlorzinkjodlösung dient daher als Nachweismittel für Zellulose. Zellulose kann durch eine kombinierte Behandlung von konzentrierten und verdünnten anorganischen Säuren zu Glukose abgebaut werden. Gegen verdünnte Laugen ist Zellulose beständig. Sie wird selbst von siedenden Laugen schwacher Konzentration in Abwesenheit von Sauerstoff nicht angegriffen. Textilgewebe aus Zellulose (zum Beispiel Baumwolle) können demnach mit basisch wirkenden Lösungen von Seife oder Natriumkarbonat gewaschen und sogar zum Sieden erhitzt werden.

Zellulose wird von siedenden Laugen schwacher Konzentration nicht angegriffen, dagegen durch eine kombinierte Behandlung mit konzentrierten und verdünnten anorganischen Säuren zu Glukose abgebaut.

Das Zellulosemolekül enthält eine große Anzahl von Hydroxylgruppen und reagiert deshalb mit konzentrierten, wasserfreien Säuren unter Esterbildung. Von technischer Bedeutung sind die Ester der Zellulose mit Salpetersäure und Äthansäure sowie die Zellulosexanthogenate.

- *Welche Unterschiede bestehen zwischen Estern und Salzen?*
  Erläutern Sie die Besonderheiten der Esterbildung anhand einer Reaktionsgleichung!
  Welche Ester haben Sie schon kennengelernt?

Die Salpetersäureester der Zellulose dienen zur Herstellung von Explosivstoffen und des Werkstoffs **Zelluloid**. Die Äthansäureester der Zellulose werden zu hochwertigen Textilfasern (Azetatseide, Azetatzellwolle) und Plasten verarbeitet. Die Zellulose-

xanthogenate sind Salze einer besonderen Gruppe von Zelluloseestern. Sie haben als Zwischenprodukte bei der Herstellung von Viskoseseide und -faser große Bedeutung.

Zelluloseester dienen zur Herstellung von Explosivstoffen, Plasten, Viskoseseiden und Viskosefasern.

Zellstoff

Zellstoff besteht aus fast reiner Zellulose. Er wird vor allem aus Holz, Schilf oder Stroh nach verschiedenen Verfahren gewonnen.

1. Gewinnung. Die größte Bedeutung für die Zellstoffgewinnung in unserer Republik hat das **Sulfitverfahren.** Als Ausgangsstoff für dieses Verfahren dient Holz. Stroh kann wegen des hohen Kieselsäuregehaltes nicht verwendet werden.
Das Prinzip des Sulfitverfahrens besteht darin, daß die im Holz vorhandenen Begleitstoffe der Zellulose durch Kochen mit einer Kochsäure entfernt werden. Die Kochsäure (in der Industrie fälschlich als „Kochlauge" bezeichnet) besteht aus einer Kalziumhydrogensulfitlösung, die überschüssiges Schwefeldioxid enthält. Zu ihrer Herstellung röstet man sulfidische Erze (z. B. Pyrit FeS_2) ab oder verbrennt schwefelhaltige Gasreinigungsmasse unter ausreichender Luftzufuhr.

● *Erläutern Sie die technische Durchführung des Röstverfahrens! Stellen Sie für das Rösten von Pyrit die Reaktionsgleichung auf!*

Das entstehende Schwefeldioxid wird in Türmen von 30 bis 40 m Höhe und 1,5 bis 2,5 m Durchmesser, die mit Kalksteinen gefüllt sind und mit Wasser berieselt werden, zu Kalziumhydrogensulfit umgesetzt:

$$CaCO_3 + 2\ SO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HSO_3)_2 + CO_2$$

Die entstandene Lösung wird in Vorratsbehälter gepumpt und dort mit weiterem Schwefeldioxid angereichert.
Das zur Verarbeitung kommende Holz wird zunächst sorgfältig entrindet und dann in **Hackmaschinen** zerkleinert. Anschließend trennt man in **Siebtrommeln** grobe Stücke und Holzmehl ab und füllt die Hackschnitzel in große, stehende Kessel, die **Kocher** (Abb. 94). Dann wird Kochsäure in die Kocher gepumpt. Die Beheizung der Kocher kann direkt durch Einleiten von Wasserdampf oder indirekt mit dampfdurchströmten Heizschlangen erfolgen. Bei modernen Anlagen wird die Kochsäure indirekt in dampfbeheizten Vorwärmern erhitzt und durch Pumpen in Umlauf gehalten, so daß sie ständig durch Kocher und Vorwärmer fließt (Abb. 95).
Die Dauer des Kochprozesses sowie die anzuwendenden Drücke und Temperaturen sind je nach der Holzart, Kesselgröße und der gewünschten Zellstoffqualität verschieden. Bei indirekter Beheizung wird zum Beispiel 20 bis 35 Stunden unter 2,5 bis 3 at und bei 115 bis 130 °C gekocht.
Nach dem Kochen leitet man die im Sulfitkocher befindlichen Gase, die noch Schwefeldioxid enthalten, ab, kühlt sie und verwendet sie wieder zur Herstellung von Kochsäure. Nach dem Ableiten der Gase aus dem Kocher wird die unwirksam gewordene

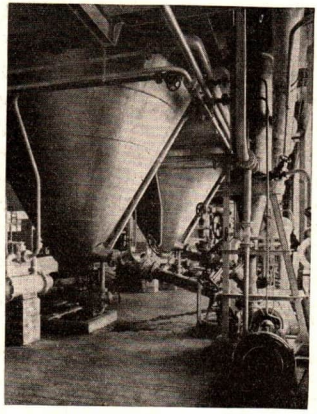


Abb. 94 Unterteil eines Zellstoffkochers im VEB Filmfabrik Wolfen

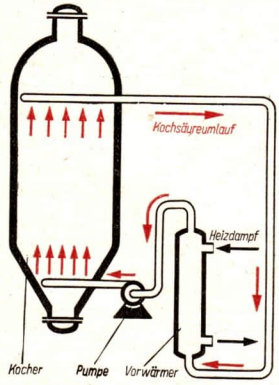


Abb. 95 Schematische Darstellung eines Zellstoffkochers

Kochsäure abgelassen und der Zellstoff entweder mit Hilfe von Dampf aus dem Kessel ausgeblasen oder mit Wasser herausgespült. Anschließend wird die Zellstoffmasse gereinigt, vielfach auch gebleicht und dann mit **Entwässerungsmaschinen** (Abb.96) getrocknet. Am Ende des Prozesses liegt Zellstoff in Form dicker Pappen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 7 bis 15% vor. Die Pappen werden in Form von Rollen oder Platten zur Weiterverarbeitung abtransportiert (Abb. 97).

Je Tonne Zellstoff entstehen etwa 10 m³ Ablaugen, deren Verwertung noch nicht restlos gelungen ist. Die Laugen enthalten neben großen Mengen anderer Stoffe auch 1,5 bis 2% Zucker, der mit Hefe zu

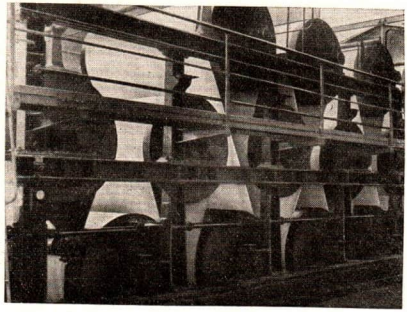


Abb. 96 Teilansicht einer Zellstoffentwässerungsmaschine im VEB Filmfabrik Wolfen

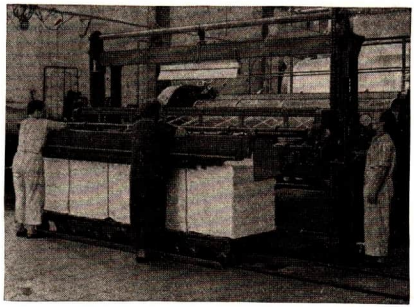


Abb. 97 Zellstoffschneidemaschine im VEB Filmfabrik Wolfen

Äthanol („Sulfitsprit") vergoren wird. Auch zur Erzeugung von Hefe wird der Zuckergehalt ausgenutzt.

● *Erläutern Sie die Äthanolgärung wäßriger Glukoselösungen anhand einer Reaktionsgleichung!*

Durch Eindicken der Ablaugen gewinnt man Klebe- und Appreturmittel, Zellpech zur Brikettierung von Erzen und Steinkohlenstaub und andere Produkte. In manchen Werken wird die stark eingedickte Ablauge unter den Dampfkesseln verbrannt. Der weitaus größte Teil der Ablaugen von der Sulfitzellstoffgewinnung fließt ungenutzt in Flüsse und Seen.

Nach dem **Sulfatverfahren** werden Holz, auch das sehr harzreiche Kiefernholz, und Stroh verarbeitet. Die zerkleinerten Rohstoffe kocht man in eisernen Kesseln mit basischen Lösungen mehrere Stunden unter Druck, wodurch Lignin, Harze und andere Bestandteile der Ausgangsstoffe gelöst werden. Cellulose bleibt zurück. Dann wird die Kochlauge abgelassen, der Zellstoff gewaschen, gebleicht, erneut gewaschen und zum Schluß getrocknet.

▶ **Zellstoff wird aus Holz, Stroh oder Schilf durch Kochen mit Kalziumhydrogensulfitlösung oder mit Laugen gewonnen.**

2. Verwendung. Die Produktion von Zellstoff in unserer Republik wurde in den letzten Jahren erheblich gesteigert (Abb. 98). Wichtige Zellstoffwerke sind zum Beispiel der VEB Zellstoffwerk Pirna, der VEB Zellstoff- und Papierfabrik Crossen, der VEB Zellstoff- und Zellwollewerke Wittenberge, der VEB Zellstoffwerk Merseburg und der VEB Filmfabrik Wolfen.

Zellstoff hat für unsere Republik große wirtschaftliche Bedeutung. Er ist ein wichtiges Halbfabrikat. Beträchtliche Mengen von Zellstoff werden zur Fabrikation von Kunstseide, Zellwollen und Papier benötigt. Zellstoff dient ferner als Verbandmaterial

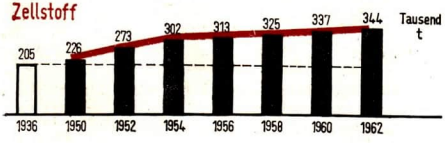


Abb. 98 Entwicklung der Zellstoffproduktion der Deutschen Demokratischen Republik



Abb. 99 Verwendung von Zellstoff

und zur Erzeugung von Folien, Plasten, Kleb- und Appreturmitteln, Explosivstoffen und vielen anderen Produkten. In Abbildung 99 sind die wichtigsten Verwendungszwecke des Zellstoffs zusammengestellt.

Kunstseiden und Zellwollen

Etwa ein Drittel des in unserer Republik hergestellten Zellstoffs wird zu künstlichen Textilfasern, Zelluloseseiden und -fasern, verarbeitet. Dabei bedient man sich verschiedener Verfahren, von denen das Viskose-Verfahren das wichtigste ist.

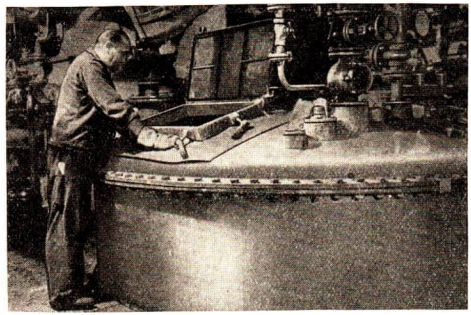


Abb. 100
Xanthogenatkneter im VEB Chemiefaserwerk Schwarza „Wilhelm Pieck"

1. Viskoseseide. Die Zellstoffpappen werden mit 18%iger Natronlauge getränkt. Dabei bildet sich **Natronzellulose.** Gleichzeitig werden unerwünschte Begleitstoffe der Zellulose aufgelöst. Nach der Laugenbehandlung preßt man die überschüssige Lauge ab. Das Preßgut wird nun in **Zerfaserern** zu einer lockeren Masse zerkleinert. Dann läßt man es zwei bis drei Tage liegen. Dabei werden die sehr langen Zellulosemoleküle etwas verkürzt. Man bezeichnet diesen Prozeß, durch den das Material bessere Eigenschaften für die Weiterverarbeitung erhält, als **Vorreife.** Die gereifte Masse wird dann in großen **Knetmaschinen** (Abb. 100) mit Kohlendisulfid CS_2 bei 20 bis 25 °C zur Reaktion gebracht. Im Verlauf von zwei bis drei Stunden bildet sich eine gelbrote Verbindung, das **Natriumzellulosexanthogenat**[1], in der Industrie kurz als **Xanthogenat** bezeichnet. Das Xanthogenat wird nun in 4%iger Natronlauge gelöst. Die Xanthogenatlösung ist zähflüssig und wird deshalb **Viskose**[2] (Abb. 101) genannt. Sie wird zur Abtrennung der nicht umgewandelten Zellulose filtriert und dann im Vakuum „entlüftet". Dabei werden die in der Lösung enthaltenen Luftbläschen entfernt. Diese Bläschen würden den Spinnprozeß stören.



Abb. 101 Viskose

Durch Behandlung mit starker Natronlauge und Kohlendisulfid entsteht aus Zellstoff das lösliche Xanthogenat. Die Lösung dieser Verbindung in schwacher Natronlauge heißt Viskose.

Nun lagert man die Viskose etwa drei bis vier Tage in großen Behältern. Dabei laufen bestimmte chemische Reaktionen ab, wobei die Zähflüssigkeit der Viskose zunimmt. Dieser Vorgang wird als **Nachreife** bezeichnet. Jetzt erst ist die Viskose spinnfertig. Sie gelangt

[1] xanthos (griech.) = gelb
[2] viscidus (latein.) = zäh, klebrig

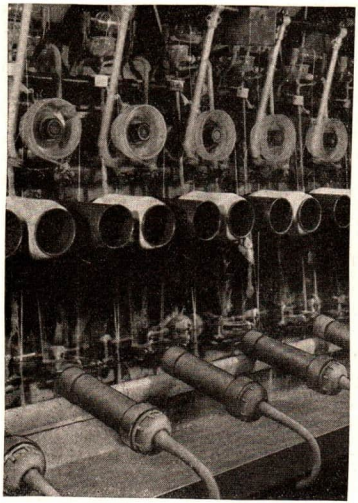
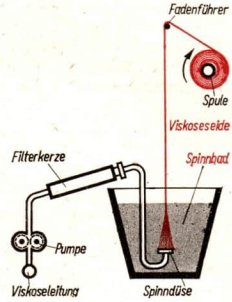


Abb. 102 Teil einer Spinnmaschine im VEB Filmfabrik Wolfen
Abb. 103 Spinnen von Viskosefäden (schematische Darstellung)

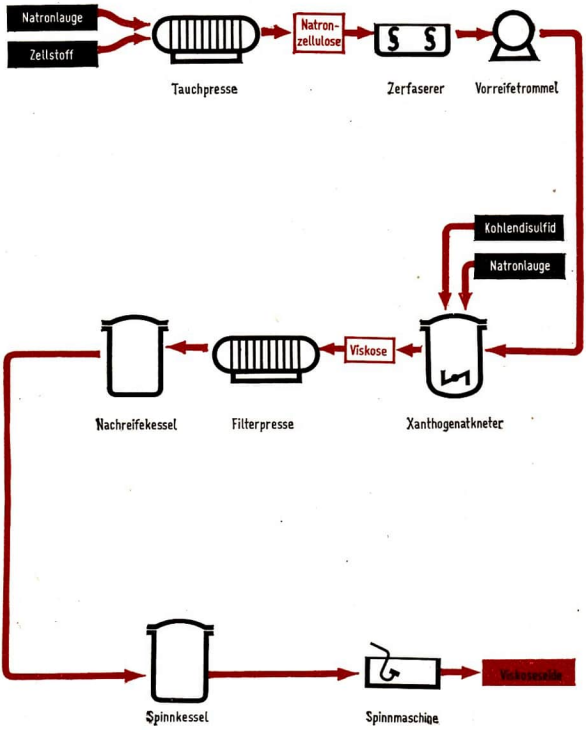


in den Spinnkessel und wird von dort mit Hilfe von Pumpen in die **Spinndüsen** gepreßt. Zwischen Pumpen und Düsen läuft die Spinnlösung durch Filterkerzen, in denen die letzten Reste ungelöster Stoffe zurückbleiben.
Sobald die Viskose die feinen Öffnungen der Spinndüsen verläßt und in das saure Spinnbad gelangt, wird das Xanthogenat zerlegt und Zellulose als Faden ausgeschieden (Abb. 102 und 103). Dieses Verfahren wird als **Naßspinnverfahren** bezeichnet. Die Spinnbäder enthalten Schwefelsäure und besondere Zusätze.

Die Lösung der Zelluloseverbindung (Viskose) wird durch die feinen Öffnungen der Düsen in ein Fällbad gepreßt. Dabei wird Zellulose als endloser Faden ausgefällt.

Nach dem Spinnen (der Fadenbildung) wird die Kunstseide nachbehandelt. Die Fäden werden gestreckt, entsäuert, entschwefelt und gewaschen. Dann durchlaufen sie ein Seifenbad und schließlich einen Trockenapparat. Die nach dem Spinnen auf den Spulen noch parallel liegenden Einzelfäden werden auf Zwirnmaschinen zu Kunstseidenzwirn zusammengedreht.
Bei den modernen Zentrifugenspinnmaschinen laufen die Fäden nicht auf Spulen, sondern über Abzugswalzen in das Innere von kleinen Zentrifugen, die Spinntöpfe genannt werden. Dabei werden die Kunstseidenfäden sofort gezwirnt. Dadurch wird ein Arbeitsgang eingespart. In Abbildung 104 ist die Herstellung von Viskoseseide schematisch dargestellt.

Abb. 104
Herstellung von Viskoseseide
Fließbild



Die Betriebe unserer Republik, die Viskoseseide herstellen, sind in Tabelle 16 (S. 195) aufgeführt.

2. Kupferkunstseide. Zur Herstellung dieser Kunstseidenart löst man hochwertigen Zellstoff (Edelzellstoff) oder gebleichte Baumwoll-Linters (kurze, unreife Baumwollfasern, die bei der Entölung der Samen gewonnen werden; in gereinigtem gebleichtem Zustand fast reine Zellulose) in SCHWEIZERS Reagens, das aus Kupfer(II)-hydroxid und wäßriger Ammoniaklösung hergestellt wird.

Es entsteht eine tiefblaue Spinnlösung, die sorgfältig filtriert und mit Hilfe von Pumpen durch die Öffnungen der Spinndüsen in strömendes warmes Wasser oder stark verdünnte Alkalilaugen gepreßt wird. Dabei gerinnt die gelöste Zellulose langsam und wird in diesem Übergangsstadium durch das rasch strömende Wasser des Fällbades zu sehr dünnen Fäden, die feiner als Naturseide sind, verstreckt.

3. Viskosefasern (Zellwollen). Werden die „endlosen" Viskoseseidenfäden nicht gezwirnt, sondern in Stücke von der Länge der Baumwollfasern oder Schafhaare **(Stapellänge)** zerschnitten, so erhält man Viskosefasern (bekannt als Zellwollen), die chemisch aus dem gleichen Stoff wie die Viskoseseide bestehen.
Viskosefasern können baumwollähnlich (B-Type) oder schafwollähnlich (W-Type) hergestellt werden. Das Material wird dann auf Spinnmaschinen, wie sie für Naturfasern üblich sind, entweder allein oder in Mischung mit Baumwolle beziehungsweise Schafwolle versponnen.

Viskosefasern (Zellwollen) werden durch Zerschneiden von Viskoseseidenfäden hergestellt und wie Baumwolle oder Schafwolle versponnen.

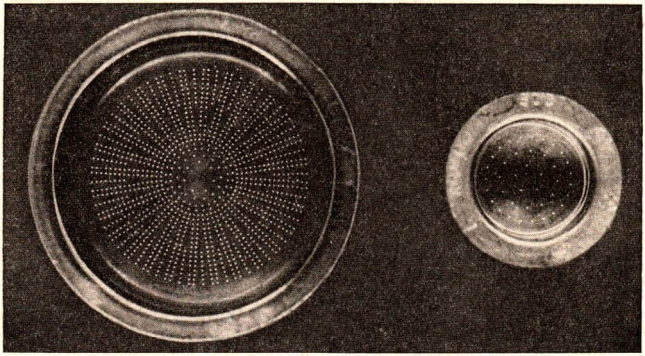


Abb. 105 Spinndüsen für Viskosefasern und -seiden

Zwischen der Viskoseseiden- und Viskosefaserherstellung bestehen nur geringfügige Unterschiede. Die Spinndüsen für Viskoseseide weisen wenige Bohrungen auf, während die Spinnbrausen für die Viskosefaserherstellung größer sind und bis zu 15000 feinste Öffnungen haben (Abb. 105). Für die Erzeugung von Viskosefasern werden alle Fäden einer Spinnmaschine zu einem Faserkabel von mehreren hunderttausend Einzelfäden zusammengefaßt, das dann nachbehandelt, zerschnitten und getrocknet wird.
In Tabelle 16 sind die in der Deutschen Demokratischen Republik erzeugten Zellulosekunstseiden und -fasern und ihre Herstellerwerke zusammengestellt.

Tabelle 16. Zellulosekunstseiden und -fasern

Fasertype	Herstellerwerk	Handelsbezeichnung
Viskoseseide	VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz	Prezenta, Suprema, Travema
	VEB Sächsisches Kunstseidenwerk „Siegfried Rädel" Pirna	Viseta, Coseta
	VEB Kunstseidenwerk „Clara Zetkin" Elsterberg	Elstrama
	VEB Filmfabrik Wolfen	
Kupferkunstseide	VEB Sächsisches Kunstseidenwerk „Siegfried Rädel" Pirna	Kuseta
Viskosefaser	VEB Filmfabrik Wolfen	Vistra
	VEB Chemiefaserwerk Schwarza „Wilhelm Pieck"	Merinova
	VEB Zellstoff- und Zellwollewerke Wittenberge	Wilana
	VEB Sächsische Zellwolle Plauen	Plavia
	VEB Spinnstoffwerk „Otto Buchwitz" Glauchau	

4. Eigenschaften und Verwendung der Zellulosekunstseiden und -fasern. Chemiefasern auf Zellulosebasis besitzen Glanz, weichen Griff und sind geschmeidig. In bezug auf ihre Trockenreißfestigkeiten ähneln sie mittleren Baumwollqualitäten. Bei Viskose- und Kupferkunstfasern sinkt in nassem Zustand infolge starker Quellung die Festigkeit. Aus diesem Grunde ist bei Textilien aus diesem Material eine möglichst schonende Behandlung bei der Wäsche notwendig. Durch spezielle Verfahren können bei Viskose- und Kupferkunstfasern jedoch gute Naßreißfestigkeiten erzielt werden. Zellulosekunstseiden und -fasern werden nicht nur zu Strümpfen, Trikotagen, Webwaren (Stoffe für Kleider, Blusen, Leibwäsche, Schürzen, Handtücher, Tischtücher, Futter, Regenschirme, Dekorationszwecke usw.), sondern auch zu Nähfäden, Wäscheleinen, Bindfäden und technischen Artikeln (zum Beispiel Kord für Autoreifen) verarbeitet.

Aus Zellulosekunstseiden und -fasern werden Oberbekleidung, Leib- und Gebrauchswäsche sowie Textilwaren für die Industrie hergestellt.

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Erklären Sie die Herkunft der Bezeichnung Kohlenhydrate und nennen Sie Stoffe, die zu dieser Gruppe gehören!
2. Nennen Sie Formel und Vorkommen von Glukose!
3. Welche Eigenschaften hat Glukose?
4. Warum reagiert eine 10%ige Glukoselösung nicht mit SCHIFFs Reagens?
5. Erläutern Sie die chemischen Grundlagen der Glukoseherstellung aus Stärke!
6. Wozu wird Glukose verwendet?
7. Nennen Sie Formel und Eigenschaften der Sacharose!
8. Erläutern Sie die Herstellung von Kunsthonig!
9. Berechnen Sie die Menge Kunsthonig, die aus 171 kg Sacharose entsteht, wenn das fertige Produkt 20% Wasser enthält!
10. Welche Menge Sacharose wurde gespalten, wenn 54 kg eines Gemisches von Glukose und Fruktose entstehen?
11. Wieviel Wasser wird theoretisch zur Spaltung von 85,5 kg Sacharose benötigt?
12. Schildern Sie die Vorbereitungsarbeiten in der Zuckerfabrik bis zum Schnitzeln der Rüben!
13. Begründen Sie die Notwendigkeit der Rohsaftreinigung!
14. Erläutern Sie die Durchführung von Scheidung und Saturation!
15. Beschreiben Sie anhand einer einfachen Skizze die Wirkungsweise eines Drehfilters!
16. Nennen Sie die Etappen, die beim Eindampfen des Dünnsaftes durchlaufen werden!
17. Erläutern Sie die Arbeitsweise und Vorteile einer Verdampferstation!
18. Schildern Sie die Arbeitsgänge, die sich an die Herstellung des Dicksaftes anschließen!
19. Wie wird das Raffinieren des Rohzuckers durchgeführt?
20. Nennen Sie die wichtigsten Apparate der Zuckergewinnung!
21. Nennen Sie wichtige Eigenschaften der Stärke!
22. Wie wird die industrielle Gewinnung von Kartoffelstärke durchgeführt?
23. Wozu wird Stärke verwendet?
24. Nennen Sie stärkehaltige Nahrungsmittel!
25. Erläutern Sie den Abbau der Stärke durch Säuren oder Enzyme!
26. Wieviel Glukose entsteht aus 40,5 g Stärke?
27. Wieviel Stärke muß verwendet werden, wenn bei der Spaltung 360 kg Glukose entstehen sollen und nur 95% des Ausgangsstoffes umgesetzt werden?
28. Nennen Sie wichtige Vorkommen von Zellulose!
29. Vergleichen Sie die Eigenschaften von Stärke und Zellulose!
30. Wozu wird Zellulose verwendet?
31. Erläutern Sie die Gewinnung des Zellstoffs nach dem Sulfitverfahren!
32. Welche Verwendung finden die Ablaugen der Sulfitzellstoffgewinnung?
33. In einer Zellstoffabrik fallen täglich 100 t Ablaugen mit 2% Glukose an. Wir nehmen an, daß die Glukose durch Gärung verlustlos in Äthanol umgewandelt wird. Welche Menge Äthanol entsteht dann aus einer Tagesmenge Ablauge?
34. Bei der Herstellung von Kochsäure für das Sulfitverfahren werden 1000 kg Kalziumkarbonat umgesetzt. Wieviel Kalziumhydrogensulfit entsteht bei diesem Prozeß?
35. Erläutern Sie die Erzeugung von Viskoseseide!
36. Wie werden Viskosefasern hergestellt? Erläutern Sie die Unterschiede zwischen Viskoseseiden- und -fasererzeugung!
37. Erläutern Sie die Eigenschaften der Zellulosekunstseiden und -fasern!
38. Was wird aus Zellulosekunstseiden und -fasern hergestellt?

Plaste

Unter der Bezeichnung Plaste faßt man die große Gruppe von hochmolekularen Werkstoffen zusammen, die auf synthetischem Wege aus einfach gebauten Verbindungen oder durch Umwandlung von hochmolekularen Naturprodukten hergestellt werden. Sie haben diesen Namen erhalten, da sie bei ihrer Verarbeitung mindestens einmal den plastischen Zustand durchlaufen. Plaste sind Produkte, die aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken sind. Die leichten, hygienischen und praktischen Plastgefäße und -geräte sind in jedem Haushalt beliebt. Plaste sind aber auch unentbehrliche Werkstoffe für die Elektrotechnik, Fahrzeugindustrie, Feinmechanik, Optik, das Bauwesen, den Schiffbau, Bergbau und viele andere Zweige unserer Volkswirtschaft. Daher hat die Entwicklung und die Produktion dieser Erzeugnisse ganz besondere Bedeutung.



Allgemeines

Bereits im Jahre 1865 wurde das Zelluloid, ein wichtiger künstlicher Werkstoff, durch Umwandlung von Zellulose hergestellt. 1897 gelang es, durch Umwandlung des Kaseins der Milch einen weiteren Plastwerkstoff, das Kunsthorn (Galalith) herzustellen. Da diese Stoffe „künstlich" erzeugt wurden, erhielten sie zunächst den Namen **Kunststoffe.** Die Kunststoffe dienten anfänglich als Ersatz für andere, in der Natur vorkommende Werkstoffe und wurden deshalb nur als Ersatzstoffe angesehen. So verwendete man zum Beispiel Zelluloid anstelle des bisher gebräuchlichen Schildpatts, das aus den Panzern großer Schildkröten gewonnen wird, zur Herstellung von Kämmen und anderen Gebrauchsartikeln. Später wurden dann aus Zelluloid auch viele andere Erzeugnisse hergestellt, wie zum Beispiel Spielwaren, Tischtennisbälle und fotografische Filme. Damit verlor das Zelluloid den Charakter eines Ersatzstoffes. Heute hat sich die Bezeichnung **Plaste** für die hochmolekularen synthetischen Werkstoffe durchgesetzt.
In den letzten Jahrzehnten wurden sehr viele neue Plaste mit sehr guten Eigenschaften hergestellt und Verfahren zu ihrer industriellen Produktion entwickelt.

Die Plaste sind hochwertige Werkstoffe, die in ihren Eigenschaften den Naturstoffen vielfach weit überlegen sind. Sie werden synthetisch aus einfach gebauten Verbindungen, in wenigen Fällen auch durch Umwandlung von Naturprodukten, hergestellt.

Die Plaste entsprechen der Forderung der modernen Technik nach Werkstoffen immer besserer Qualität in hervorragender Weise. Plaste zeigen nicht nur sehr gute, sondern auch gleichmäßige Eigenschaften. Ihre Zusammensetzung hängt nicht, wie dies bei vielen Naturstoffen der Fall ist, von den Zufälligkeiten des Wachstums und der Entstehung ab.
Die Bedeutung der Plaste als Werkstoffe nimmt ständig zu. In den Plastforschungsinstituten unserer Republik sind die Wissenschaftler bemüht, durch planmäßige und zielbewußte Arbeit die Eigenschaften der bekannten Plaste zu verbessern, weitere Anwendungsmöglichkeiten zu finden und neue Plasttypen zu entwickeln.

● *Nennen Sie Plastgegenstände, die im Haushalt, in den Verkehrsmitteln usw. verwendet werden, und beschreiben Sie deren äußere Beschaffenheit!*

Wir stellen das Verhalten von Plasten in der Wärme durch Versuche fest.

110

Wir halten ein Stück Polyvinylchlorid (PVC) einige Zentimeter über eine kleine Flamme.
Was stellen Sie fest?
Wir lassen das Stück Polyvinylchlorid erkalten und prüfen es dann auf seine Härte. Anschließend halten wir die Substanz erneut über die Flamme.
Welches Verhalten zeigt dieser Plast?
Wir wiederholen den Versuch mit einem Stück Phenoplast, zum Beispiel mit einem Stück einer Schalterkappe.
Was beobachten Sie in diesem Falle?

Die Plaste werden nach ihrem Verhalten beim Erwärmen in zwei Hauptgruppen eingeteilt, in Thermoplaste und Duroplaste.

Thermoplaste sind Stoffe, die sich durch Erwärmen beliebig oft in einen plastischen Zustand überführen lassen, also in der Wärme weich und formbar werden. Beim Erkalten werden die Thermoplaste wieder hart.
Duroplaste sind auf einer bestimmten Verarbeitungsstufe ebenfalls plastisch. Durch thermische oder andere Weiterbehandlung werden sie jedoch hart, unlöslich und unschmelzbar. Sie lassen sich durch Wiedererwärmung nicht mehr in den plastischen Zustand zurückversetzen.

● *Untersuchen Sie Plaste nach Versuch S 73!*
Gehören die untersuchten Proben zu den Thermoplasten oder zu den Duroplasten?
Stellen Sie das Verhalten von Plasten bei der Brennprobe nach Versuch S 74 fest!
Versuchen Sie, die Art der untersuchten Plaste auf Grund der bei den Proben gemachten Beobachtungen festzustellen!

Plaste sind hochmolekulare Verbindungen, die entweder aus gleichen oder aus verschiedenartigen, meist kleinen Molekülen erzeugt werden. Die Herstellung der hochmolekularen Stoffe kann durch zwei Arten von Reaktionen erfolgen, durch **Polymerisation** oder durch **Polykondensation.**

▶ **Die Plaste werden in Thermoplaste und Duroplaste eingeteilt; ihre Herstellung erfolgt durch Polymerisation oder Polykondensation.**

Polymerisationsprodukte

1. Polyvinylchlorid. Der zur Zeit am meisten produzierte Vertreter aus der Gruppe der Polymerisationsplaste ist das **Polyvinylchlorid,** kurz als **PVC** bezeichnet. Bei der industriellen Erzeugung von Polyvinylchlorid geht man von Kohle, Kalkstein, Wasser und Natriumchlorid aus. Aus Kohle und Kalkstein wird auf dem Wege über Koks und Branntkalk Kalziumkarbid hergestellt, das mit Wasser zu Äthin und Kalziumhydroxid umgesetzt wird. Äthin reagiert in Gegenwart von Katalysatoren mit Chlorwasserstoff unter Bildung von **Chloräthen $CH_2{=}CHCl$,** einer bei Raumtemperatur gasförmigen Verbindung.

$$CH{\equiv}CH + HCl \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_2{=}CHCl$$

Für Chloräthen wird in der Industrie meist noch die ältere Bezeichnung **Vinylchlorid** verwendet.
Die Umwandlung von Chloräthen (Vinylchlorid) zu Polyvinylchlorid ist eine Polymerisation. Zur Polymerisation sind Moleküle mit Mehrfachbindung befähigt. Die Mehrfachbindungen werden unter bestimmten Reaktionsbedingungen aufgerichtet. Dadurch entstehen Molekülreste (Radikale), die sich über Zwischenverbindungen zu Makromolekülen verknüpfen. Diese Prozesse verlaufen als **Kettenreaktionen.** Das soll am Beispiel der Polymerisation von Vinylchlorid veranschaulicht werden. Zunächst werden einzelne Moleküle aktiviert:

$$\underset{\text{Molekül}}{CH_2{=}CHCl} \rightarrow \underset{\text{Radikal}}{{-}CH_2{-}CHCl{-}}$$

Die Umwandlung von Molekülen in sehr reaktionsfähige Radikale wird als **Startreaktion** bezeichnet. Die so entstandenen Radikale verbinden sich mit weiteren Molekülen, wobei immer größere Gruppen mit freien Wertigkeiten entstehen:

$$\text{—CH}_2\text{—CHCl—} + \text{CH}_2\text{=CHCl} \rightarrow \text{—CH}_2\text{—CHCl—CH}_2\text{—CHCl—}$$

So werden fortlaufend weitere Einzelmoleküle angelagert. Dieser Vorgang heißt **Kettenwachstum.** Den Abschluß der Polymerisation bildet die **Abbruchreaktion,** bei der aus den entstandenen hochmolekularen Radikalen Makromoleküle gebildet werden. Häufig wird dieser Vorgang durch Platzwechsel eines Wasserstoffatoms verursacht:

$$\text{—CH}_2\text{—}\underset{\downarrow}{\text{CHCl}}\text{—CH}_2\text{—CHCl—} \cdots \text{—CH}_2\text{—}\underset{\downarrow}{\text{CHCl}}\text{—} \rightarrow$$

$$\text{CH}_2\text{=CCl—CH}_2\text{—CHCl—} \cdots \text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{Cl}$$

Polyvinylchlorid

Bei der Polymerisation werden einfach gebaute Moleküle ungesättigter Verbindungen unter Aufrichtung ihrer Mehrfachbindungen zu Makromolekülen verknüpft.

Die Polymerisation von Vinylchlorid zu Polyvinylchlorid kann auch durch folgende vereinfachte Gleichung wiedergegeben werden:

$$n\ \text{CH}_2\text{=CHCl} \xrightarrow{\text{Polymerisation}} (\text{—CH}_2\text{—CHCl—})_n$$

Polyvinylchlorid kann nach verschiedenen Verfahren hergestellt werden. In unserer Republik wird fast ausschließlich das **Emulsionsverfahren** angewendet.

In Autoklaven (Druckkesseln) wird Vinylchlorid zu einer wäßrigen Lösung, die die Katalysatoren und andere Zusatzstoffe enthält, gegeben und das Gemisch auf 45 °C angewärmt. Bei dieser Temperatur beginnt die Polymerisation und verläuft unter Wärmeentwicklung weiter, so daß das Reaktionsgemisch ständig gekühlt werden muß. Nach 20 bis 24 Stunden ist die Polymerisation beendet. Aus den Kesseln wird eine weiße Emulsion mit etwa 50% Trockensubstanz abgezogen, aus der durch Zerstäubungstrocknung das Polyvinylchlorid als weißes Pulver gewonnen wird.

Das so hergestellte PVC-Pulver ist kein einheitliches Produkt, sondern ein Gemisch von Polyvinylchloriden verschiedener Kettenlänge, bei denen der Faktor n der Formel $(\text{—CH}_2\text{—CHCl—})_n$ zwischen 1000 und 2500 liegt.

PVC wird aus Chloräthen (Vinylchlorid) durch Polymerisation, hauptsächlich im Emulsionsverfahren, hergestellt.

PVC gehört zu den Thermoplasten. Es wird in der Wärme weich und plastisch. PVC-Pulver kann daher durch Temperatur-Druck-Behandlung verformt werden. Erhitzt man PVC auf 150 bis 200 °C, so kann es zu dünnen Folien ausgewalzt werden. Platten bis 20 mm Dicke werden durch Preßschweißung hergestellt. Dabei legt man mehrere Folien übereinander und preßt sie unter gleichzeitiger Erwärmung zu einem Stück zusammen. Erweicht man PVC durch Erhitzen auf etwa 160 °C, so läßt es sich in Strangpressen zu Stäben oder Rohren verformen (Abb. 106 und 107). Die so hergestellten Formteile bestehen aus reinem PVC. Sie sind bei Raumtemperatur hart und werden als **Hart-PVC** bezeichnet.

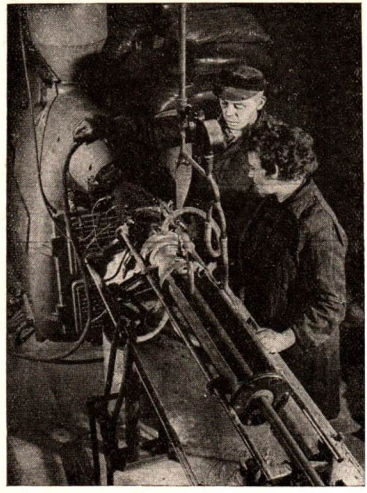


Abb. 106 Strangpresse
für PVC-Rohre
im VEB Elektrochemisches Kombinat
Bitterfeld

PVC ist ein Thermoplast und wird bei 150 bis 200 °C zu Halbzeug und Fertigfabrikaten geformt.

Wir stellen einige Eigenschaften von Hart-PVC durch Prüfungen fest:

- *Stellen Sie fest, ob Hart-PVC Geruch besitzt, welche Farbe es aufweist und wie es sich beim Einbringen in die Flamme verhält!*

111

Wir erhitzen ein Stückchen Hart-PVC in einem Reagenzglas über kleiner Flamme, bis Zersetzung eintritt.

Welche Veränderungen des Plastes stellen Sie fest?

Die beim Erhitzen aus dem Reagenzglas entweichenden Dämpfe prüfen wir mit blauem Lackmuspapier. Dann halten wir neben die Reagenzglasöffnung eine geöffnete Flasche, die konzentrierte (25%ige) Ammoniaklösung enthält.

Was beobachten Sie?

Was schließen Sie aus Ihrer Beobachtung?

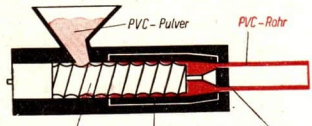


Abb. 107 Schematische Darstellung des Strangpressens von Hart-PVC

112

Wir schneiden aus einer Hart-PVC-Folie von etwa 1 mm Stärke acht schmale Streifen. Dann füllen wir sieben Reagenzgläser zu zwei Dritteln mit Wasser, 50%iger Natronlauge, 50%iger Schwefelsäure, konzentrierter Salzsäure, Benzol, Toluol und Zyklohexanon. Anschließend geben wir in die Flüssigkeiten je einen Streifen Hart-PVC, verschließen die Gläser mit Stopfen und lassen sie mindestens eine Woche stehen. Ein PVC-Streifen wird in einem leeren Reagenzglas zur Kontrolle aufgehoben. Nach der angegebenen Zeit werden die PVC-Streifen, soweit keine Lösung eingetreten ist, aus den Flüssigkeiten genommen, gründlich mit Wasser gespült, abgetrocknet und mit dem nicht behandelten Streifen verglichen.

Stellen Sie fest, gegen welche Chemikalien Hart-PVC widerstandsfähig ist!

In welchen Fällen sind Quellungen beziehungsweise Lösung des Hart-PVC zu beobachten?

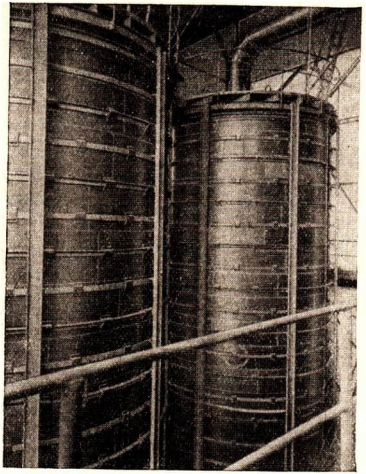


Abb. 108 Waschtürme aus Hart-PVC-Platten in der Schwefelsäurefabrik des VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz

Hart-PVC ist farblos bis heilbraun, geruchlos, geschmackfrei, schwer entflammbar und in der Kälte in vielen Lösungsmitteln unlöslich. Beim Erhitzen wird es unter Schwarzbraunfärbung und Bildung von Chlorwasserstoff zersetzt. Hart-PVC ist beständig gegen viele Chemikalien, wie Säuren, Laugen, Mineralöle usw. und wird daher in der chemischen Industrie zur Herstellung von säurefesten Rohrleitungen, Apparaten, Armaturen, Dichtungen, zum Auskleiden von Reaktionsgefäßen sowie als Austauschstoff für korrosionsbeständige Edelstähle und Buntmetalle verwendet (Abb. 108). Auch Dachrinnen, Regenfallrohre, Abwasser- und Wasserleitungsrohre sowie Materialien für die sanitäre Installation werden aus Hart-PVC hergestellt. Hart-PVC ist ein guter elektrischer Isolator. Wegen dieser Eigenschaft ist es für elektrotechnische Zwecke innerhalb bestimmter Temperaturbereiche gut geeignet. In der Nahrungs- und Genußmittelindustrie wird Hart-PVC zur Herstellung von Dosen und anderen Verpackungsmaterialien, Verschlußstopfen für Flaschen, ferner in Form von Bier- und Milchleitungen seit vielen Jahren mit Erfolg angewendet.

Hart-PVC ist chemisch sehr widerstandsfähig, ein guter elektrischer Isolator und völlig ungiftig. Es ist hitzeempfindlich und erweicht oberhalb 70 °C.

Versetzt man PVC mit bestimmten Stoffen, die in der Industrie als **Weichmacher** bezeichnet werden, so erhält man weichgummiartige Massen, die unter dem Namen **Weich-PVC** (früher Igelit) bekannt sind. Zum Beweis, daß der besondere Charakter des Weich-PVC auf dem Gehalt von Weichmachern beruht, führen wir einen Versuch durch:

113

Von Weich-PVC (alte Tischdecke) schneiden wir zwei gleiche Streifen. Einen Streifen geben wir in ein großes Reagenzglas, füllen das Glas zu zwei Dritteln mit Methanol und erhitzen es bis zum Sieden der Flüssigkeit. (Vorsicht! Methanol ist brennbar!) Dann verschließen wir das Glas mit einem Stopfen und schütteln es, ohne weiter zu erhitzen, einige Minuten. Anschließend gießen wir die Flüssigkeit weg und wiederholen die Behandlung mit frischem Methanol. Zum Schluß quetschen wir die Plastprobe zwischen Filterpapier ab, lassen sie trocknen und vergleichen sie dann mit dem Streifen aus nicht behandeltem Weich-PVC.

Was stellen Sie fest?

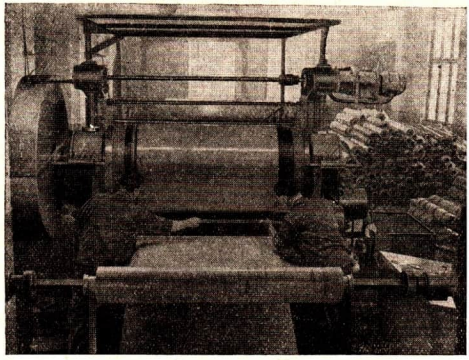


Abb. 109 Kalander zur Herstellung von PVC-Fußbodenbelag im VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld

Aus Weich-PVC können durch organische Lösungsmittel die Weichmacher herausgelöst werden, wodurch das Material wieder hart wird. Zur Herstellung von Weich-PVC wird das pulverförmige Hart-PVC mit den meist flüssigen Weichmachern (zum Beispiel bestimmten Estern) in heizbaren Knetmaschinen gemischt und dann auf Kalandern zu Folien ausgewalzt (Abbildungen 109 und 110). Weich-PVC kann in den verschiedensten Weichheitsgraden hergestellt werden und hat auf Grund seiner vorzüglichen mechanischen Eigenschaften vielseitige Anwendung gefunden. Aus Weich-PVC werden Regenmäntel, Möbelbezüge, Fußbodenbeläge, Folien für Dekorationszwecke, Schürzen, Stiefel, Kabelisolierungen, Dichtungsmaterial. Schläuche, Schuhsohlen, Treibriemen, Gürtel, Täschnerwaren und viele andere Artikel angefertigt.

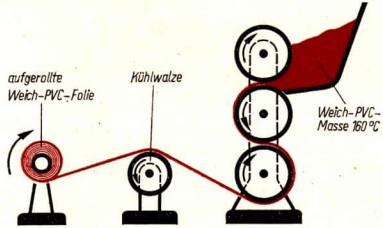


Abb. 110 Schematische Darstellung eines Kalanders

Preßt man Weich-PVC auf Textilgewebe auf, so erhält man Stoffe, die erheblich fester als die trägerlosen Folien sind und die vor allem als Schutzkleidung, Regenmäntel und Lederaustauschstoffe (Kunstleder) verwendet werden. Für die Arbeiter unserer chemischen Industrie wird Arbeitsschutzkleidung aus Weich-PVC hergestellt.

Weich-PVC wird aus pulverförmigem Polyvinylchlorid und Weichmachern in heizbaren Knetmaschinen hergestellt und vielseitig verwendet.

Hart-PVC und Weich-PVC werden auch als glasklares Material hergestellt, das mit verschiedenen Farbtönen in Form von Platten und Folien in den Handel kommt. **Glasklares PVC** dient zur Herstellung von Signalanlagen, Windschutzscheiben und als Material für die Kartographie.

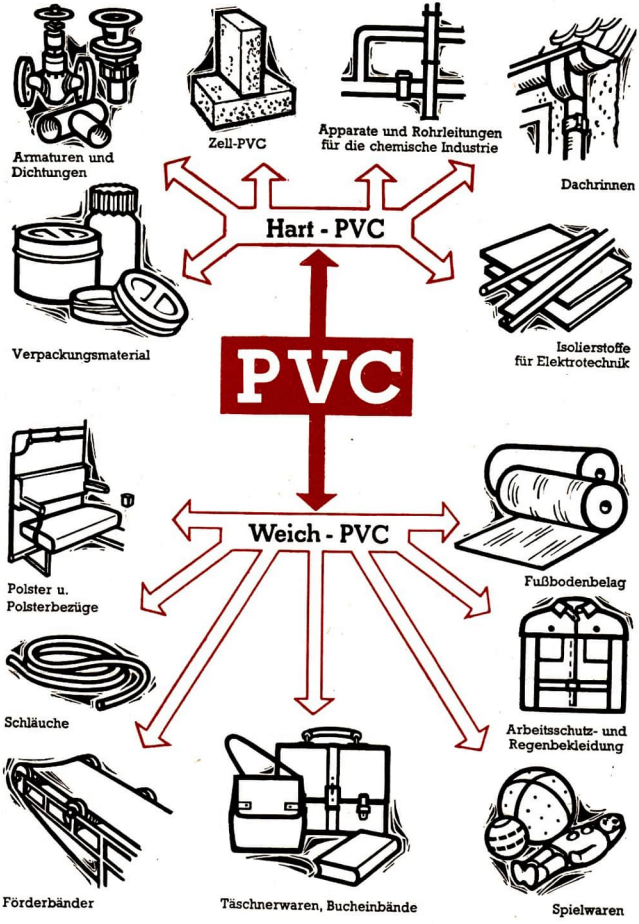


Abb. 111 Verwendung von PVC

Ein besonderes Erzeugnis der PVC-Industrie ist das **Zell-PVC.** Es gibt organische Verbindungen, die beim Erhitzen auf Temperaturen, die das PVC ohne Zersetzung verträgt, unter Entwicklung von Stickstoff zerfallen. Wird nun PVC mit solchen Stoffen gemischt und erhitzt, so entsteht ein Material, das unzählige kleine Hohlräume aufweist. Infolge dieser Zellstruktur hat Zell-PVC eine sehr niedrige Dichte (kleiner als die von Kork).
Hart-Zell-PVC wird aus diesem Grunde, aber auch wegen seiner wasserabstoßenden Eigenschaften und seiner schweren Entflammbarkeit, vorzugsweise im Fahrzeug- und Schiffbau als Isoliermaterial (meist in Form von Hohlplatten) eingesetzt. Es dient auch zur Herstellung von Schwimmern für Fischnetze, Rettungsringen, Schwimmwesten und zu anderen Zwecken.
Weich-Zell-PVC ist ein weiches, elastisches Plattenmaterial, das für Polsterzwecke, als Dichtungsmaterial und zur Herstellung von Hausschuhen verwendet wird.

Zell-PVC hat eine geringe Dichte und wird deshalb als Isoliermaterial im Fahrzeug- und Schiffbau und zu anderen Zwecken verwendet.

In Tabelle 17 sind die wichtigsten PVC-Handelsprodukte unserer volkseigenen Industrie zusammengestellt.
In Abbildung 111 ist die Verwendung von PVC dargestellt. PVC beziehungsweise PVC-Erzeugnisse werden in unserer Republik im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, im VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld und imVEB Eilenburger Celluloid-Werk hergestellt. PVC hat den Hauptanteil an der Plasterzeugung unserer

Tabelle 17. PVC-Handelsprodukte

Produkt	Handelsbezeichnung	Hersteller
Hart-PVC	PVC-Schkopau	VEB Chemische Werke Buna, Schkopau
	Ekadur	VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld
	Decelith H	VEB Eilenburger Celluloid-Werk
Weich-PVC	PVC-Schkopau	VEB Chemische Werke Buna, Schkopau
	Ekalit	VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld
	Decelith W	VEB Eilenburger Celluloid-Werk
Glasklares PVC	Ekalon	VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld
Zell-PVC	Ekazell	VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld

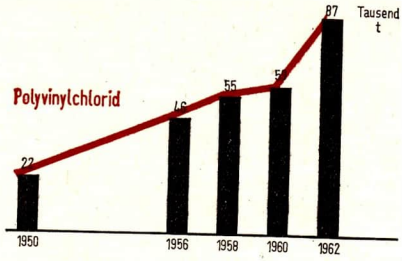


Abb. 112 Entwicklung der PVC-Produktion der Deutschen Demokratischen Republik

Republik. Die Produktion von PVC konnte von 1950 bis 1962 auf etwa das Vierfache gesteigert werden (Abb. 112).

2. Polyäthylen. Polyäthylen ist ein besonders hochwertiger Plast, der durch Polymerisation von Äthen (Äthylen) entsteht:

$$n\,CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{\text{Polymerisation}} (-CH_2-CH_2-)_n$$

Polyäthylen

Die Polymerisation kann so durchgeführt werden, daß man flüssige Produkte erhält, die als Schmieröle Verwendung finden. Führt man die Polymerisation des Äthens bei Drücken von 1000 bis 1500 at und bei Temperaturen von 180 bis 220 °C durch, so erhält man das **Polyäthylen H** (Hochdruck-Polyäthylen). Dieses Produkt ist ein weißer, weicher Thermoplast. Polyäthylen H schmilzt bei 105 bis 115 °C, hat eine niedrige Dichte, ist biegsam und mechanisch fest. Es ist beständig gegen Laugen, Säuren, Lösungsmittel und andere Chemikalien. Polyäthylen H ist ferner ein sehr guter Isolator für Wärme und Elektrizität.

Äthen kann bei Verwendung bestimmter Katalysatoren auch drucklos beziehungsweise bei niedrigen Drücken polymerisiert werden. Man erhält bei diesem Verfahren das **Polyäthylen N** (Niederdruck-Polyäthylen), das eine etwas größere Steifheit und Härte sowie einen etwas höheren Schmelzbereich (125 bis 135 °C) aufweist.

Aus Polyäthylen H und N werden zum Beispiel Haushaltgeräte (Abb. 113), Rohre, Folien und Behälter für Verpackungszwecke, unzerbrechliche Flaschen (für Chemikalien, Lacke, Arzneimittel, Kosmetika und Lebensmittel) hergestellt. Der besondere Vorteil des Polyäthylen-Verpackungsmaterials liegt darin, daß es unzerbrechlich ist und sich auf Grund seiner hervorragenden Elastizität als Leergut auf kleinem Raum zusammendrücken läßt.



Abb. 113 Herstellung von Polyäthylen-Eimern im VEB Chemische Werke Buna Schkopau

Polyäthylen-Rohre lassen sich wie Kabel auf eine Trommel aufwickeln. Polyäthylen hat ferner als Isolierstoff für die Elektrotechnik große Bedeutung.
Polyäthylen H und N werden gegenwärtig im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" und im VEB Chemische Werke Buna Schkopau erzeugt. Mit der Entwicklung der Petrolchemie in unserer Republik in den nächsten Jahren wird auch die Großproduktion von Polyäthylen aufgenommen, so daß dann dieser Werkstoff in beträchtlichen Mengen eingesetzt werden kann.

Polyäthylen ist ein sehr widerstandsfähiger Plast, der vor allem als Material für Haushaltgeräte und Verpackungen und als Isolierstoff für die Elektrotechnik eingesetzt wird.

3. Polystyrol. Ein weiteres wichtiges Polymerisat ist das Polystyrol. Ausgangsstoffe für die Herstellung von Polystyrol sind Benzol und Äthen.

Aus diesen beiden Verbindungen erzeugt man zunächst Styrol,



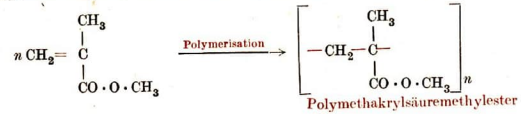
das durch Polymerisation zu Polystyrol umgewandelt wird:



Polystyrol ist eine glasklare, farblose bis hellfarbige Masse. Es ist geruchlos, geschmackfrei, besitzt gute mechanische Festigkeit und ist ein guter elektrischer Isolator. Polystyrol gehört zu den Thermoplasten. Es erweicht bei etwa 70 °C und kann durch Spritzguß verformt werden. Man erzeugt aus Polystyrol Formteile für die Industrie (Platten, Stäbe, Rohre, Teile für die Elektroindustrie, den Kraftfahrzeugbau, die Möbelindustrie usw.) und zahlreiche Artikel des Massenbedarfs, zum Beispiel Becher, Kämme, Brillengestelle, Spielwaren und Haushaltgeräte. Polystyrol wird bei uns im VEB Chemische Werke Buna Schkopau hergestellt.

4. Polymethakrylsäuremethylester. Dieser Plast ist eine durchsichtige, farblose Masse, die wie Glas aussieht und daher auch als **organisches Glas** bezeichnet wird.

Polymethakrylsäuremethylester entsteht durch Polymerisation:



Polymethakrylsäuremethylester wird im VEB Stickstoffwerk Piesteritz hergestellt und kommt unter der Bezeichnung **Piacryl P** in den Handel.

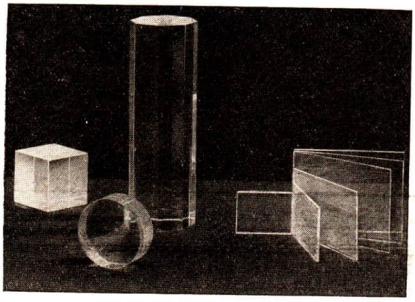


Abb. 114 Platten und Profile aus Piacryl P

Piacryl P wird farblos oder farbig, glasklar oder milchglasähnlich, in Platten und verschiedenen Profilen geliefert (Abb. 114). Es hat eine wesentlich kleinere Dichte als Silikatglas. Sie beträgt nur 1,18 g/cm³. Piacryl P ist völlig splittersicher und kann, da es ein Thermoplast ist, durch Erwärmung verformt werden. Aber auch die spanabhebende Bearbeitung ist möglich. Piacryl P ist sehr vielseitig verwendbar und wird als splittersicheres Glas im Fahrzeug-, Flugzeug-, Waggon- und Schiffbau, ferner in der Werbetechnik und zur Herstellung von Beleuchtungskörpern und Gegenständen des täglichen Gebrauches eingesetzt.
Andere Piacrylsorten dienen zur Anfertigung von Zahnprothesen, Kronen, Brücken und Füllungen in der Zahnmedizin.

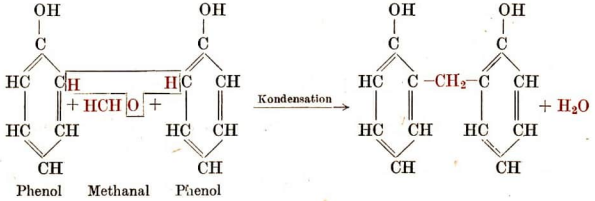
5. Polyakrylnitril. Ein weiterer Plast aus der Gruppe der Polymerisationsprodukte ist Polyakrylnitril $(-CH_2-\underset{\displaystyle CN}{\underset{|}{CH}}-)_n$. Da dieses Polymerisat nur zur Erzeugung von Faserstoffen dient, wird es im Kapitel „Chemiefasern" behandelt.

Polykondensationsprodukte

1. Phenoplaste. Die Phenoplaste werden durch **Polykondensation** von Phenol oder seinen Homologen und Methanal hergestellt. Auch hier entstehen wie bei der Polymerisation aus einfach gebauten Molekülen im Verlaufe der Reaktion Makromolekülе. Während die Polymerisation jedoch ohne Bildung von Nebenprodukten abläuft, entstehen bei einer Vereinigung von Grundmolekülen zu Makromolekülen durch Polykondensation gleichzeitig noch andere Stoffe, zum Beispiel Wasser.
Die Polykondensation ist eine **Gleichgewichtsreaktion.** Zum Abbruch der Reaktion kommt es bei Einstellung des Gleichgewichtes.
Zwischen Polymerisations- und Polykondensationsreaktionen bestehen grundsätzliche Unterschiede. So entstehen zum Beispiel hochmolekulare Polymerisate auch in wäßriger Lösung. Dagegen muß bei der Polykondensation das Wasser weitgehend aus dem Reaktionsgemisch entfernt werden. Dieser Umstand ist für die industrielle Herstellung von hochmolekularen Kondensationsprodukten ungünstig, da das Wasser aus den zähen Massen, die als Zwischenprodukte auftreten, nur schwierig zu entfernen ist.

Bei der Polykondensation werden meist einfach gebaute Ausgangsstoffe zu Makromolekülen verknüpft, wobei auch andere Stoffe, zum Beispiel Wasser, als Nebenprodukte entstehen.

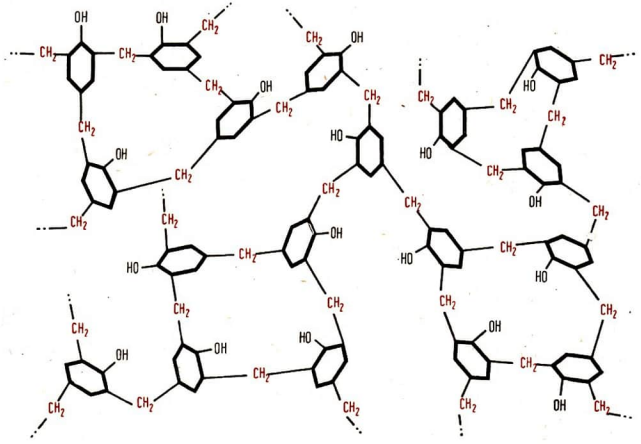
Bei der Herstellung von Phenoplasten aus Phenol und Methanal entsteht zunächst ein Zwischenprodukt:



Das Zwischenprodukt reagiert mit weiterem Methanal und Phenol. Vereinfacht läßt sich dieser Vorgang durch folgende Reaktionsgleichung veranschaulichen:



In entsprechender Weise läuft dann die Kondensation weiter. Dabei treten nicht nur lineare, sondern auch Verknüpfungen in allen drei Raumausdehnungen auf:



Die Phenolmoleküle sind also jeweils durch —CH_2—-Brücken miteinander verknüpft. An die Stelle des Phenols können auch Phenolhomologe treten.

114

Wir geben in ein Reagenzglas etwa 2 cm hoch Phenol (keinesfalls mehr), fügen so viel 30- bis 40%ige Methanallösung hinzu, daß das Phenol eben von der Flüssigkeit bedeckt ist und erwärmen vorsichtig, bis sich die Festsubstanz gelöst hat. Nun stellen wir das Glas mit der noch warmen Lösung in ein Reagenzglasgestell ab und fügen 3 Tropfen konzentrierte Salzsäure hinzu.

Was beobachten Sie?

Vorsicht! Die Reaktion verläuft oft sehr heftig! Aus mindestens 1 m Entfernung beobachten!

Beim Vermischen von Phenol und Methanallösung verläuft die Polykondensation sehr langsam. Setzt man jedoch einen stark wirksamen Katalysator zu, zum Beispiel Wasserstoffionen durch Zugabe von Salzsäure, so wird die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht. Das ursprünglich dünnflüssige, klare Reaktionsgemisch trübt sich und wandelt sich manchmal fast schlagartig in ein dickflüssiges bis festes Produkt um. Da die Polykondensation ein exothermer Vorgang ist, kommt es bei einem sehr schnellen Ablauf der Reaktion zum Verspritzen des Reaktionsgemisches. Je nach dem Mischungsverhältnis Phenol : Methanal bilden sich verschiedene Phenoplaste.

● *Führen Sie die Bildung eines Phenoplastes nach Versuch S 75 durch!*

▶ **Phenoplaste werden aus Phenolen oder Phenolhomologen und Methanal erzeugt. Die Phenoplastbildung ist eine Polykondensation.**

Bei der technischen Herstellung von Phenoplasten wählt man solche Reaktionsbedingungen, daß die Polykondensation nicht zur Endstufe, also zum fertigen Duroplast, verläuft, sondern daß sich harzartige Produkte, die **Phenolharze,** bilden, die löslich und schmelzbar oder nur warmbildsam (thermoplastisch) sind.
Wir stellen ein Zwischenprodukt einer Polykondensation in einem Versuch her:

115

Wir versetzen in einem Reagenzglas eine etwa 4 cm hohe Schicht von Phenol mit so viel 30- bis 40%iger Methanallösung, daß das Phenol eben bedeckt ist, und fügen einige Tropfen 50%iger Natronlauge hinzu. Dann lassen wir das Gemisch über einer kleinen Flamme so lange sieden, bis die Lösung zähflüssig wird. Wir unterbrechen das Erhitzen, wenn Blasen auf der Oberfläche der Flüssigkeit einige Zeit stehenbleiben. Anschließend kühlen wir das Reaktionsprodukt ab.

Was beobachten Sie?

Je nach dem Mischungsverhältnis von Methanal und Phenol und der Dauer des Erhitzens erhalten wir Produkte, die beim Abkühlen flüssig bleiben oder fest werden. Für die Darstellung von Phenoplasten können an Stelle von Methanal auch Stoffe verwendet werden, die beim Erhitzen Methanal abspalten, zum Beispiel Paraformaldehyd.

● *Was ist Paraformaldehyd, und unter welchen Bedingungen entsteht er?*
Führen Sie die Bildung eines Phenoplast-Zwischenproduktes mit Hilfe von Paraformaldehyd nach Versuch S 76 durch!

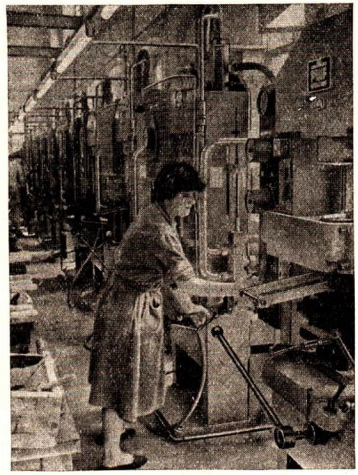


Abb. 115 Preßautomaten für Preßmassen im VEB Plastik-Werk Berlin

Die Phenoplast-Zwischenprodukte können durch Zugabe von Katalysatoren (zum Beispiel Wasserstoffionen) beziehungsweise durch Erhitzen ausgehärtet, das heißt in den festen Phenoplast umgewandelt werden.

116

Wir erwärmen das Reagenzglas mit dem Phenoplast-Zwischenprodukt von Versuch 115 (oder Versuch S 76) und fügen dann einige Tropfen konzentrierte Salzsäure hinzu (Vorsicht!).

Welche Veränderungen im Reagenzglas können Sie beobachten?

Zur Herstellung von Formteilen werden die Phenoplast-Zwischenprodukte (Phenolharze) – meist nach Zusatz von Füllstoffen – geformt und durch Wärme gehärtet. Dabei werden sie durch Weiterführung der Polykondensation in nicht quellfähige, unlösliche und unschmelzbare Stoffe umgewandelt.

Die Phenoplaste sind Duroplaste und werden für die verschiedensten Zwecke verwendet.

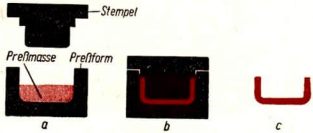


Abb. 116 Schematische Darstellung der Preßstoffherstellung

Als **Gießharze** oder **Edelkunstharze** bezeichnet man Phenolharze, die in Formen gegossen und dann durch Erwärmen gehärtet werden. Auf diese Weise lassen sich Platten, Stangen, Rohre und andere Profilteile herstellen, die durch Sägen, Drehen, Bohren, Schleifen usw. bearbeitet werden können. Edelkunstharze besitzen hohe Festigkeit. Sie dienen vor allem zur Herstellung von Gebrauchs- und Schmuckartikeln, wie Griffen, Knöpfen, Halsketten usw.

Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete der Phenoplaste ist die Herstellung von **Preßmassen.** Sie entstehen durch Mischen von Phenolharzen mit Füllstoffen (Holzmehl, Zellstoff, Textilschnitzel), Farbstoffen und anderen Zusätzen. Die pulverförmigen Preßmassen werden in Formen gefüllt und bei etwa 160 °C und unter 200 bis 800 at Druck zu den gewünschten Formteilen gepreßt (Abb. 115 und 116). Dabei wird die Masse durch Weiterführung des Kondensationsvorganges gehärtet. Das ausgehärtete Material wird dann als **Preßstoff** bezeichnet.

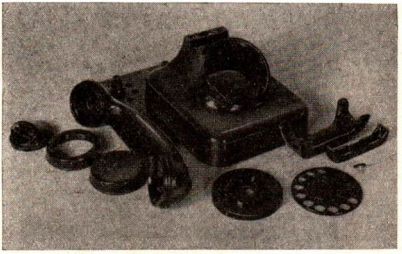


Abb. 117 Fernsprechapparateteile aus Phenoplast-Preßstoff

Phenoplast-Preßstoffteile besitzen eine Reihe ausgezeichneter Eigenschaften. Sie sind gute Isolatoren für Elektrizität und Wärme, sie sind feuchtigkeitsbeständig, sie erreichen die Härte mancher Metalle (zum Beispiel die des Kupfers) und haben trotzdem nur eine geringe Dichte (etwa 1,25 g/cm³). Sie sind ferner wärmebeständig und verkohlen ohne vorheriges Schmelzen erst bei Temperaturen von über 300 °C. Phenoplast-Preßstoffe sind beständig gegen vielerlei Chemikalien, jedoch nicht geruchlos und nicht geschmackfrei. Aus Phenoplast-Preßmassen, die in unserer Republik vor allem unter der Bezeichnung **Plastadur-Preßmassen** in den Handel kommen, werden zahlreiche Teile hergestellt, so zum Bespiel Elektroinstallationsmaterial, Fernsprechapparateteile (Abb. 117), Möbelbeschläge, Material für die sanitäre Installation, Fahrzeugausstattungsteile, Maschinenteile, Haushaltgeräte, Bürobedarf, Radiogehäuse, Spielwaren, Dosen und Schachteln für Verpackungszwecke. Bei den im VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau hergestellten Kleinwagen „Trabant" (Abb. 118) besteht fast die gesamte Karosserie aus einem Phenoplast-Preßstoff.
Phenolharze dienen ferner als Leime zur Herstellung von Sperrhölzern und Schichthölzern sowie als kittartige Bindemittel in der Pinsel- und Bürstenindustrie und in der Elektroindustrie zum Verbinden von Glasteilen und Sockeln der Glühlampen, Leuchtstoffröhren und Rundfunkröhren.

In letzter Zeit wurde in unserer Republik von einem Ingenieur-Kollektiv ein neuartiger Phenoplastwerkstoff entwickelt, der die Bezeichnung **Glakresit** erhalten hat. Zu seiner Herstellung werden Glasfasergewebe mit einem Phenoplast-Gips-Gemenge getränkt und in der Wärme unter Druck ausgehärtet. Glakresit hat eine geringe Dichte, ist witterungsbeständig, schwer brennbar und hält hohen mechanischen Beanspruchungen stand. Glakresit wird in Zukunft als Ausbaumaterial, besonders im Schiffbau, als Werkstoff im Maschinenbau, in der Elektroindustrie, in der Möbelindustrie und zu vielen anderen Zwecken verwendet werden.

In Abbildung 119 ist die Verwendung der Phenoplaste dargestellt.



Abb. 118
Personenkraftwagen „Trabant"

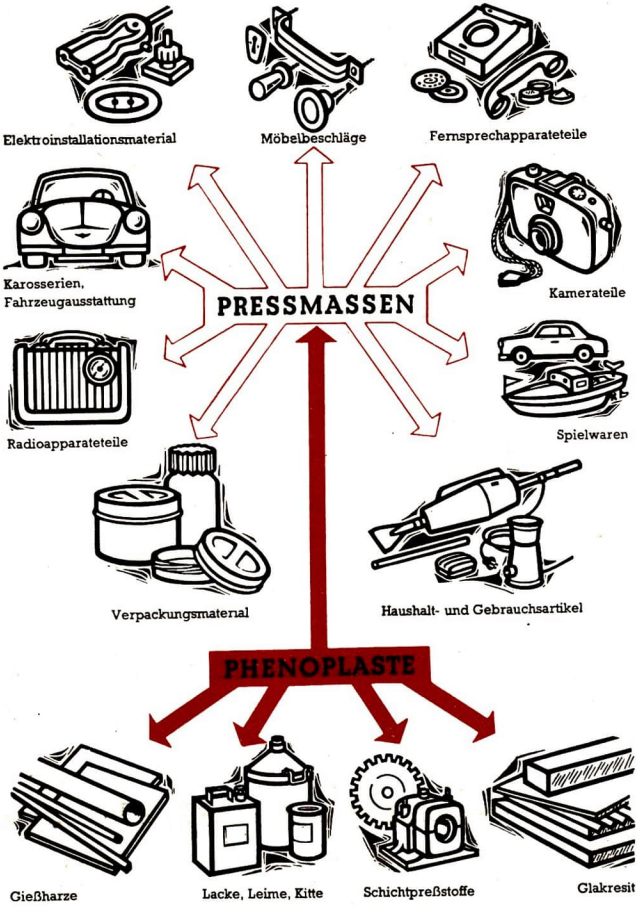


Abb. 119 Verwendung von Phenoplasten

Phenoplaste werden in der Deutschen Demokratischen Republik im VEB Plasta Kunstharz- und Preßmassefabrik Erkner, im VEB Plasta Kunstharz- und Preßmassefabrik Espenhain und im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" hergestellt.

Phenoplaste sind Polykondensationsprodukte und gehören zur Gruppe der Duroplaste. Sie besitzen sehr gute physikalische und chemische Eigenschaften und werden zu Formteilen für die Industrie und zu Gegenständen des Massenbedarfs verarbeitet.

2. Aminoplaste. Eine andere, ebenfalls wichtige Gruppe von Polykondensationsprodukten sind die Aminoplaste. Sie sind Duroplaste und werden aus verschiedenen Aminen und Methanal hergestellt.

Amine sind Verbindungen mit der funktionellen Gruppe $-NH_2$, der Aminogruppe. Diese Gruppe reagiert mit Methanal unter Wasserabspaltung:

$$n\,R\cdot NH_2 + n\,HCHO \xrightarrow[\text{Polykondensation}]{\text{Katalysator}} NH{-}CH_2{-}N(R){-}CH_2{-}N(R){-}CH_2{-}\ldots + n\,H_2O$$

Amin — Methanal — Aminoplast

In den angegebenen Formeln stellt R verschiedene Molekülreste dar. In der chemischen Industrie geht man bei der Herstellung von Aminoplasten entweder vom Harnstoff $CO(NH_2)_2$ oder von komplizierter aufgebauten Verbindungen, die ebenfalls Aminogruppen enthalten (zum Beispiel dem Melamin) aus.

Die Aminoplaste sind farblose, weiße oder hellfarbige Massen. Sie sind geruchlos und geschmackfrei, wetter- und wasserbeständig. Aminoplaste sind unschmelzbar und unlöslich. Sie besitzen eine geringe Dichte (etwa 1,5 $g \cdot cm^{-3}$), gute mechanische Festigkeiten und sind ausgezeichnete Isolatoren gegen Elektrizität und Wärme.

Aminoplaste werden im VEB Stickstoffwerk Piesteritz hergestellt und kommen als **Meladur-Preßmassen** (Ausgangsstoff: Melamin), **Didi-Preßmassen** (Ausgangsstoff: Dizyandiamid) und als Isolierschaumstoff **Piatherm** (Ausgangsstoff: Harnstoff) in den Handel. Aus Meladur stellt man zum Beispiel

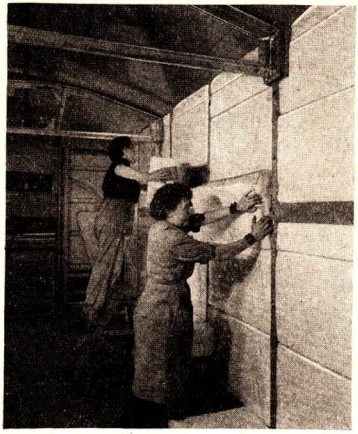


Abb. 120 Auskleiden eines Kühlwagens mit Piatherm im VEB Waggonbau Dessau Zum Schutz gegen Feuchtigkeit sind die Piathermplatten mit Perfol eingeschlagen

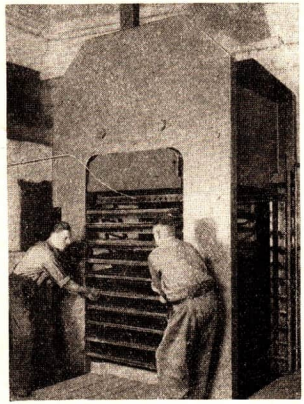


Abb. 121 Etagenpresse zur Herstellung von Schichtpreßstoffen im VEB Plasta Preßstoffwerk Köppelsdorf

Tür- und Möbelbeschläge, Material für die sanitäre Installation, Elektroinstallationsmaterial, Fahrzeugausstattungsteile, Bürobedarf, Haushaltgeräte, Spielwaren und Verpackungsbehältnisse her.
Didi-Preßmasse wird zu Haushaltgeräten, Möbelbeschlägen, Bürobedarf, Spielwaren, Verpackungsbehältnissen für Lebensmittel, Arzneimittel und Kosmetika verarbeitet.
Der Isolierschaumstoff Piatherm wird beim Bau von Kühlfahrzeugen und Kühlanlagen verwendet (Abb. 120). Er dient ferner als Wärmeschutz und als schalldämpfende Masse für Wohn-, Kultur- und Industriebauten.

3. Schichtpreßstoffe. Besondere Bedeutung haben die auf Basis von Duroplasten erzeugten Schichtpreßstoffe. Zu ihrer Herstellung tränkt man Papier oder Textilgewebe mit Lösungen von Phenolharzen oder Melaminharzen und trocknet die so vorbehandelten Materialien. Anschließend werden die imprägnierten Stoffe in mehreren Lagen aufeinandergeschichtet und unter Erwärmung stark gepreßt (Abb. 121 und 122). Dabei werden sämtliche Schichten zu einem Stück verbunden und gleichzeitig gehärtet. Auf diese Weise erzeugt man aus Baumwoll- oder Zellwollgeweben **Hartgewebe** und aus Papierbahnen **Hartpapier.** Schichtpreßstoffe sind besonders widerstandsfähige Werkstoffe. Aus Hartgewebe bestehende Lagerschalen für Wellenlager besitzen eine größere Lebensdauer als die üblichen Weißmetall- und Bronzelager und können mit Wasser geschmiert werden. Aus dem gleichen Material hergestellte Zahnräder laufen (im Gegensatz zu Metallzahnrädern) fast geräuschlos. Schichtpreßstoffe dienen ferner zur Herstellung anderer Maschinenteile, als Isolierstoff für die Elektro- und Fernmeldetechnik, in Form von Platten für die Möbelindustrie, den

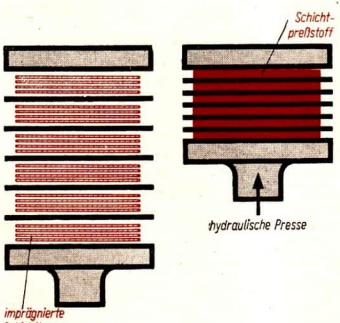
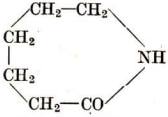


Abb. 122 Schematische Darstellung der Schichtpreßstoffherstellung

Fahrzeug-, Flugzeug und Schiffbau. Schichtpreßstoffe werden auch für Dichtungen, Wandbekleidungen und zu anderen Zwecken verwendet.
In unserer Republik werden Schichtpreßstoffe im VEB Plasta Preßstoffwerk Köppelsdorf, im VEB Schichtpreßstoffwerk Micheln, im VEB Preßstoffwerk „Dr. Erani" Spremberg und anderen Werken hergestellt. Die von unserer volkseigenen Plastindustrie hergestellten Hartgewebe kommen unter der Bezeichnung **Plastatex,** die Hartpapiere als **Plastacart** und **Sprelacart** in den Handel.

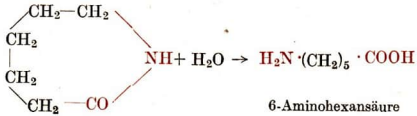
Schichtpreßstoffe bestehen aus Papier oder Geweben und Phenoplasten oder Aminoplasten. Sie sind besonders widerstandsfähige und daher vielseitig verwendete Werkstoffe.

4. Polyamide. Die Polyamide sind Polykondensationsprodukte, die zu den Thermoplasten gehören.
Das vom VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" unter der Bezeichnung **„Miramid"** in den Handel gebrachte Polyamid und die **„Igamid-Schnitzel"** des VEB Filmfabrik Wolfen werden aus einer ringförmigen Verbindung, dem **ε-Aminokaprolaktam** erzeugt.



ε-Aminokaprolaktam

Dieser Stoff wird über mehrere Zwischenverbindungen aus Phenol hergestellt. Die Herstellung von Polyaminokaprolaktam ist eine besondere Form der Polykondensation.
Das ε-Aminokaprolaktam wird geschmolzen und dann im Autoklaven unter Druck mit einer bestimmten Menge Wasser zur Reaktion gebracht. Das Wasser wandelt das ε-Aminokaprolaktam unter Aufspaltung des Ringsystems in **6-Aminohexansäure** (ε-Aminokapronsäure) um.



6-Aminohexansäure

Diese Aminosäure reagiert sofort unter Wasserabspaltung mit weiteren Molekülen Aminosäure (ähnlich wie wir dies bei der Bildung von Polypeptiden kennengelernt haben), wobei sich die einzelnen Teile kettenförmig zu Makromolekülen verknüpfen.

$$\ldots\text{—NH—}(CH_2)_5\text{—CO—NH—}(CH_2)_5\text{—CO—NH—}(CH_2)_5\text{—CO—NH—}(CH_2)_5\text{—CO—}\ldots$$

Die Formel des entstandenen Polyamids kann auch vereinfacht dargestellt werden:

$$[\text{—NH—}(CH_2)_5\text{—CO—}]_n.$$

Das **Polyamid AH Schkopau** aus dem VEB Chemische Werke Buna wird aus **Hexandisäure (Adipinsäure)** $HOOC \cdot (CH_2)_4 \cdot COOH$ und **1,6-Diaminohexan (Hexamethylendiamin)** $H_2N \cdot (CH_2)_6 \cdot NH_2$ durch Polykondensation unter Wasserabspaltung hergestellt. Die Struktur dieses Stoffes kann vereinfacht durch die folgende Formel dargestellt werden:

$$[-NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-CO-]_n$$

Rest des 1,6 Diaminohexans Rest der Hexandisäure

Das Polyamid AH Schkopau weist ähnliche hervorragende Eigenschaften wie Miramid und Igamid auf.

Die Polyamide sind Thermoplaste. Durch Erhitzen werden sie weich oder flüssig und können dann leicht zu Formteilen, durchsichtigen Folien oder Fäden verarbeitet werden. Polyamide sind farblos, sehr fest, geruchlos, geschmackfrei und gute elektrische Isolatoren. Sie erweichen bei etwa 170 °C und sind dauerwärmebeständig bis 100 °C. Formteile aus Polyamiden werden vielfach durch Spritzguß hergestellt. Eine

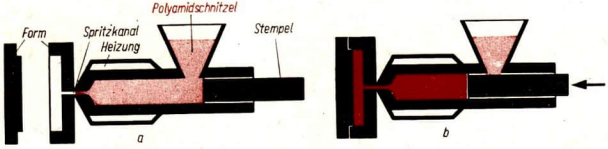


Abb. 123 Schematische Darstellung des Spritzgußverfahrens

Spritzgußmaschine besteht im wesentlichen aus einem beheizten Zylinder, in den das meist schnitzelförmige Material durch einen Trichter eingeführt wird. Mit Hilfe eines Stempels wird die geschmolzene Masse durch den Spritzkanal in die Form gepreßt (Abb. 123).

Polyamide werden zu Formteilen für die Industrie und zu Gegenständen des Massenbedarfs verarbeitet, zum Beispiel zu Möbelbeschlägen, Wasserhähnen (Abb. 124), Haushaltgeräten, Kämmen, Borsten, Wäscheleinen, Spielwaren, Verschlußstopfen für Flaschen, Dichtungen, Sieben, Maschendraht, Wurstdärmen, Maschinenteilen, Angelschnüren, Seilen, Brillen usw.

Aber auch glasklare Folien für Verpackungszwecke (Perfol) und Textilfasern (Dederon, Trelon) werden aus Polyamiden hergestellt.

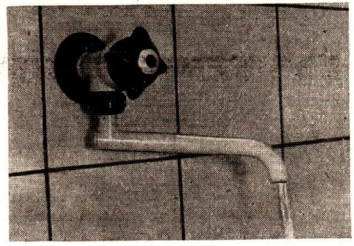


Abb. 124
Wasserleitungsschwenkhahn aus Polyamid

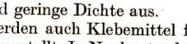
Polyamide sind Thermoplaste mit hoher mechanischer Festigkeit. Sie werden zu Formteilen, Folien und Textilfasern verarbeitet und vielseitig verwendet.

5. Polyesterharze. Polyesterharze sind eine Gruppe von Plasten, die durch Polykondensation von mehrwertigen organischen Säuren und mehrwertigen Alkoholen oder Phenolen entstehen. Polyesterharze weisen hervorragende Eigenschaften auf. Sie haben hohe Zug- und Biegefestigkeit sowie Schlagzähigkeit, die in den meisten Fällen die der Gebrauchsmetalle übertrifft. Sie sind vorzügliche elektrische Isolatoren und haben eine geringe Dichte. Besondere Festigkeit weisen **glasfaserverstärkte Polyesterharze** auf.

Polyester werden in den nächsten Jahren in unserer Republik in größeren Mengen hergestellt werden, da durch die Entwicklung der Petrolchemie mehr Ausgangsstoffe erzeugt werden können. Der VEB Chemische Werke Buna Schkopau hat die Versuchsproduktion von Polyesterharzen aufgenommen. Der **Polyester G Schkopau** dient als Gießharz zur Herstellung von glasfaserverstärkten Produkten, wie Fässern, Benzinkanistern, Waschbecken, Badewannen, Booten usw. Alle diese Produkte zeichnen sich durch hohe Festigkeit und geringe Dichte aus.

Aus Polyester G Schkopau werden auch Klebemittel für Metalle und für eine große Anzahl anderer Werkstoffe hergestellt. In Neubauten können zum Beispiel elektrische Leitungen unter Verwendung solcher Kleber ohne Dübeln und Verschrauben auf das Mauerwerk geklebt werden. Polyester dienen auch zur Herstellung synthetischer Textilfasern.

6. Epoxydharze. Epoxyde sind Verbindungen, bei denen zwei Atome einer Kohlenstoffkette noch über ein Sauerstoffatom miteinander verbunden sind:



Im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" wurden unter Verwendung von Epoxyden als Ausgangsmaterial hochwertige Plaste, die Epoxydharze, entwickelt. Die Leuna-Epoxydharze sind Polykondensationsprodukte und kommen unter dem Namen **Epilox** in den Handel. Leuna-Epilox wird durch Gießen (mit oder ohne Füllstoffe) zu Flugzeugteilen, Lagerschalen, Ventilen, Rohrleitungen, Bremsbelägen, Spülbecken und anderen Gegenständen verformt. Anschließend wird das Material durch mehrstündige Härtung bei 130 °C zum Duroplast umgewandelt.

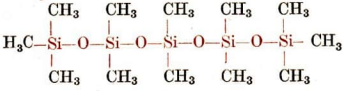
Epoxydharze sind korrosionsbeständig und besitzen hohe mechanische Festigkeiten. Besonders günstig wirkt sich auch ihre geringe Dichte (1,2 bis 1,6 $g \cdot cm^{-3}$) aus.

Auf Grund ihrer sehr guten elektrischen Isoliereigenschaften können Epoxydharze als Lackrohstoff und Isolierstoff für die Elektrotechnik verwendet werden.

Epilox ist auch ein Universalkleber, der die verschiedensten Stoffe mit hervorragender Festigkeit verbindet, so daß sogar die Verbindung von Metallteilen im Fahrzeug- und Flugzeugbau und in der Maschinenindustrie an Stelle von Schweißen, Nieten oder Löten möglich ist.

Polyesterharze und Epoxydharze sind nach Härtung Duroplaste mit hervorragenden Eigenschaften. Sie werden als Werkstoffe mit hoher Festigkeit, als Isolierstoffe und als Universalkleber verwendet.

7. Silikonharze. Die **Silikone,** die eine Mittelstellung zwischen anorganischen und organischen Verbindungen einnehmen, werden auch als **siliziumorganische Verbindungen** bezeichnet. Sie haben sowohl zu den Polykieselsäuren als auch zu den Alkanen strukturelle Beziehungen. Ihr Aufbauprinzip soll an einem Beispiel erläutert werden. In einem anorganischen Grundgerüst (rot) wechseln Silizium und Sauerstoff ab; die übrigen Wertigkeiten des Siliziums sind durch (organische) Kohlenwasserstoffreste (schwarz) abgesättigt:

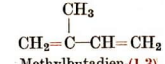


Die Herstellung der Silikone ist nach verschiedenen Verfahren möglich. Zum Beispiel kann man von Kohlenstoff, Siliziumdioxid, Alkanolen und Chlorwasserstoff ausgehen und über Zwischenprodukte zu Silikonen gelangen.
Je nach ihrer Struktur liegen diese neuartigen Stoffe als Silikonöle, Silikonfette, Silikonkautschuk, Silikonlacke oder Silikonharze vor. Die Silikonharze und -lacke sind ausgezeichnete elektrische Isolatoren und weisen gute Wärmebeständigkeit bis 260 °C auf. Sie sind daher besonders zur Isolation von Wicklungen bei Motoren, Generatoren und Transformatoren geeignet, wobei man mit Silikonharzen getränkte Glasfasergewebe als Isoliermaterialien verwendet.
Silikonharze und -lacke sind stark wasserabweisend und werden daher zum Imprägnieren von Textilien, Papier, Mauerwerk, Dachziegeln usw. verwendet. Anstriche auf Silikonbasis sind für hitzebeanspruchte Gegenstände besonders geeignet, da sie Dauerbeanspruchungen bis 260 °C aushalten, kurzfristig sogar Temperaturen bis 500 °C. Silikone werden ferner als Schmiermittel, als Flugzeuglack, als Zusatzstoffe zu verschiedenen Plasten und zu anderen Zwecken verwendet. Silikone werden in unserer Republik im VEB Chemiewerk Nünchritz hergestellt.

Silikone sind Verbindungen, die eine Mittelstellung zwischen anorganischen und organischen Stoffen einnehmen. Sie besitzen ausgezeichnetes Isoliervermögen und sehr gute Wärmebeständigkeit. Außerdem sind sie stark wasserabweisend. Silikone werden vielseitig verwendet.

Kautschuk

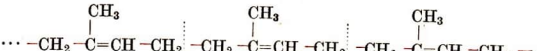
1. Naturkautschuk. Der in der Natur vorkommende Kautschuk[1] ist ein hochmolekularer ungesättigter Kohlenwasserstoff, der als Polymerisat des **Methylbutadiens,** das auch **Isopren** genannt wird, aufgefaßt werden kann.



Methylbutadien-(1,3)

[1] Der Name entspricht dem indianischen Wort cahutschu = rinnendes, tränendes Holz.

In den Kautschukmolekülen sind die vom Methylbutadien abgeleiteten Gruppen kettenförmig miteinander verknüpft:



Der Naturkautschuk wird aus dem **Latex** (Milchsaft) des Kautschukbaumes durch Koagulation erhalten. Der Latex wurde ursprünglich ausschließlich durch Anzapfen der wildwachsenden Kautschukbäume des Amazonasgebietes (Brasilien) gewonnen. Brasilien besaß damit das Kautschukmonopol und versuchte, sich dieses durch ein Ausfuhrverbot für Kautschuksamen zu sichern. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts gelang es jedoch einem Engländer, Samen aus Brasilien zu beschaffen. Seit dieser Zeit wurden in anderen tropischen Regengebieten ausgedehnte Kautschukplantagen angelegt. Heute werden etwa 99% der Weltproduktion an Naturkautschuk auf Plantagen gewonnen.

Kautschuk hat hohe Elastizität, wird in der Kälte hart und spröde, in der Wärme jedoch plastisch. Bei höherer Temperatur bildet er eine weiche klebrige Masse, die schließlich unter Zersetzung schmilzt. Außerdem verliert der reine Kautschuk durch Einwirkung von Luftsauerstoff seine Elastizität. Diese Eigenschaften schränken die direkte Verwendung des Kautschuks stark ein. Die Hauptmenge wird durch ein als **Vulkanisation** bezeichnetes Verfahren zu **Gummi** verarbeitet.

2. Synthetischer Kautschuk. Die Gewinnung des Naturkautschuks ist auf bestimmte tropische Gebiete beschränkt. Deshalb wurden in verschiedenen Ländern schon frühzeitig Versuche unternommen, Kautschuk synthetisch herzustellen. In den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts gelang es, ein Produkt mit besonders günstigen Eigenschaften durch Polymerisation von Butadien herzustellen. Besondere Verdienste erwarben sich der Deutsche Fritz Hofmann und der sowjetische Chemiker Sergej Wassiljewitsch Lebedew, die unabhängig voneinander die Grundlagen für die Kautschuksynthese erforschten. Das erste Werk für Synthesekautschuk wurde in der Sowjetunion 1931, in Deutschland 1937 in Betrieb genommen. In unserer Republik wird synthetischer Kautschuk im VEB Chemische Werke Buna Schkopau hergestellt und kommt unter der Bezeichnung Buna in den Handel. Der Name **Buna** ist aus den Anfangsbuchstaben von **Bu**tadien und **Na**trium gebildet worden, weil dieser synthetische Kautschuk zuerst durch Polymerisation von Butadien mit Hilfe von metallischem Natrium hergestellt wurde.

Die Bunasynthese geht von den Rohstoffen Kohle und Kalk aus. Aus Kohle wird Koks und aus Kalkstein Branntkalk erzeugt. Koks und Branntkalk werden im Elektroofen zu Kalziumkarbid umgesetzt, das mit Wasser Äthin liefert.

● *Erläutern Sie die Kokserzeugung durch Hochtemperaturentgasung von Kohle!*
Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung im Karbidofen auf!
Erläutern Sie die Äthinerzeugung aus Kalziumkarbid!
Stellen Sie für diesen Vorgang die Reaktionsgleichung auf!

Aus Äthin wird das für die Kautschuksynthese erforderliche Butadien hergestellt. Das Verfahren verläuft über vier Stufen. Zunächst wird aus Äthin durch katalytische Wasseranlagerung Äthanal erzeugt (Reaktion 1). In der zweiten Stufe wird Äthanal

dem Einfluß schwacher Basen ausgesetzt, wobei sich jeweils 2 Moleküle Äthanal zu einem Molekül **3-Hydroxybutanal** $CH_3 \cdot CHOH \cdot CH_2 \cdot CHO$ zusammenschließen (Reaktion 2). Dieser Stoff wird vielfach auch als **Aldol** bezeichnet. Aldol wird in der dritten Stufe zu **Butandiol-(1,3)** hydriert (Reaktion 3). Aus Butandiol-(1,3) erhält man schließlich durch Wasserabspaltung **Butadien-(1,3)** (Reaktion 4). Nachfolgend sind die Reaktionsgleichungen für diese vier Stufen im Zusammenhang dargestellt:

Äthanalsynthese (1)

$$H-C\equiv C-H + H_2O \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_3-C(=O)-H$$

Äthin — Äthanal

Aldolherstellung (2)

$$CH_3-C(=O)-H + CH_3-C(=O)-H \xrightarrow{\text{Alkal. Medium}} CH_3-\underset{\displaystyle OH}{CH}-CH_2-C(=O)-H$$

Äthanal — Äthanal — 3-Hydroxybutanal (Aldol)

Hydrierung (3)

$$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{CH}-CH_2-C(=O)-H + H_2 \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_2-\underset{\displaystyle OH}{CH}-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{CH_2}$$

3-Hydroxybutanal — Butandiol-(1,3)

Wasserabspaltung (4)

$$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{CH}-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{CH_2} \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_2=CH-CH=CH_2 + 2\,H_2O$$

Butandiol-(1,3) — Butadien-(1,3)

Butadien-(1,3) wurde anfangs mit Hilfe von Natrium zu synthetischem Kautschuk polymerisiert (Abb. 125):

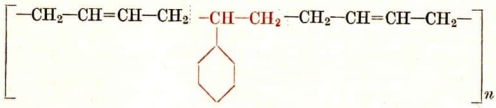
$$n\,CH_2=CH-CH=CH_2 \xrightarrow[\text{Na}]{\text{Polymerisation}} [-CH_2-CH=CH-CH_2-]_n$$

Butadien-(1,3) — Buna

Die Produkte dieses Verfahrens werden als **„Zahlen-Buna"** bezeichnet (zum Beispiel Buna 85).

Bei den neueren Bunasynthesen werden jedoch außer Butadien auch noch andere ungesättigte Verbindungen, zum Beispiel das Styrol, verwendet. Die Polymerisation ist in diesem Fall eine Mischpolymerisation und wird nach anderen Verfahren und mit anderen Katalysatoren durchgeführt. Die hierbei entstehenden Bunasorten bezeichnet man als **„Buchstaben-Buna"**.

Der synthetische Kautschuk **Buna S** enthält zum Beispiel auf zwei Moleküle Butadien ein Molekül Styrol:



Buna wird nur sehr wenig unmittelbar verwendet, da dieser Werkstoff, ähnlich wie der Naturkautschuk, verhältnismäßig schnell seine ursprüngliche Elastizität verliert und hart und spröde wird. Die Hauptmenge wird durch Vulkanisation zu **Gummi** weiterverarbeitet. Meist wird die Vulkanisation so durchgeführt, daß man den Kautschuk (Buna) mit Schwefel, Katalysatoren und Füllstoffen innig vermengt und dann erhitzt (Heißvulkanisation). Das Vulkanisationsprodukt, der Gummi, besitzt weit größere Beständigkeit.

Setzt man dem Buna zum Zwecke der Vulkanisation bis 5% Schwefel zu, so erhält man Weichgummi, mit 15 bis 20% Schwefel entsteht Hartgummi, der sehr fest, aber nicht mehr elastisch ist.

Aus Gummi werden Reifen für Fahrzeuge aller Art erzeugt (Abb. 126). Die Kraftfahrzeugindustrie verbraucht etwa 80% der gesamten Kautschukproduktion. Gummi

Abb. 125 Polymerisationsanlage für Synthesekautschuk im VEB Chemische Werke Buna Schkopau

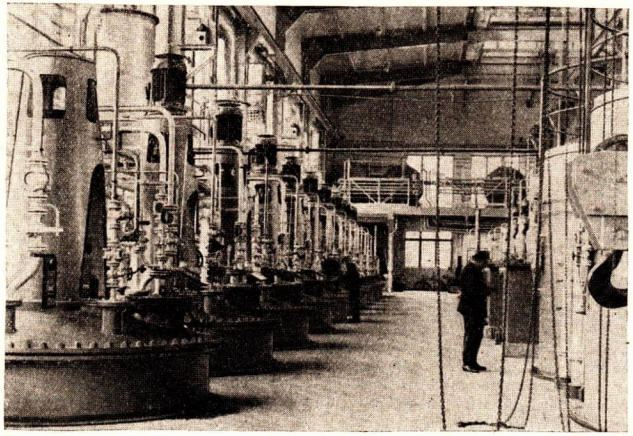




Abb. 126 Vulkanisierkessel für Flugzeugreifen im VEB Reifenwerk Fürstenwalde

dient ferner zur Herstellung von Regenmänteln, Schutzkleidung, Schläuchen, Stoßdämpfern für Maschinen, Treibriemen, Fäden für elastische Gewebe, Spielwaren, Badeartikeln und vielen anderen Waren. Gummiwaren aus Buna, besonders aus Buna S und anderen Mischpolymerisaten, besitzen bessere Elastizität, Abnutzungs- und Zerreißfestigkeiten als solche aus Naturkautschuk. Im Vergleich zu letzterem ist Buna S außerdem beständiger gegen Öl, Benzin, Ozon oder Hitze und neigt weniger zu Ermüdungsrissen.
Die Produktion von Synthesekautschuk in unserer Republik konnte in den vergangenen Jahren beträchtlich gesteigert werden und betrug 1962 rund 90000 Tonnen (Abb. 127).

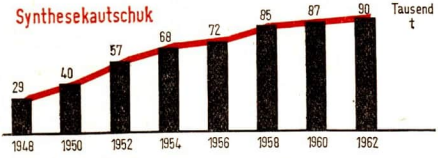


Abb. 127 Entwicklung der Synthesekautschukproduktion der Deutschen Demokratischen Republik

Der synthetische Kautschuk Buna wird aus Butadien und anderen Verbindungen durch Polymerisation hergestellt. Aus Buna erhält man durch Vulkanisation Gummi, der vielseitig verwendet wird.

Die Plastindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Die Produktion von Plasten hat in den letzten Jahren auch in unserer Republik erheblich an Bedeutung gewonnen. Obwohl 1945 viele Werke unserer Plastindustrie zerstört waren und erst unter großen Schwierigkeiten wiederaufgebaut werden mußten, stieg die Plasterzeugung von Jahr zu Jahr an. Unsere chemische Industrie verfügt heute über Produktionsanlagen für die wichtigsten Plasttypen. In Abbildung 128 sind die wichtigsten Werke unserer Plastindustrie zusammengestellt.

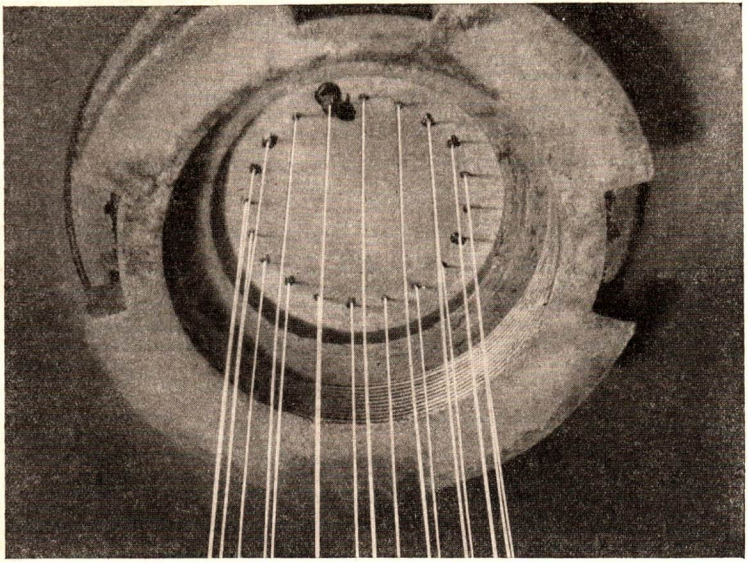


Abb. 128 Wichtige Werke der Plastindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

12. KAPITEL

Chemiefasern

Die Chemiefaserindustrie ist ein wichtiger Zweig der chemischen Industrie unserer Republik. Chemiefasern auf Zellulosebasis werden schon seit Jahrzehnten in beträchtlichen Mengen in der Textilindustrie verarbeitet. Die Viskoseseiden und -fasern sind für viele Anwendungsgebiete sehr gut geeignet. In den letzten Jahren haben aber vor allem die vollsynthetischen Chemiefasern zunehmende Bedeutung erlangt. Dederon, Wolpryla und Grisuten sind den Naturfasern in vielen Eigenschaften weit überlegen und werden in der Bekleidungsindustrie sowie zur Herstellung technischer Gewebe sehr vielseitig verwendet. Unser Chemieprogramm sieht eine großzügige Erweiterung der Chemiefaserproduktion in den nächsten Jahren vor. Damit wird die Versorgung der Bevölkerung mit hochwertigen Textilwaren besser und reichhaltiger werden.



Allgemeines

Eine besondere Gruppe der Plaste ist dadurch gekennzeichnet, daß sich ihre Vertreter aus langgestreckten, fadenförmigen Makromolekülen aufbauen. Diese hochmolekularen Stoffe bezeichnet man als **Chemiefasern.** Man unterscheidet zwei Gruppen: Chemiefäden und Chemiespinnfasern.

Chemiefäden sind endlose Fäden, die zur Herstellung seidenartiger Textilwaren dienen. Bestimmte Erzeugnisse dieser Gruppe werden auch als Kunstseiden bezeichnet.

Chemiespinnfasern sind auf bestimmte Längen geschnittene Fasern, die zu baumwoll- und wollähnlichen Textilerzeugnissen verarbeitet werden.

Chemiefasern werden aus natürlichen Ausgangsstoffen, wie Zellulose oder Eiweiß, oder aus synthetisch hergestellten Verbindungen erzeugt. Die durch Umwandlung von Naturstoffen hergestellten Chemiefasern werden vielfach auch als **„halbsynthetische" Fasern,** die aus synthetischen Ausgangsstoffen erzeugten als **„vollsynthetische" Fasern** bezeichnet. Die wichtigste Gruppe der halbsynthetischen Chemiefasern sind die Zellulosefasern.

Chemiefasern auf Zellulosebasis

In der Entwicklung der Chemie waren Chemiefasern auf Zellulosebasis die ersten künstlich hergestellten Fasern. Bereits 1665 kam ROBERT HOOKE, der Entdecker des Zellenaufbaues der Pflanzen, auf den Gedanken, künstliche Fäden aus Lösungen zu bilden. Der französische Physiker RENÉ-ANTOINE RÉAUMUR erkannte 1734, daß Lösungen, aus denen künstliche Fäden hergestellt werden sollen, gummiartige Beschaffenheit aufweisen müssen. Dem französischen Chemiker SAINT-HILAIRE DE CHARDONNET gelang 1884 die Entwicklung eines Verfahrens zur Erzeugung künstlicher Seide aus Zellulose. Nach diesem Verfahren wurden die ersten Kunstseiden hergestellt. DE CHARDONNET gilt daher als der Erfinder der Kunstseide und damit der Chemiefasern.

Chemiefäden auf Zellulosebasis werden nach verschiedenen Verfahren hergestellt.

- *Erläutern Sie die technische Durchführung des Viskose-Verfahrens zur Herstellung von Kunstseide!*
  Worin unterscheiden sich die Verfahren zur Erzeugung von Viskoseseiden und -fasern?

Den Verfahren zur Erzeugung von Chemiefäden aus Zellulose ist gemeinsam, daß Zellulose in Lösung gebracht und aus dieser Lösung – nach dem Durchpressen durch Düsen in ein Fällbad – in Form von Fäden ausgefällt wird. Obwohl durch die Prozesse, welche die Zellulose beim Lösen und Verspinnen durchlaufen muß, die Molekülketten verkürzt werden, gehören die Zellulosen der Viskoseseiden und -fasern noch zu den Makromolekülen.

Vollsynthetische Chemiefasern

Auch die vollsynthetischen Chemiefasern bestehen aus Makromolekülen. Im Laboratorium wurden bereits etwa 1000 vollsynthetische Fasern entwickelt, jedoch werden bisher nur wenige von ihnen großtechnisch hergestellt.

Im folgenden sollen die in unserer Republik erzeugten vollsynthetischen Chemiefasern behandelt werden.

1. PC-Fasern. Die PC-Faser hat eine ähnliche Struktur wie das als Werkstoff verwendete Polyvinylchlorid. Sie kam als erste vollsynthetische Chemiefaser auf den Markt und wird seit 1938 industriell hergestellt.
Ausgangsstoff für die Erzeugung von PC-Fasern ist meist das Polyvinylchlorid, das aber noch durch Einwirkung von Chlor umgewandelt (nachchloriert) wird. Bei diesem Prozeß werden Wasserstoffatome durch Chlor substituiert, wodurch der Chlorgehalt des Plastes steigt und eine bessere Löslichkeit erzielt wird.

● *Erläutern Sie den Begriff Substitution und nennen Sie Beispiele!*
Wieviel Prozent Chlor enthält Polyvinylchlorid?
Welcher Chlorgehalt wäre vorhanden, wenn das Material die Formel $(—CHCl—CHCl—)_n$ *hätte?*

Die durch Nachchlorierung erhaltene Grundmasse, aus der man die PC-Faser herstellt, enthält 63% Chlor. Sie wird in einer organischen Flüssigkeit, dem Tetrahydrofuran, gelöst. Die Lösung wird durch Spinndüsen in warme Luft gepreßt, wobei das Lösungsmittel verdunstet und das nachchlorierte Polyvinylchlorid als Faden im Warmluftstrom weiterläuft (Trockenspinnverfahren).

● *Erläutern Sie den Unterschied von Naßspinnverfahren und Trockenspinnverfahren!*

Die so erzeugten Fäden werden gezwirnt, verstreckt und weiterverarbeitet. Häufig werden sie auch ohne Zwirnung gestreckt, dann gekräuselt und auf die gewünschte Stapellänge geschnitten. Dieser Prozeß ähnelt der Zellwollherstellung.

▶ **Zur Herstellung der PC-Faser wird nachchloriertes Polyvinylchlorid gelöst und diese Lösung durch Düsen im Warmluftstrom trocken versponnen.**

Wir untersuchen die Widerstandsfähigkeit der PC-Faser gegen Chemikalien:

117

Wir geben in einen Meßzylinder 9 ml konzentrierte Salzsäure und 3 ml konzentrierte Salpetersäure, rühren die Flüssigkeit vorsichtig um und verteilen das Gemisch („Königswasser") auf zwei Reagenzgläser. In das eine Glas geben wir etwas Baumwollgewebe, in das andere einen Streifen PC-Gewebe. Dann gießen wir in zwei weitere Reagenzgläser je 5 ml 50%ige Natronlauge und drücken mit dem Glasstab in das eine Glas etwas PC-Gewebe, in das andere eine kleine Probe Schafwolle. Die Gläser lassen wir mindestens einen Tag stehen.
Welche Veränderungen zeigen die Faserproben?

Die PC-Faser weist eine Reihe von hervorragenden Eigenschaften auf. Sie ist wasserabstoßend und beständig gegen längere Wassereinwirkung, nicht entflammbar, ein guter Isolator für Elektrizität, Wärme und Schall, weitgehend beständig gegen Säuren, Laugen und andere Chemikalien. Die PC-Faser besitzt ferner hohe Elastizität und zeigt im trockenen und nassen Zustand die gleiche Festigkeit. Außerdem ist sie widerstandsfähig gegen Bakterien, verfault und verrottet also auch bei feuchter Lage-

rung nicht, und ist mottensicher. Ein Nachteil der Faser ist allerdings ihre Empfindlichkeit gegen Wärme.
Die besonderen Eigenschaften dieser Faserart bestimmen ihre Anwendungsgebiete. Gewebe aus PC-Fasern werden häufig als Filtertücher verwendet. Die Widerstandsfähigkeit dieser Gewebe ist so groß, daß ihre durchschnittliche Lebensdauer etwa das Zehnfache gegenüber Baumwoll- oder Wollgeweben beträgt. Ein weiterer Vorteil der PC-Filtertücher besteht darin, daß sich die abfiltrierten Niederschläge infolge der Glätte und Unquellbarkeit der PC-Fäden außerordentlich leicht wieder ablösen. Deshalb lassen sich PC-Filtertücher leichter reinigen als Gewebe aus anderen Materialien.
PC-Gewebe eignen sich auch besonders gut für Schutzanzüge in der chemischen Industrie und für Labormäntel. Während Schutzanzüge aus gewöhnlichem Textilmaterial beim Arbeiten in Säurebetrieben nur eine Tragzeit von 3 bis 4 Monaten haben, halten solche aus PC-Material jahrelang.
Die Unentflammbarkeit ist ein weiterer Vorzug der PC-Faser, weshalb man häufig Vorhänge in Theatern und Kinos, Planen für Eisenbahnwagen usw. aus dieser Faserart herstellt. Auf Grund der Bakterienfestigkeit besitzen Fischereinetze, Schläuche, Seile und andere Erzeugnisse aus PC-Faser eine besonders lange Gebrauchsfähigkeit.

Die PC-Faser besitzt viele hervorragende Eigenschaften und wird hauptsächlich für technische Zwecke verwendet.

Ein besonderes Erzeugnis sind die **Vylan-Textilwaren.** Vylanwäsche, die einen hohen Anteil an PC-Fasern aufweist, hat ein sehr gutes Wärmehaltevermögen und zeigt günstige Wirkungen bei Rheumakranken. Sie wird deshalb auch als „Rheumawäsche" bezeichnet. Vylanerzeugnisse haben hohe Elastizität und werden von Motten nicht angegriffen.

118

Wir geben in ein Becherglas mit siedendem Wasser ein Stück Vylangewebe, lassen das Wasser weiter sieden und rühren mit einem Glasstab um. Anschließend nehmen wir das Material aus dem Becherglas, spülen mit kaltem Wasser und prüfen das Gewebe auf Griff und Aussehen.
Welche Veränderungen des PC-Gewebes stellen Sie fest?

Vylanwäsche ist hitzeempfindlich. Sie darf nur bei höchstens 50 °C gewaschen werden. Kochen, Bügeln und chemisches Reinigen zerstören Vylanerzeugnisse und müssen daher vermieden werden. PC-Fasern werden in unserer Republik im VEB Filmfabrik Wolfen hergestellt. Sie kommen unter der Bezeichnung **Piviacid** in den Handel.

2. Polyamid-Fasern. Die wichtigste in unserer Republik erzeugte Polyamidfaser ist **Dederon,** eine Erfindung des deutschen Chemikers Paul Schlack.
Ausgangsstoff für die technische Herstellung von Dederon ist das ε-Aminokaprolaktam. Diese Verbindung wird nach Zugabe einer bestimmten Menge Wasser in geschlossenen Gefäßen unter 10 bis 20 at Druck bei 250 bis 260 °C zu Polykaprolaktam umgewandelt.

● *Erläutern Sie die Reaktionen, die der Bildung von Polykaprolaktam zugrunde liegen!*

Das heiße Polykaprolaktam wird in kaltem Wasser zu Bändern vergossen, die man in kleine Schnitzel zerhackt. Die Schnitzel werden ausgewaschen, getrocknet und bei 280 °C geschmolzen. Die entstandene Schmelze wird mit Hilfe von Pumpen durch die feinen Öffnungen der Spinndüsen in die Luft gedrückt, wo sie zu Dederonfäden erstarrt (Trockenspinnverfahren). Wir stellen Dederonfäden in einem Versuch her:

119

In ein großes Reagenzglas geben wir etwa 1 cm hoch Polykaprolaktam und erhitzen das Glas bei gleichzeitigem Drehen vorsichtig über kleiner Flamme. Die Substanz muß schmelzen, darf aber nicht braun werden (Zersetzung des Polyamids). Wenn die Masse im Reagenzglas geschmolzen ist, entnehmen wir mit einem Glasstab eine Probe, tupfen mit der Schmelze auf den oberen Teil des Reagenzglases und ziehen dann den Glasstab rasch weg. Dabei bildet sich ein Faden, den wir nun mit der Hand fassen und schnell weiter von der Schmelze abziehen. Der Vorgang wird mehrmals wiederholt.
Welches Aussehen haben die erhaltenen Fäden?

Beim Spinnprozeß erhält man farblose, etwa glasartig aussehende Fäden. Diese Fäden werden bei Raumtemperatur auf das Drei- bis Fünffache der ursprünglichen Länge verstreckt (Abb. 129). Dadurch werden die Fäden dünner und erhalten ihre große Festigkeit und Elastizität. Dederonseide weist hervorragende Eigenschaften auf und übertrifft in bezug auf Scheuer- und Zerreißfestigkeit alle zur Zeit bekannten Textilfasern.
Die Dederonfaser ist motten- und bakterienfest. Sie läßt sich gut färben, kräuseln und gemischt mit anderen Textilfasern verspinnen, wodurch man Gespinste mit großen Festigkeiten erhält. Die Beständigkeit gegen Chemikalien ist gut.
Wir prüfen das Verhalten von Dederon gegen siedendes Wasser:

120

Wir werfen eine Probe Dederon in ein Becherglas mit siedendem Wasser und lassen das Fasermaterial einige Zeit darin. Dann nehmen wir die Probe heraus, spülen sie in kaltem Wasser und prüfen, ob sie Veränderungen erlitten hat.
Was stellen Sie fest?

Dederon wird durch siedendes Wasser nicht verändert. Trotzdem soll das Waschen von dederonhaltigen Textilien nur in mäßig warmem Wasser und unter Verwendung von Neutralwaschmitteln erfolgen. Sauerstoffabspaltende Waschmittel greifen die Dederonfaser an und sind daher zu vermeiden. Dederon darf nur bis

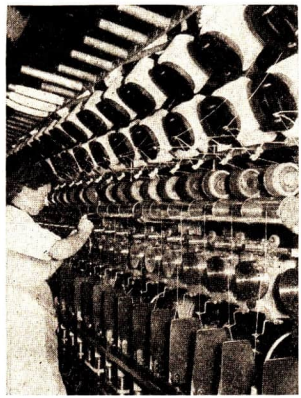


Abb. 129 Maschine zum Verstrecken und Verzwirnen von Dederonseide

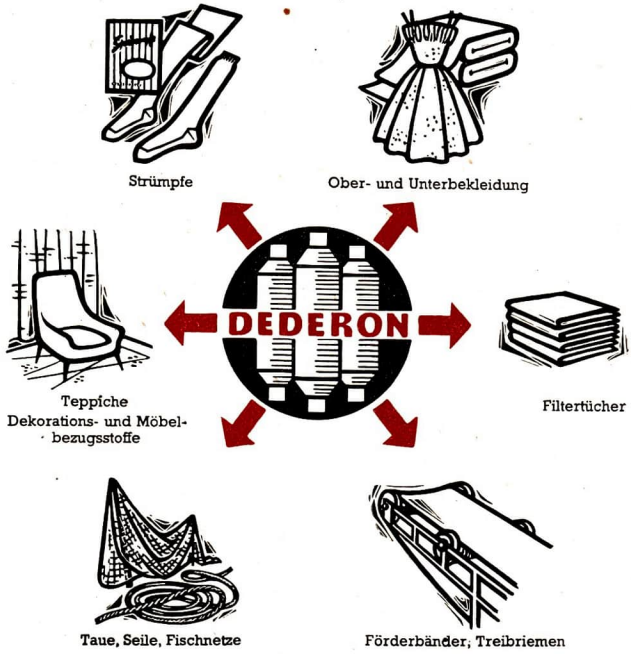


Abb. 130 Verwendung von Dederon

etwa 150 °C erwärmt werden, da höhere Temperaturen zu nachteiligen Veränderungen, unter Umständen sogar zu einer Zerstörung der Faser führen.

● *Prüfen Sie die Schmelzbarkeit von Dederon nach Versuch S 77!*
Unterscheiden Sie Dederon von Baumwolle (Zellwolle) und Schafwolle durch die Brennprobe nach Versuch S 78!

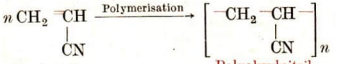
Dederon hat in der Textilindustrie besondere Bedeutung zur Herstellung von Strümpfen erlangt, weil sich hier die Scheuerfestigkeit und eine gewisse Elastizität sehr günstig auswirken. Diese hervorragenden Eigenschaften erlauben auch die Herstellung von sehr feinen Textilwaren. Ein hauchdünner Damenstrumpf aus Dederon besteht

zum Beispiel aus 1,5 Millionen Maschen, hat eine Fadenlänge von 5,5 km und wiegt nur etwa 6 Gramm. Aber auch Möbelbezugsstoffe, Gewebe für Ober- und Unterbekleidung, Krawatten, Schnürsenkel, Überzüge für Schirme, Filtertücher, Seile, Bänder, Schläuche, Kabelumspinnungen, Fischereibedarf, Treibriemen, Teppiche, Gepäcknetze, Schreibmaschinenfarbbänder, Gurte, chirurgische Nähfäden und anderes werden aus Dederon hergestellt (Abb. 130).
Dederon wird in unserer Republik im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz, im VEB Chemiefaserwerk Schwarza „Wilhelm Pieck" und im VEB Filmfabrik Wolfen hergestellt.

Im VEB Chemiefaserwerk Schwarza „Wilhelm Pieck" wird eine weitere Polyamidfaser, das **Trelon** hergestellt. Trelon ist ein Mischpolyamid. Die Trelonfaser hat ähnliche hervorragende Eigenschaften wie Dederon. Sie wird zur Herstellung von Strümpfen, Ober- und Unterbekleidung und technischen Geweben verwendet.

Dederon und Trelon sind Polyamidfasern mit hervorragender Zerreiß- und Scheuerfestigkeit. Sie werden zu Strümpfen, Ober- und Unterbekleidung, technischen Geweben und anderen Artikeln verarbeitet.

3. Polyakrylnitrilfasern. Polyakrylnitrilfasern haben in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung erlangt. Sie werden in unserer Republik im VEB Filmfabrik Wolfen und im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz hergestellt und kommen unter der Bezeichnung **Wolpryla** (früher Wolcrylon und Prelana) in den Handel.
Zur Herstellung von Wolpryla wird Äthin CH≡CH mit der stickstoffhaltigen Verbindung Zyanwasserstoff HCN zu Akrylnitril umgewandelt, das bei der Polymerisation einen weißen, festen Stoff, das Polyakrylnitril, bildet:



Akrylnitril — Polyakrylnitril

Polyakrylnitril wird in einem organischen Lösungsmittel gelöst und die erhaltene Lösung dann durch Spinndüsen in ein 80 °C heißes Fällbad gepreßt (Naßspinnverfahren). Polyakrylnitril wird in Form von Fäden ausgeschieden (Abb. 131), die in heißen Bädern sehr stark verstreckt, dann geschnitten, gewaschen und getrocknet werden.

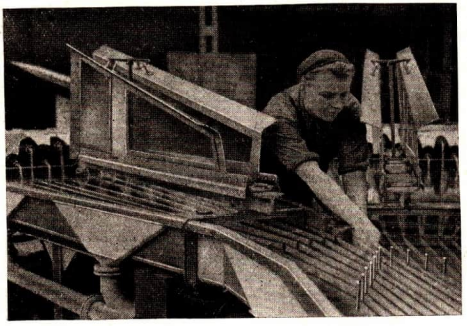


Abb. 131 Wolprylaspinnmaschine im VEB Filmfabrik Wolfen

Polyakrylnitrilfasern zeigen gute Zerreißfestigkeit, ausgezeichnete Licht- und Wetterbeständigkeit und sehr gute Formbeständigkeit. Sie sind knitterfest, beständig gegen Säuren und verdünnte Laugen sowie gegen Mikroben und Insekten (z. B. Motten). Ihr Wärmehaltungsvermögen liegt höher als bei Naturwolle.
Aus Wolpryla werden Obertrikotagen, Badeanzüge, Regenbekleidung, Filtertücher für die chemische Industrie, Vorhänge, Gardinen, Fischereinetze, Segeltücher, Zelte, Planen und anderes hergestellt. Wolpryla wird auch in Mischung mit Schafwolle oder Zellwolle versponnen und so zu Oberbekleidungs- oder Möbelstoffen und zu Geweben für die Wäscheindustrie verarbeitet.

Wolpryla ist eine wollähnliche Chemiefaser aus Polyakrylnitril. Sie besitzt ausgezeichnete Eigenschaften und wird zur Herstellung von Oberbekleidung, Dekorationsstoffen, technischen Geweben und für andere Zwecke verwendet.

4. Polyesterfasern. Eine weitere Gruppe von vollsynthetischen Chemiefasern sind die Polyesterfasern. Polyesterfasern werden gegenwärtig in unserer Republik im VEB Chemiefaserwerk Schwarza „Wilhelm Pieck" und im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz hergestellt und kommen unter der Bezeichnung **Grisuten** (früher Lanon) in den Handel.

Zur Herstellung von Grisuten werden bestimmte Polyester geschmolzen. Die Schmelze wird mit Hilfe von Pumpen durch Spinndüsen in Luft gepreßt (Trockenspinnverfahren). Die erstarrten Fäden werden anschließend auf das Vier- bis Fünffache der ursprünglichen Länge verstreckt.

Grisuten besitzt ausgezeichnete Eigenschaften. Die Zerreißfestigkeit dieser Faserart liegt zwischen der des Dederon und der des Wolpryla. Grisuten zeigt bessere Elastizität als Schafwolle, ist knitterfest, licht- und wetterbeständig, wirkt wärmeisolierend und zeigt gute Haltbarkeit für Bügelfalten und Plissee. Grisuten darf nicht stark erhitzt werden, da sonst nachteilige Veränderungen des Fasermaterials auftreten.
Grisutengespinste dienen zur Herstellung von Oberbekleidung, Gardinen, Zeltstoffen, Fischereinetzen, Dekorationsstoffen, Planen, Filterstoffen, Reifenkord und anderen Erzeugnissen.

Grisuten, eine Polyesterfaser, nimmt mit seinen ausgezeichneten Eigenschaften eine Mittelstellung zwischen Dederon und Wolpryla ein und wird vor allem zur Herstellung von Oberbekleidung, Dekorationsstoffen und technischen Geweben verwendet.

Für die Qualitätsbeurteilung von Textilien ist die Kenntnis der zugrunde liegenden Faserarten von Wichtigkeit. Günstige Hinweise in dieser Beziehung gibt die Brennprobe (Tabelle 18).
Wir führen Unterscheidungen von Faserarten mit Hilfe der Brennprobe durch.

121

Wir drehen einige Fäden der zu untersuchenden Faserprobe zu einer kleinen Strähne zusammen und halten sie in waagerechter Lage an den äußeren Rand einer Flamme.
Beobachten Sie, wie die Probe anbrennt und weiterbrennt!
Prüfen Sie den Geruch der auftretenden Gase! Stellen Sie das Aussehen des Rückstandes fest und prüfen Sie ihn durch Zerreiben zwischen den Fingerspitzen!

Tabelle 18. Brennprobe bei Fasern

Faserart	Verbrennungsweise	Geruch	Rückstand
Baumwolle Flachs Hanf	leicht entzündlich; brennt ziemlich rasch	nach verbrennendem Papier	weißgrau bis gelblich; fühlt sich glatt an
Wolle Naturseide	weniger leicht entzündlich; brennt langsam	nach verbrannten Haaren	blasig-kohlig, fühlt sich sandig an
Viskose- und Kupfer- kunstfaser	leicht entzündlich; brennt ziemlich rasch	nach verbrennendem Papier	weißgrau; fühlt sich glatt an
Azetat- kunstfaser	entzündlich; schmilzt beim Erhitzen	stechend sauer	zunächst blasige Kugeln, schließ- lich weiße Asche
Dederon	schmilzt zusammen; brennt schwer	schwach amidartig	braun, zusam- mengeschmolzen
PC-Faser	nicht entflammend; schmort zusammen	stechender Geruch	schwarz, zusam- mengeschmort
Wolpryla	schmilzt erst zusammen; brennt dann ziemlich rasch mit rußender Flamme	schwach	schwarzbraun, blasig-kohlig
Grisuten	schmilzt zusammen; brennt weiter	süßlich	braun, zusam- mengeschmolzen
Glasfaser	nicht brennbar; bei sehr heißer Flamme schmelzen die Fasern	—	glasig-brüchig

Die Proben mit den vollsynthetischen Chemiefasern zeigen uns, daß keine dieser Faserarten feuergefährlich ist, die PC-Faser ist sogar nicht entflammbar.

Die Chemiefaserindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Die Chemiefaserindustrie nimmt einen bedeutenden Platz in der Volkswirtschaft unserer Republik ein. Mehr als 50% unseres Gesamtbedarfs an Textilrohstoffen werden zur Zeit schon durch Chemiefasern gedeckt. Unsere Chemiefaserindustrie trägt dazu bei, den Bedarf an natürlichen Textilrohstoffen zu verringern und liefert auch Fasern, die durch ihre hervorragenden Eigenschaften den Naturfasern weit überlegen sind.

Einen besonders hohen Anteil an unserer Chemiefaserproduktion hat die Viskosefaserherstellung. Die Produktion von Viskosefasern konnte durch die Verwirklichung unserer Volkswirtschaftspläne erheblich gesteigert werden. Sie machte 1962 bereits

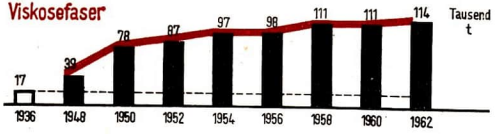


Abb. 132 Entwicklung der Viskosefaserproduktion der Deutschen Demokratischen Republik

mehr als das Sechsfache der des Jahres 1936 aus (Abb. 132). Unsere Volkswirtschaftspläne sehen eine weitere Steigerung der Viskosefasererzeugung vor. In den letzten Jahren wurden zahlreiche neuartige Viskosefasertypen entwickelt, die sich für Spezialzwecke bewährt haben. Viskosefasern werden in Zukunft vorwiegend als Zusatz zu Mischgeweben verwendet werden. Auch die Kunstseidenerzeugung unserer Republik stieg in den letzten Jahren beträchtlich an. Sie betrug 1958 bereits das Doppelte der des Jahres 1936.

Von besonderer Bedeutung ist die Produktion vollsynthetischer Chemiefasern. In der Erzeugung von Dederon konnten unsere Chemiefaserwerke in den letzten Jahren

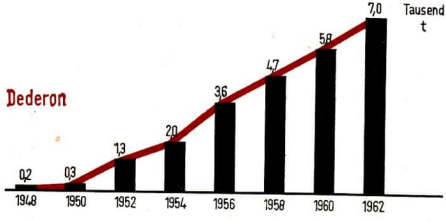


Abb. 133 Entwicklung der Dederonproduktion der Deutschen Demokratischen Republik

bereits gute Ergebnisse erzielen (Abb. 133). Die Dederonproduktion wird in den nächsten Jahren wesentlich erweitert. Zur Erreichung dieses Zieles wird im Rahmen des Chemieprogramms ein großes Chemiefaserkombinat in Wilhelm-Pieck-Stadt Guben gebaut, das in seiner Flächenausdehnung etwa dem Chemiefaserwerk in Schwarza gleichkommen wird. Mit der Verwirklichung des Chemieprogramms wird die Produktion der Polyakrylnitrilfaser Wolpryla auf mehr als das Sechsfache ansteigen. Dazu werden im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz und im VEB Filmfabrik Wolfen neue, große Anlagen errichtet. Auch für die Polyesterfaser Grisuten wird die Großproduktion aufgenommen. Das geplante Chemiefaserkombinat Wilhelm-Pieck-Stadt Guben soll nach seiner Fertigstellung auch Grisuten liefern. Der VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz und der VEB Chemiefaserwerk Schwarza „Wilhelm Pieck" haben die Aufgabe übernommen, bei

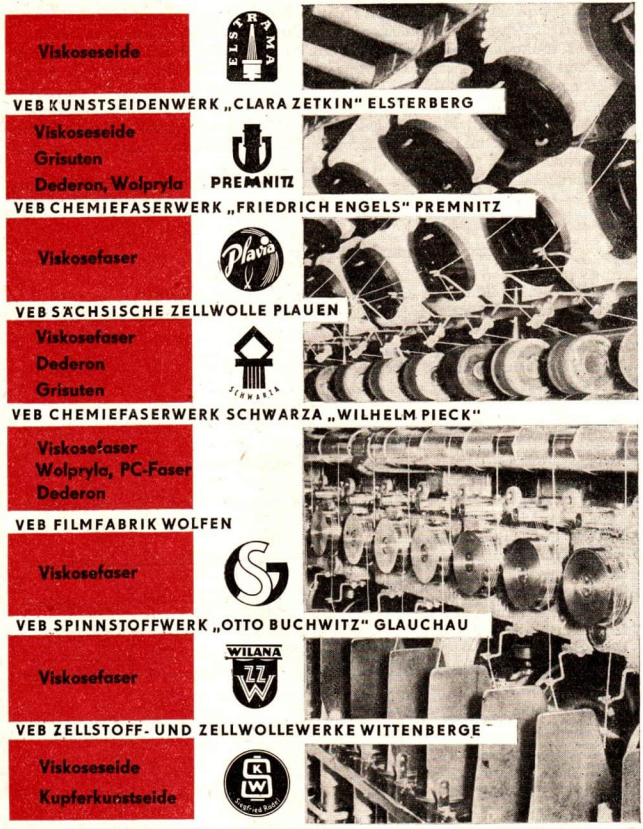


Abb. 134 Die Chemiefaserindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

der Versuchsproduktion von Grisuten Produktionserfahrungen zu sammeln und Facharbeiter für das Chemiefaserkombinat in Wilhelm-Pieck-Stadt Guben auszubilden. Die PC-Faser-Produktion im VEB Filmfabrik Wolfen wird nach Erfüllung des Chemieprogramms etwa das Fünffache betragen. Auf Grund der bei uns vorhandenen Erfahrungen für die Produktion dieser Faser wurde im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit der sozialistischen Länder festgelegt, daß die Deutsche Demokratische Republik ihre Produktionskapazität für PC-Fasern so erweitert, daß sie die Volksrepublik Polen und die Tschechoslowakische Sozialistische Republik mit versorgen kann.

In Abbildung 134 sind die wichtigsten Werke unserer Chemiefaserindustrie zusammengestellt.

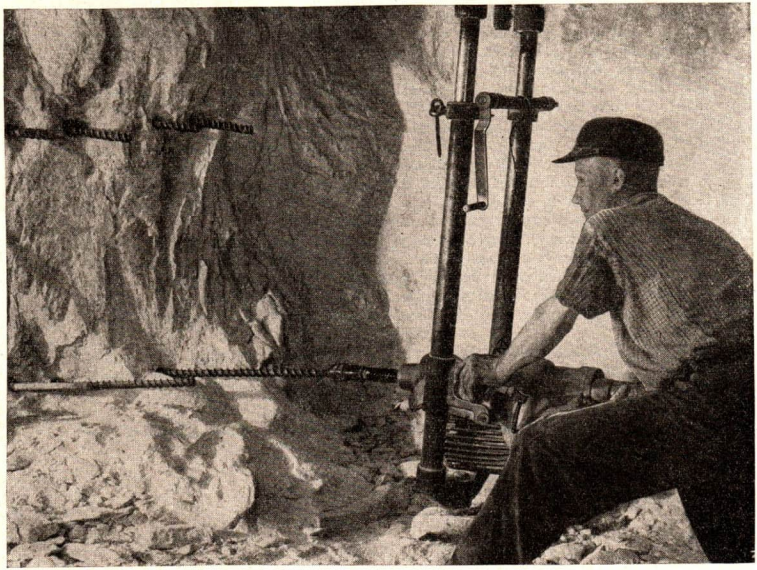
Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Unterscheiden Sie die Begriffe „Chemiefäden" und „Chemiespinnfasern"!
2. Welche Unterschiede bestehen zwischen der Herstellung von halbsynthetischen und vollsynthetischen Fasern?
3. Erläutern Sie die Herstellung der PC-Faser!
4. Nennen Sie Eigenschaften und Verwendungen der PC-Faser!
5. Erläutern Sie die Herstellung von Dederon!
6. Welche Eigenschaften besitzt Dederon und wozu wird diese Faserart verwendet?
7. Vergleichen Sie Eigenschaften und Verwendungszwecke von Polyakrylnitril- und Polyesterfasern!
8. Vergleichen Sie die Durchführung des Naßspinnverfahrens mit der des Trockenspinnverfahrens! Nennen Sie Beispiele!
9. Nennen Sie Herstellerbetriebe und Handelsbezeichnungen der in unserer Republik erzeugten Chemiefasern!
10. Erläutern Sie die Bedeutung unserer Chemiefaserindustrie!
11. Welche Ziele wurden für die weitere Entwicklung unserer Chemiefaserindustrie im Rahmen des Chemieprogramms festgelegt?
12. Was ist beim Gebrauch, beim Reinigen, Bügeln usw. von Textilwaren aus PC-Fasern, Dederon, Wolpryla und Grisuten zu beachten?
13. Aus einem Mol Phenol entsteht über mehrere Zwischenverbindungen 1 Mol Kaprolaktam. Wieviel Tonnen Phenol werden theoretisch zur Erzeugung von 678 t Kaprolaktam benötigt?
14. Wieviel Kubikmeter Äthin (Normzustand) sind theoretisch nötig, um 1060 t Polyakrylnitril herzustellen?

13. KAPITEL

Explosivstoffe

Eine Reihe von organischen Verbindungen, vor allem aus der Gruppe der Salpetersäureester und der Nitroverbindungen, wird auf Grund ihrer Eigenschaften als Explosivstoffe verwendet. Explosivstoffe haben nicht nur für die Militärtechnik, sondern auch in der Volkswirtschaft große Bedeutung. Sie werden in verschiedenen Wirtschaftszweigen eingesetzt, zum Beispiel im Bergbau, beim Bau von Verkehrswegen und Industrieanlagen und bei der Erschließung von Rohstoffvorkommen. Durch ihre Anwendung kann der Mensch bei vielen Arbeitsvorgängen von schwerer körperlicher Arbeit entlastet werden. Die Verwendung von Explosivstoffen verringert den Arbeitsaufwand beträchtlich. Dadurch kann eine Erhöhung der Produktivität erreicht werden. Im 13. Kapitel wird ein Überblick über Zusammensetzung, Eigenschaften und Anwendung der wichtigsten Explosivstoffe gegeben.



Grundlagen der Chemie der Explosivstoffe

1. Explosion und Detonation. Verbrennen Stoffe (z. B. Kohlen, Petroleum, Paraffin) an der Luft, so verläuft die Verbrennung verhältnismäßig langsam, weil der benötigte Sauerstoff erst nach und nach durch Luftströmung an die brennende Substanz herangebracht wird. Vermischt man jedoch eine oxydierbare Substanz (z. B. Kohlepulver, Schwefelpulver) mit einem Oxydationsmittel (z. B. einem Nitrat), so kommt es nach erfolgter Zündung zu einem sehr schnellen Ablauf der Verbrennung, da in diesem Falle der Sauerstoff gleichmäßig verteilt und in außerordentlich hoher Konzentration im ganzen Stoffgemisch vorliegt. Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn man an eine brennbare organische Verbindung durch chemische Reaktionen den für eine Verbrennung benötigten Sauerstoff in lockerer Bindung anlagert, wie dies zum Beispiel durch Behandlung einiger Stoffe mit konzentrierter Salpetersäure der Fall ist. Bei dem außerordentlich schnellen Ablauf des Oxydationsvorganges unter solchen Bedingungen werden in kurzer Zeit sehr große Wärme- und Gasmengen entwickelt. Einen solchen Vorgang bezeichnet man als **Explosion**[1].

Eine Explosion ist ein sehr schnell ablaufender chemischer Vorgang, bei dem gleichzeitig erhebliche Wärme- und Gasmengen entwickelt werden.

Im weiteren Sinne versteht man unter einer Explosion auch die Wirkung der plötzlichen Ausdehnung von Gasen oder Dämpfen, gleichgültig, ob diese erst entstehen oder vor dem Vorgang vorhanden waren (z. B. Dampfkesselexplosionen, Explosionen von Stahlflaschen mit komprimierten Gasen).
Die bei einer Explosion entstehenden Gase dehnen sich durch die Reaktionswärme beträchtlich aus und nehmen einen erheblich größeren Raum ein als die Ausgangsstoffe. Sie üben daher plötzlich einen sehr starken Druck, den **Explosionsdruck,** auf ihre Umgebung aus und können demzufolge mechanische Arbeit leisten.
Stoffgemische oder chemische Verbindungen, die sich durch äußere Einwirkung (Erwärmung, Schlag, Stoß oder Reibung) explosionsartig umsetzen, werden als **Explosivstoffe** bezeichnet. Bei manchen Explosivstoffen erreicht die Geschwindigkeit, mit der die Explosion fortschreitet, eine Größe von mehreren Hundert Metern je Sekunde (z. B. bei Schwarzpulver etwa 400 $m \cdot s^{-1}$).
Bei vielen Explosivstoffen ergeben sich jedoch nach erfolgter Zündung im allseitig geschlossenen Raum besondere Verhältnisse: Die stark erhitzten Verbrennungsgase verursachen einen sehr hohen Druck und bewirken dadurch in den benachbarten, noch nicht explodierten Bereichen infolge Erhitzung und Druck eine Steigerung der Geschwindigkeit, mit der sich die Zündung der Explosivstoffe fortpflanzt, bis zu 8000 $m \cdot s^{-1}$.
Dieser außerordentlich rasche Ablauf wird als **Detonation**[2] bezeichnet. Die Detonationsgeschwindigkeit ist eine typische Konstante für jeden (detonierenden) Explosivstoff. Sie kann mit Hilfe besonderer Apparate experimentell bestimmt werden.

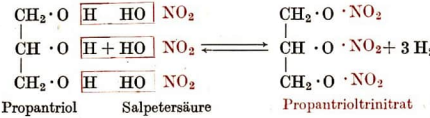
Der explosive Zerfall mit sehr hohen Geschwindigkeiten (bis zu 8000 $m \cdot s^{-1}$) wird als Detonation bezeichnet.

[1] explosio (latein.) = klatschende Ausdehnung
[2] detonare (latein.) = herabdonnern, losdonnern

Von Bedeutung ist die Eigenschaft der Explosivstoffe, bei der Detonation die umliegenden Körper zu zertrümmern. Diese Fähigkeit bezeichnet man als **Brisanz**[1]. Auf der Brisanz der Explosivstoffe beruht ihre vielseitige Verwendung.

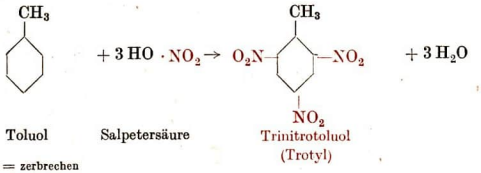
Die Brisanz eines Explosivstoffes ist seine zertrümmernde Wirkung bei der Detonation.

2. Chemische Zusammensetzung. Die meisten Explosivstoffe sind Reaktionsprodukte der Salpetersäure mit organischen Verbindungen. Man unterscheidet nach der Art der zugrunde liegenden chemischen Reaktion zwei Hauptgruppen.
Die erste Gruppe umfaßt **Salpetersäureester,** also Reaktionsprodukte der Salpetersäure mit organischen Hydroxylverbindungen. Hierher gehören zum Beispiel Propantrioltrinitrat (Glyzeryltrinitrat), Äthandioldinitrat (Glykoldinitrat) und Zellulosenitrate. Ein Beispiel für die Bildung eines explosiven Salpetersäureesters ist die Umsetzung von konzentrierter Salpetersäure mit Propantriol (Glyzerin) zu Propantrioltrinitrat:



● *Nennen Sie Eigenschaften von Propantriol und erläutern Sie ein wichtiges Herstellungsverfahren!*
Welche Besonderheiten sind bei Esterbildungen zu beachten?

Da es sich bei dieser Verbindungsgruppe um Salpetersäureester (organische Nitrate) handelt, sind die heute noch oft gebrauchten Bezeichnungen Nitroglyzerin, Nitroglykol, Nitrozellulosen usw. nicht richtig und bezüglich der Struktur dieser Verbindungen irreführend.
Zur anderen Gruppe gehören die **Nitroverbindungen.** Das sind organische Verbindungen, bei denen das Stickstoffatom der Nitrogruppe $-NO_2$ direkt an ein Kohlenstoffatom eines organischen Restes gebunden ist. Als Explosivstoffe kommen fast ausschließlich aromatische Nitroverbindungen in Betracht. Beispiele hierfür sind Trinitrotoluol (Trotyl) und Trinitrophenol (Pikrinsäure).
Diese Nitroverbindungen werden durch Substitutionsreaktionen hergestellt. Bei der Umsetzung von aromatischen Verbindungen mit Salpetersäure werden Wasserstoffatome des aromatischen Ringes durch Nitrogruppen substituiert, zum Beispiel:



[1] briser (franz.) = zerbrechen

● *Welche aromatische Nitroverbindung haben Sie bereits kennengelernt?*
Wie wird diese Verbindung hergestellt und wozu wird sie verwendet?
Wie bezeichnet man Reaktionen, bei denen Nitrogruppen eingeführt werden?

▶ **Die meisten Explosivstoffe sind oder enthalten organische Nitrate (Salpetersäureester) oder Nitroverbindungen.**

Die chemischen Reaktionen bei den Explosionsvorgängen sind fast ausschließlich Oxydationen, zum Beispiel:

$$4\ C_3H_5(ONO_2)_3 \rightarrow 12\ CO_2 + 10\ H_2O + 6\ N_2 + O_2\,.$$

Propantrioltrinitrat

● *Berechnen Sie anhand der angegebenen Reaktionsgleichung die Gasmenge (Liter im Normzustand), die aus 90,8 g Propantrioltrinitrat entsteht!*

Die Auslösung einer Explosion kann aus sehr verschiedenen Gründen (Funke, Stoß, Schlag usw.) schon während der Herstellung, aber auch beim Trocknen, Verpacken, Umfüllen, Transportieren oder Mischen mit anderen Stoffen erfolgen und sehr gefährliche Auswirkungen haben. Deshalb sind die Herstellung, der Besitz beziehungsweise die Lagerung von Explosivstoffen sowie der Umgang mit ihnen nur hierfür ausgebildeten Personen, die außerdem eine besondere Genehmigung besitzen müssen, gestattet.
Diese strengen Vorschriften sind notwendig, damit nicht durch unbefugten oder fahrlässigen Umgang mit Explosivstoffen Menschenleben oder Sachwerte in Gefahr gebracht werden. Wer diese Verbote mißachtet, wird bestraft.

▶ **Herstellung, Besitz und Gebrauch von Explosivstoffen sind nur Personen mit besonderer Genehmigung gestattet! Funde von Sprengkörpern und Munition sind sofort der Volkspolizei zu melden!**

3. Einteilung der Explosivstoffe. Die Explosivstoffe werden je nach Wirkung und Verwendung in verschiedene Gruppen eingeteilt:
Schießstoffe sind verhältnismäßig langsam reagierende Explosivstoffe. Die sich bei ihrer Explosion entwickelnden Gase wirken hauptsächlich schiebend und können dazu verwendet werden, Geschosse aus dem Lauf einer Schußwaffe mit großer Geschwindigkeit herauszutreiben. Die Geschosse erhalten dabei eine große Flugweite und Durchschlagskraft. Das Geschoß muß jedoch in Bewegung kommen, bevor der Schießstoff völlig verbrannt ist. Bei zu raschem Verlauf der Explosion würde die Wandung der Waffe verformt oder gesprengt werden. Dasselbe geschieht auch, wenn das Geschoß im Lauf gehemmt wird (Schmutz oder Rost im Lauf, Verschluß durch Mündungsdeckel). Die Zersetzung (Verbrennung) des Schießstoffes soll jedoch beendet sein, wenn sich das Geschoß im Lauf der Mündung nähert. Die im Schießstoff enthaltene Energie wird in den Gewehren, Geschützen usw. nur unvollkommen als Bewegungsenergie auf das Geschoß übertragen, ein großer Teil (70 bis 80%) geht als Wärme (Heißwerden des Laufes) und durch die ausströmenden Gase, die die Erschütterung der Luft verursachen, verloren. Je kürzer der Lauf der Waffe ist, desto unvollkommener ist die Energieübertragung auf das Geschoß.

Sprengstoffe explodieren viel schneller als Schießstoffe. Die bei der Detonation von brisanten Explosivstoffen sich entwickelnden heißen Gase wirken auf die Umgebung zertrümmernd.
Zündstoffe oder Zündmittel dienen zur Zündung von Schieß- und Sprengstoffen.

Die Explosivstoffe werden in drei Hauptgruppen eingeteilt: Schießstoffe, Sprengstoffe und Zündstoffe.

Schießstoffe

1. Schwarzpulver. Schwarzpulver ist ein Gemenge aus Kaliumnitrat, Holzkohle und Schwefel. Dieser Schießstoff wurde bereits im 12. Jahrhundert in China erfunden. In Deutschland wurde das Schwarzpulver vermutlich um 1250 von dem Freiburger Berthold Schwarz erstmalig hergestellt.
Schwarzpulver wurde durch etwa sechs Jahrhunderte als Schießstoff verwendet, hat jedoch heute keine große Bedeutung mehr. In gewissem Umfang wird es noch in der Feuerwerkerei und zur Füllung von Zeitzündschnüren verwendet.

Schwarzpulver besteht aus Kaliumnitrat, Holzkohle und Schwefel. Es wird zur Herstellung von Zündschnüren und Feuerwerkskörpern verwendet.

2. Rauchschwache Pulver. Behandelt man Zellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ mit Salpetersäure, so bilden sich Zellulosenitrate. Diese Reaktion ist eine Esterbildung. Sie ist deshalb möglich, weil das Zellulosemolekül zahlreiche Hydroxylgruppen enthält. Auf einen Baustein $-C_6H_{10}O_5-$ entfallen drei Hydroxylgruppen. Man kann daher für Zellulose auch die folgende Formel schreiben:

$$[C_6H_7O_2 \cdot (OH)_3]_n$$

Je nach der Konzentration der zur Veresterung verwendeten Salpetersäure entstehen Mono-, Di- oder Trinitrate der Zellulose, zum Beispiel:

$[C_6H_7O_2(OH) \cdot (NO_3)_2]_n$ — Zellulosedinitrat

$[C_6H_7O_2 \cdot (NO_3)_3]_n$ — Zellulosetrinitrat

● *Reicht der in Zellulosetrinitrat enthaltene Sauerstoff aus, um allen Kohlenstoff zu Kohlendioxid und Wasserstoff zu Wasser umzusetzen, oder wird sich bei dieser Explosion auch Kohlenmonoxid bilden müssen?*

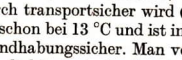
Liegen als Reaktionsprodukte hauptsächlich Zellulosedinitrate vor, so nennt man das Erzeugnis **Kollodiumwolle. Schießbaumwolle** besteht dagegen im wesentlichen aus Zellulosetrinitrat und ist eine hochbrisante Substanz.
Sowohl Kollodiumwolle als auch Schießbaumwolle bilden den Grundbestandteil aller rauchschwachen Pulver. Sie werden zu diesem Zweck in ein gelatineartiges Produkt umgewandelt („gelatiniert"). Die **Gelatinierung** wird durchgeführt, indem man die Zellulosenitrate mit geeigneten organischen Lösungsmitteln behandelt. Danach werden die Lösungsmittel durch Verdampfen entfernt. Nach dieser Behandlung sind die

Zellulosenitrate weniger brisant und deshalb als Schießstoffe geeignet. Die gelatinierten Produkte werden meist zu Blättchen, Röhrchen oder Streifen verformt. Durch bestimmte Oberflächenbehandlung kann die Verbrennungsgeschwindigkeit dieser Schießstoffe noch beliebig abgestuft werden. Das rauchschwache Schießpulver, das als Treibmittel für schwere Artilleriegeschosse verwendet wird, ist etwas anders zusammengesetzt. Hierzu verwendet man als Gelatinierungsmittel Propantrioltrinitrat, das aber in der Pulvermasse verbleibt und deren Treibkraft bedeutend erhöht. Für bestimmte Zwecke stellt man auch Gemische aus Zellulosenitraten und Äthandioldinitrat (Glykoldinitrat) her.

Die rauchschwachen Pulver bestehen hauptsächlich aus gelatinierten Zellulosenitraten.

Sprengstoffe

1. Dynamite. Läßt man Salpetersäure auf Propantriol einwirken, so entsteht ein Ester, das **Propantrioltrinitrat.** Propantrioltrinitrat ist ein schwach gelbliches, wasserunlösliches hochexplosives Öl. Bereits durch Stoß oder Schlag kann eine heftige Detonation ausgelöst werden. Wegen dieser Eigenschaften war Propantrioltrinitrat trotz seiner hohen Sprengkraft zunächst kaum als Sprengstoff zu verwenden. Erst durch die Erfindung des schwedischen Ingenieurs ALFRED NOBEL gelang es 1867, aus dem gefährlichen „Sprengöl" einen handhabungssicheren Sprengstoff zu machen. Der NOBELsche Sprengstoff wurde **Dynamit**[1] (genauer **Gurdynamit**) genannt und ist eine knetbare Masse, die durch Aufsaugen von Propantrioltrinitrat in Kieselgur hergestellt wurde. Das alte Gurdynamit wird heute kaum mehr verwendet, da Kieselgur nur als volumen- und gewichtsvergrößernder Ballaststoff wirkt. In neuerer Zeit gelatiniert man Propantrioltrinitrat oft mit Kollodiumwolle. Man erhält auf diese Weise die **Sprenggelatine,** die mit Holzmehl, Natriumnitrat, Ammoniumnitrat und anderen Stoffen vermischt und dadurch transportsicher wird **(Gelatinedynamite).**
Propantrioltrinitrat erstarrt schon bei 13 °C und ist in festem Zustand, selbst in Form von Dynamit, nicht mehr handhabungssicher. Man verwendet daher jetzt häufig anstelle dieses Stoffes das Äthandioldinitrat, das fast frostunempfindlich ist:



Äthandioldinitrat (Glykoldinitrat)

● *Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Explosion von Äthandioldinitrat auf unter der Annahme, daß hierbei Kohlendioxid, Wasser und Stickstoff entstehen!*

Gelatinedynamit detoniert mit einer Geschwindigkeit von etwa 6400 $m \cdot s^{-1}$. Aus einem Kilogramm dieses Sprengstoffes entwickeln sich 600 l Gase (berechnet auf den Normzustand), die sich bei der Explosionstemperatur von rund 4000 °C gewaltig ausdehnen und einen außerordentlich hohen Druck auf die Umgebung ausüben. Deshalb werden die Dynamite überall dort eingesetzt, wo eine hohe Sprengwirkung erwünscht ist und

[1] dynamis (griech.) = Bewegung

sich die unvermeidliche starke Zersplitterung des gesprengten Materials nicht nachteilig auswirkt, zum Beispiel bei Tunnelbauten, Unterwassersprengungen, im Erzbergbau usw.

Dynamite bestehen hauptsächlich aus dem Trinitrat des Propantriols beziehungsweise dem Dinitrat des Äthandiols. Durch Gelatinieren mit Kollodiumwolle und Zumischen verschiedener Stoffe erhält man die (handhabungssicheren) Gelatinedynamite.

2. Sicherheitssprengstoffe. Würde man in Steinkohlenbergwerken oder in schlagwettergefährdeten Salzbergwerken Sprengungen mit den bisher genannten Explosivstoffen vornehmen, so käme es, ausgelöst durch die Stichflamme der Sprengung, zu Explosionen von Kohlenstaub- oder Grubengas-Luft-Gemischen. Aus diesem Grunde wurden für Sprengungen, bei denen die Gefahr von Schlagwetterkatastrophen besteht, besondere Explosivstoffe entwickelt, die als **Sicherheitssprengstoffe** oder **Wettersprengstoffe** bezeichnet werden. Die Sicherheitssprengstoffe weisen eine geringe Detonationsgeschwindigkeit auf. Der erzeugte Gasdruck ist geringer als bei den anderen Sprengstoffen. Die Explosionstemperatur beträgt höchstens 1800 bis 2000 °C. Sie erzeugen ferner nur eine Explosionsflamme von kurzer Dauer und geringer Länge.

Hauptbestandteil vieler Sicherheitssprengstoffe ist das Ammoniumnitrat, dem Holzmehl sowie kleine Mengen von Propantrioltrinitrat und Trinitrotoluol zugemischt werden. Ferner enthalten die Sicherheitssprengstoffe größere Mengen von Natriumchlorid oder anderen ähnlich wirkenden Salzen. Natriumchlorid verdampft und entzieht dadurch der Explosionsflamme beträchtliche Wärmemengen. Außerdem löscht der Natriumchloriddampf rasch die Flamme. Große Bedeutung hat die Zusammensetzung der Sicherheitssprengstoffe. Das Mengenverhältnis der Bestandteile wird so gewählt, daß mehr Sauerstoff vorhanden ist, als für die Explosionsreaktion benötigt wird. Man unterbindet auf diese Weise die Bildung brennbarer Explosionsgase, die Ursache des gefährlichen Nachflammens sind.
Zur Erhöhung der Schlagwettersicherheit wurden die „ummantelten Wettersprengstoffe" entwickelt. Bei diesen ist der eigentliche Sicherheitssprengstoff von einem mehrere Millimeter starken Mantel umgeben, der aus einem Gemisch von Natriumchlorid, Natriumhydrogenkarbonat und etwa 15% Propantrioltrinitrat besteht. Durch die Explosion verdampft der Mantel und bildet nur 400 °C heiße Schwaden, die die etwa 2000 °C heißen Explosionsgase einhüllen. Auf diese Art wird mit Sicherheit die Entzündung eventuell vorhandener explosibler Gasgemische vermieden.

Sicherheitssprengstoffe sind besonders zusammengesetzte Sprengstoffe für schlagwettergefährdete Bergwerke.

Zündstoffe – Zündmittel

1. Zündschnur. Zur gefahrlosen Zündung von Sprengladungen bei Tunnelbauten, in Bergwerken, Steinbrüchen usw. werden Zündschnüre verwendet. Für gewöhnliche Sprengungen verwendet man langsam brennende, sogenannte **Zeitzündschnüre (Pulverzündschnüre)**. Das sind hohle Gewebeschnüre, die mit Schwarzpulver gefüllt und außen mit Teer überzogen sind. Für Unterwassersprengungen sind die Zündschnüre noch mit einer Polyvinylchlorid-Schutzschicht umspritzt. Die Pulverfüllung solcher Zündschnüre brennt mit einer Geschwindigkeit von etwa 60 cm · min^{-1} ab.

Für besondere Zwecke werden **Knallschnüre (Sprengschnüre)** eingesetzt. Sie enthalten als Füllung rasch detonierende Explosivstoffe, zum Beispiel Knallquecksilber. Die Zündung verläuft in diesen Zündschnüren mit einer Geschwindigkeit bis zu 7500 $m \cdot s^{-1}$. Knallschnüre werden meist elektrisch gezündet und dienen unter anderem zur gleichzeitigen Zündung mehrerer Sprengladungen.

Zündschnüre dienen zur Zündung von Explosivstoffen. Zeitzündschnüre besitzen eine Füllung aus Schwarzpulver, während die Knallschnüre mit rasch detonierenden Sprengstoffen gefüllt sind.

2. Initialzünder. Viele Schieß- und Sprengstoffe können nicht durch Schlag, Stoß oder durch die Hitze einer brennenden Zündschnur zur Explosion gebracht werden. So sind zum Beispiel die gelatinierten Zellulosenitrate, die in Gewehrpatronen verwendet werden, so stoß- und druckunempfindlich, daß sie durch den Aufschlag des beim Abdrücken vorschnellenden Bolzens nicht gezündet werden können. Mit den gewöhnlichen Pulverzündschnüren sind weder Propantrioltrinitrat noch Trinitrotoluol oder Trinitrophenol zur Detonation zu bringen. In derartigen Fällen werden besondere Zündmittel benötigt.

Nobel kam als erster auf die Idee, träge Explosivstoffe durch kleine Mengen hochempfindlicher Sprengstoffe zu zünden. Man nennt solche Stoffe, die bereits durch geringen Schlag oder Funken detonieren und durch ihre Brisanz die Detonation auch auf träge Sprengstoffe übertragen, **Initialsprengstoffe**[1].

Wichtige Initialsprengstoffe sind zum Beispiel das **Knallquecksilber** und das **Bleiazid.**

$Hg(ONC)_2$	$Pb(N_3)_2$
Knallquecksilber	Bleiazid

Beide Verbindungen sind hochempfindlich gegen Schlag, Stoß, Reibung und Erwärmung. Bleiazid ist in seiner Initialwirkung dem Knallquecksilber bedeutend überlegen und außerdem unempfindlich gegen Feuchtigkeit.

Initialsprengstoffe detonieren leicht und übertragen durch ihre Brisanz die Detonation auf träge Explosivstoffe. Wichtige Initialsprengstoffe sind Knallquecksilber und Bleiazid.

Die Initialsprengstoffe werden, um sie handhabungssicher zu machen, in Metallhülsen gepreßt. Die gefüllten, 4 cm langen Hülsen aus Kupfer, Zink oder Aluminium werden als **Sprengkapseln** bezeichnet. Zur Erhöhung der Wirkung verwendet man heute nur Sprengkapseln, die außer dem Initialsprengstoff noch eine Unterladung – bestehend aus einem besonderen Sprengstoff – aufweisen (Abb. 135). Die Metallhülse ist bis fast zur Hälfte mit einem Spreng-

[1] initium (latein.) = Anfang, Beginn



Abb. 135 Sprengkapsel

stoff (Unterladung) gefüllt. Darüber wird der Initialsprengstoff (Aufladung) zusammen mit einem Deckhütchen aufgepreßt, dessen Bodenplatte durchlocht ist. Für eine Sprengung setzt man die Sprengkapsel in den Sprengstoff, führt in den Leerraum der Hülse vorsichtig das Ende einer Zündschnur ein und entzündet dann das andere Ende der Zündschnur.

Zur Zündung von Pulverladungen in Patronen dienen **Zündhütchen.** Die Zündhütchen sind kleine Metallnäpfchen, die eine geringe Menge (20 bis 50 mg) Knallquecksilber oder andere Initialsprengstoffe enthalten, welche durch Schlag gezündet werden.

Initialsprengstoffe werden in Form von Sprengkapseln oder Zündhütchen angewendet. Sprengkapseln dienen zur Zündung von Sprengladungen. Mit Zündhütchen werden Pulverladungen von Patronen gezündet.

Bedeutung der Explosivstoffe

Das älteste Anwendungsgebiet der Explosivstoffe in der Wirtschaft ist der Bergbau. Beim Abbau von Kalkstein, Erzen, Erden, Salzen, Gesteinen und teilweise auch von Steinkohlen sind Sprengstoffe wichtige Hilfsmittel geworden. Sie dienen zum Absprengen von Teilen größerer Lagerstätten (z. B. bei Gesteinen, Erzen), zum Lockersprengen (z. B. bei Kohlen, Salzen, Erden) oder zum Zerkleinern größerer Brocken (z. B. bei Gesteinen). Am meisten angewandt werden Verfahren, bei denen die **Sprengung in einem Bohrloch** durchgeführt wird. Das Bohrloch muß so lang sein, daß nach dem Einführen der Sprengladung noch ein freier Raum von etwa einem Drittel der Gesamtlänge verbleibt (Abb. 136). Dieser freie Teil wird anschließend mit Lehm oder Sand ausgefüllt (verdämmt). Auf diese Weise kann die Detonation in einem geschlossenen Raum erfolgen und hat deshalb eine wesentlich größere Wirkung. Die Sprengladung wird von einem genügend weit entfernten Ort gezündet. Meist bringt man eine größere Anzahl von Sprengladungen gleichzeitig zur Detonation. Beim Abbau von steilen Wänden (z. B. in Steinbrüchen) treibt man am Fuße der Wand Stollen und Querstollen in das Gestein, so daß die Wand nur noch auf Pfeilern ruht. Die Pfeiler werden schließlich gesprengt; dadurch wird die Wand zum Einsturz gebracht.

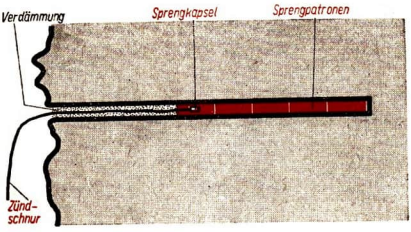


Abb. 136 Sprengladung in einem Bohrloch

Dieses Verfahren bezeichnet man als **Pfeilerbruchsturz-Verfahren.** Eine andere Möglichkeit ist die Anwendung einer **Säulenladung.** Hierbei werden von oben in die Wand mehrere senkrechte Bohrlöcher getrieben, mit Sprengladungen gefüllt und verdämmt (Abb. 137). Die Ladungen werden gleichzeitig zur Detonation gebracht. Dadurch erreicht man den Abbruch und Einsturz der Gesteinsmassen.



Abb. 137 Säulenladung

In vielen Fällen soll die Sprengung nicht nur das Gestein oder Erdreich zerkleinern, sondern gleichzeitig auch mit so großer Kraft auswerfen, daß die Trümmer in der Umgebung der Sprengstelle niederfallen. Zu diesem Zweck werden in der gewünschten Tiefe Kammern angelegt und mit starken Sprengstoffladungen gefüllt. Der Zugang wird dann wieder verdämmt. Bei dieser Art der Sprengung entstehen trichterförmige Vertiefungen (Abb. 138). Legt man mehrere solcher Ladungen hintereinander an, so entsteht nach der Sprengung ein von Böschungen eingefaßter Graben.

Die verschiedenen Sprengverfahren werden in großem Umfange auch beim Bau von Verkehrswegen und Tunnels im Gebirge, von Gräben und Kanälen und bei anderen Baustellen, bei denen umfangreiche Erdbewegungen notwendig sind, angewandt. Bei der Errichtung von Wasserkraftwerken und anderen Großbauten in der Sowjetunion wurden Sprengungen von großem Ausmaß durchgeführt. Dadurch konnten gewaltige Erdbewegungen, die auch mit den modernsten Maschinen mehrere Jahre erfordert hätten, in sehr kurzer Zeit bewältigt werden.

Auch bei der Erschließung von Rohstoffvorkommen haben sich Explosivstoffe bewährt. Sie erleichtern das Abräumen von Deckschichten über Bodenschätzen, die im Tagebau gewonnen werden sollen. Beim Aufschluß der Braunkohlenlager im Gebiet von Krasnojarsk in der Sowjetunion wurden zum Beispiel mit vier Einzelsprengungen rund 390000 m³ Abraum ausgehoben. In Erdölgebieten tritt es häufig ein, daß aus angebohrten Lagern das Erdöl plötzlich fontänenartig zutage tritt. Durch Sprengungen kann in solchen Fällen die Quelle schnell verschlossen und ein weiteres Ausströmen verhindert werden.

Große Arbeitserleichterungen bieten Explosivstoffe auch beim Abriß von Ruinen, bei der Beseitigung von Eisstauungen, beim Roden von Baumstümpfen und bei vielen anderen Arbeiten.

Diese Beispiele zeigen, welche große wirtschaftliche Bedeutung die Explosivstoffe heute haben. Andererseits sind aber die gewaltigen Kräfte, die durch Explosivstoffe ausgelöst werden können, in der Geschichte der Menschheit immer wieder mißbraucht worden, um als Vernichtungswaffen Tod und Zerstörung zu bringen. Allein im zweiten Weltkrieg mußten rund 30 Millionen Menschen ihr Leben lassen. Städte, Dörfer, Industrieanlagen und Verkehrswege

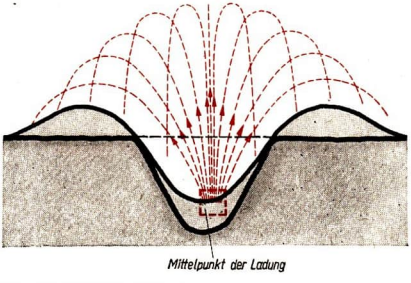


Abb. 138 Trichtersprengung

wurden zerstört. Die Kriegsschäden des zweiten Weltkrieges wurden auf 1350 Milliarden Dollar geschätzt. Noch heute legen Ruinen und Trümmerstätten Zeugnis von den Schrecken des Krieges ab. Diese Tatsachen mahnen eindringlich, uns für die Erhaltung des Friedens und gegen einen neuen Krieg einzusetzen.

Seit 1945 ist das Friedenslager in der Welt ständig gewachsen. Immer mehr Menschen in allen Ländern der Erde treten für einen dauerhaften Frieden ein. In unserer Republik wurde die Macht der Militaristen und Kriegstreiber für immer gebrochen. In Westdeutschland sind dagegen heute schon wieder militaristische und faschistische Kräfte dabei, neue Angriffsarmeen aufzustellen, Massenvernichtungswaffen zu entwickeln und Kriegspläne auszuarbeiten.

Seit 1945 hat es eine große Anzahl von Vorschlägen der Sowjetunion und der anderen sozialistischen Länder gegeben, Abrüstungsabkommen zu treffen, den Umfang der militärischen Streitkräfte zu vermindern, Waffen zu vernichten und die friedliche Zusammenarbeit aller Länder zu garantieren.

Solange es jedoch noch nicht zu einem allgemeinen, umfassenden Abrüstungsabkommen zwischen allen Ländern gekommen ist, sind die sozialistischen Länder gezwungen, schlagkräftige Armeen zu unterhalten, die mit den modernsten Mitteln der Kriegstechnik ausgerüstet und in der Lage sind, jeden feindlichen Angriff abzuwehren.

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Erläutern Sie den Begriff „Explosivstoffe"!
2. Vergleichen Sie den gewöhnlichen Verbrennungsvorgang mit einer Explosion!
3. Was versteht man unter einer Detonation?
4. Erläutern Sie den Begriff „Brisanz" und nennen Sie brisante Explosivstoffe!
5. Warum explodiert Schwarzpulver mit schwächerer Wirkung als zum Beispiel Trinitrotoluol?
6. Stellen Sie die Bildungsgleichung für Propantrioltrinitrat auf und erläutern Sie den Charakter dieser Reaktion
7. Warum ist die Bezeichnung „Nitroglyzerin" für die Verbindung $C_3H_5(O—NO_2)_3$ falsch?
8. Durch welche Reaktion wird Trinitrotoluol hergestellt?
9. Vergleichen Sie die Reaktionsprodukte, die bei der Umsetzung der Salpetersäure mit Zellulose und mit Toluol entstehen!
10. Charakterisieren Sie die Schießstoffe und nennen Sie Beispiele!
11. Welche Eigenschaften besitzen Sprengstoffe?
12. Wozu dienen Initialsprengstoffe und welche Eigenschaften haben sie?
13. Welche Zusammensetzung hat Schwarzpulver und wozu wird es verwendet?
14. Wie wird rauchschwaches Pulver hergestellt?
15. Erläutern Sie den Begriff „Dynamite" und sprechen Sie über die Zusammensetzung dieser Sprengstoffe!
16. Was versteht man unter Sicherheitssprengstoffen und welche Eigenschaften haben diese Stoffe?
17. Erläutern Sie die Zusammensetzung der Sicherheitssprengstoffe in Hinblick auf deren typische Eigenschaften!
18. Was sind „ummantelte Wettersprengstoffe" und wie wirken sie?
19. Sprechen Sie über Bau, Eigenschaften und Verwendung von Zeitzündschnüren!
20. Wodurch unterscheiden sich Knallschnüre von Pulverzündschnüren?
21. Erläutern Sie an einer Skizze Bau und Wirkung einer Sprengkapsel!

22. Was sind Zündhütchen und wie wirken sie?
23. Wie wird die Sprengung in einem Bohrloch durchgeführt?
24. Erläutern Sie die Durchführung einer Sprengung durch Anwendung einer Säulenladung!
25. Sprechen Sie über die volkswirtschaftliche Bedeutung der Sprengstoffe!
26. Berechnen Sie die Menge von Propantrioltrinitrat, die bei der vollständigen Veresterung von 368 g Propantriol entsteht!
27. Wieviel Salpetersäure wird theoretisch benötigt, um 136,2 g Propantrioltrinitrat herzustellen?
28. Wieviel Trinitrotoluol entsteht theoretisch bei der vollständigen Nitrierung von 460 g Toluol?
29. Welche Menge Salpetersäure wird theoretisch für die Bildung von 68,1 g Trinitrotoluol benötigt?
30. Wieviel Wasser entsteht bei der Bildung von 90,8 kg Trinitrotoluol aus Toluol und Salpetersäure?

Organisch-chemisches Praktikum – Schülerversuche

Das Praktikum dient der zusammenfassenden Wiederholung unserer Kenntnisse aus der organischen Chemie. Es ermöglicht uns auch die praktische Anwendung erworbener Kenntnisse und Fertigkeiten bei Untersuchungen und Darstellungen organischer Verbindungen.
Bei der Lösung der im Praktikum gestellten Aufgaben können die Versuchsbeschreibungen dieses Lehrbuchs als Unterstützung dienen. Im folgenden werden dazu einige Hinweise gegeben. Es sind Versuche aus den Kapiteln 1 bis 12 des Lehrbuches (nur durch eine Nummer gekennzeichnet, z. B. Versuch 7) und aus dem Abschnitt „Schülerversuche" dieses Kapitels (durch den Buchstaben S und eine Nummer gekennzeichnet, z. B. Versuch S 2) angeführt.

Qualitative elementaranalytische Untersuchungen

1. Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff. Versuche 7 (Seite 17), 8 (Seite 17), 26 (Seite 86) und S 2 (Seite 256). Diese Versuche eignen sich als Nachweisreaktionen für Wasserstoff nur für solche Verbindungen, die ohne Rußbildung verbrennen.
Versuch S 2 (Seite 256). Diese Methode kann bei allen organischen Stoffen, sofern sie nicht einen zu niedrigen Siedepunkt besitzen, angewendet werden. Bei Durchführung a müssen wir bei Beendigung des Versuches das Glas mit Bariumhydroxidlösung vom Gasableitungsrohr entfernen, ehe wir das Erhitzen des waagerecht eingespannten Reagenzglases unterbrechen.

2. Nachweis von Stickstoff. Versuch 1 (Seite 10). Die Durchführung dieses Versuches erfordert große Vorsicht. Arbeiten Sie unter dem Abzug oder verwenden Sie eine Schutzbrille! Achten Sie darauf, daß beim Eintauchen des glühenden Reagenzglases in das Becherglas mit destilliertem Wasser die Mündung des Reagenzglases auf keine Person gerichtet ist. Weiter muß beim Erhitzen des alkalischen Filtrats dauernd geschüttelt werden, da diese Flüssigkeit zum Siedeverzug neigt. Auch hier darf die Öffnung des Glases auf keine Person gerichtet sein.
Versuch S 3 (Seite 257). Zu diesem Stickstoffnachweis soll möglichst frisches Grieß-Reagens verwendet werden. Bei der Durchführung dieser Probe muß darauf geachtet werden, daß die heißen Flammengase des Brenners nicht das mit Grieß-Reagens getränkte Filterpapier treffen.
Versuch S 48 (Seite 277). Diese Form des Stickstoffnachweises ist sehr einfach. Sie eignet sich aber nur für die Untersuchung von Eiweiß und ähnlich reagierenden Verbindungen.

3. Nachweis von Schwefel. Versuch 2 (Seite 11). Dieser Versuch wird vorteilhaft in Verbindung mit einem Stickstoffnachweis nach Versuch 1 durchgeführt, zum Beispiel wenn ein Plast auf Schwefel und Stickstoff untersucht werden soll.

Versuch S 49 (Seite 277). Dieser Schwefelnachweis ist sehr einfach. Er läßt sich jedoch nur bei Verbindungen wie zum Beispiel den Eiweißen durchführen, die von Natronlauge unter Bildung von Natriumsulfid zersetzt werden.

4. Nachweis von Halogenen. Versuch 3 (Seite 11). Diese Untersuchung dient nicht nur zum allgemeinen Halogennachweis, sondern sie zeigt auch, welches Halogen in der analysierten Substanz vorhanden ist.
Versuch S 4 (Seite 258). Diese Probe ist sehr einfach in ihrer Durchführung. Sie dient jedoch nur als allgemeiner Halogennachweis.

Identifizierungsreaktionen der funktionellen Gruppen der Alkanole, der Alkanale und der Alkansäuren

1. Alkanole. Charakteristisch für die Hydroxylgruppe der (primären) Alkanole ist, daß sie sich durch Oxydation in die Aldehydgruppe —CHO überführen läßt.
Versuche 33 (Seite 98), S 33 (Seite 271) und S 34 (Seite 272). Bei diesen Versuchen werden die entstandenen Alkanale am Geruch erkannt.
Versuche S 36 (Seite 273) und S 38 (Seite 273). Hier werden die durch Oxydation gebildeten Alkanale mit fuchsinschwefliger Säure nachgewiesen.

2. Alkanale. Versuche 37 (Seite 101), 42 (Seite 104) und S 39 (Seite 274).

3. Alkansäuren. Versuche 43 (Seite 106), 44 (Seite 106), 46 (Seite 109), 48 (Seite 112), S 40 (Seite 275), S 41 (Seite 275) und S 42 (Seite 275).
Durch diese Reaktionen wird nachgewiesen, daß die untersuchten organischen Verbindungen Säuren sind.
Versuche 45 (Seite 109), 47 (Seite 110) und S 43 (Seite 275) dienen zur Identifizierung von Methansäure beziehungsweise Natriummethanat. Mit Hilfe der Versuche S 45 (Seite 276) und S 46 (Seite 276) werden speziell Äthandisäure beziehungsweise Äthandiate nachgewiesen.

4. Arbeitsgang einer systematischen Untersuchung. Wir untersuchen eine farblose Flüssigkeit, die Methanol, Äthanol oder eine wäßrige Lösung von Methanol, Äthanol, Methanal, Äthanal, Methansäure, Äthansäure beziehungsweise Äthandisäure sein kann. Um die organische Verbindung, die in der zu untersuchenden Substanz vorliegt, eindeutig festzustellen, führen wir folgende systematische Untersuchung durch: Zuerst prüfen wir mit Lackmuspapier nach Versuch S 40 auf saure Reaktion. Falls dies zutrifft, prüfen wir einen Teil der Probe nach Versuch S 45, ob die Substanz Reduktionsvermögen aufweist. Bei negativem Ausfall der Probe kann nur Äthansäure vorliegen. Falls Reduktionsvermögen festgestellt wurde, erfolgt Zugabe von 10%iger Kalziumäthanatlösung. Eine weiße Fällung weist auf Äthandisäure hin. Bildet sich kein Niederschlag, so enthält die Probe Methansäure.
Sollte die Substanz bei der am Anfang durchgeführten Prüfung mit Lackmuspapier neutrale Reaktion gezeigt haben, so versetzen wir einen Teil der Flüssigkeit mit fuchsinschwefliger Säure. Tritt Violettfärbung auf, so können Methanal oder Äthanal vorliegen. Wir fügen daher zur violetten Lösung konzentrierte Salzsäure nach Versuch 42. Verstärkt sich die Violettfärbung, so liegt Methanal vor. Ein Farbumschlag nach hellgelb beweist in unserem Falle Äthanal. Tritt bei der Zugabe von fuchsin-

schwefliger Säure keine Violettfärbung auf, so liegen Methanol oder Äthanol vor. In diesem Falle oxydieren wir einen Teil der Originalprobe mit 1%iger Kaliumpermanganatlösung nach Versuch S 36 und prüfen dann mit fuchsinschwefliger Säure und anschließend wieder mit konzentrierter Salzsäure. Auf diese Weise identifizieren wir die Oxydationsprodukte als Methanal oder Äthanal und können damit rückschließend Methanol oder Äthanol feststellen.

Dieser einfache Untersuchungsgang, der in der folgenden Übersicht zusammengefaßt ist, gibt uns auch einen Einblick in die systematische Arbeitsweise des analytisch tätigen Chemikers.

Übersicht über den Untersuchungsgang

<table>
<tr><td colspan="6">Prüfung der Substanz nach Versuch S 40</td></tr>
<tr><td colspan="3">saure Reaktion:
Methansäure
Äthansäure
Äthandisäure</td><td colspan="3">neutrale Reaktion:
Methanol
Äthanol
Methanal
Äthanal</td></tr>
<tr><td colspan="3">Prüfung auf Reduktionsvermögen mit schwefelsaurer Kaliumpermanganatlösung nach Versuch S 45</td><td colspan="3">Prüfung mit fuchsinschwefliger Säure</td></tr>
<tr><td colspan="2">Entfärbung:
Methansäure
Äthandisäure

Zugabe von 10%iger Kalziumäthanatlösung</td><td>keine Entfärbung:
Äthansäure</td><td colspan="2">keine Färbung:
Oxydation mit 1%iger Kaliumpermanganatlösung nach Versuch S 36 und anschließende Prüfung mit fuchsinschwefliger Säure und konzentrierter Salzsäure nach Versuch 42</td><td>Violettfärbung:
Zugabe von Konzentrierter Salzsäure nach Versuch 42</td></tr>
<tr><td>Fällung:
Äthandisäure</td><td>keine Fällung:
Methansäure</td><td></td><td>violette Färbung:
Methanol</td><td>hellgelbe Färbung:
Äthanol</td><td>violette Färbung:
Methanal</td><td>hellgelbe Färbung:
Äthanal</td></tr>
</table>

Nachweis der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung

1. Bei Äthen und anderen Kohlenwasserstoffen. Versuch 16 (Seite 33), 17 (Seite 34), S 10 (Seite 262) und S 20 (Seite 267).

2. Bei Oktadekensäure. Versuch 51 (Seite 116) und Versuch S 57 (Seite 280).

Darstellung einiger organischer Substanzen

1. Methan. Darstellung aus Natriumäthanat und Natronkalk nach Versuch 6 (Seite 16) oder S 5 (Seite 258).

2. Äthen. Darstellung aus Äthanol und konzentrierter Schwefelsäure nach Versuch 14 (Seite 32).
Darstellung aus Äthanol durch katalytische Wasserabspaltung nach Versuch S 9 (Seite 260).

3. Äthanal. Darstellung aus Äthin durch katalytische Wasseranlagerung nach Versuch 41 (Seite 103).
Darstellung durch Oxydation von Äthanol mit schwefelsaurer Dichromatlösung nach Versuch S 38 (Seite 273).

4. Äthansäure. Darstellung aus Natriumäthanat durch Verdrängung mit konzentrierter Schwefelsäure nach Versuch S 44 (Seite 276).

5. Äthyläthanat. Darstellung aus Äthanol und Äthansäure unter Zugabe von wasserfreiem Zinkchlorid nach Versuch 57 (Seite 130) oder in der Durchführung, wie sie bei Versuch S 53 (Seite 279) beschrieben ist. Darstellung aus Äthanol, Natriumäthanat und konzentrierter Schwefelsäure nach Versuch S 52 (Seite 278).

6. Natriumseife. Darstellung aus Fettsäuren und Natronlauge nach Versuch S 59 (Seite 281).

Einfache fraktionierte Destillation

Die Destillation von Paraffinöl wird nach Versuch S 13 (Seite 263) durchgeführt. Werden andere Gemische destilliert, so muß je nach der eingesetzten Substanz eine besondere Kondensationseinrichtung (z. B. ein Mohrscher Kühler) an den Destillierkolben angeschlossen werden. Bei der fraktionierten Destillation von rohem Erdöl und verwandten Stoffgemischen muß wegen der am Anfang der Destillation auftretenden leicht entzündlichen Gase und Dämpfe mit größter Vorsicht und unter Beachtung aller Unfallverhütungsvorschriften zu Werke gegangen werden. Derartige Versuche sind deshalb besonders gefährlich, weil die gasförmigen (bzw. dampfförmigen) niedrigmolekularen Kohlenwasserstoffe mit Luft explosible Gemische bilden. Von der fraktionierten Destillation von Benzin und dergleichen muß dringend abgeraten werden.

Versuche mit Plasten und Fasern

1. Identifizierung von Plasten. Proben von unbekannten Plasten werden folgendermaßen untersucht:
a) Unterscheidung nach Versuch S 73 (Seite 286). Schmilzt die Probe, dann liegt ein Thermoplast vor. Tritt Verkohlung ohne vorhergehendes Schmelzen ein, dann gehört die untersuchte Probe zu den Duroplasten.

b) Untersuchung durch die Brennprobe nach Versuch S 74 (Seite 286) und Auswertung der Beobachtungen mittels der zugehörigen Tabelle (Seite 287).
c) Bestimmung von Plasten auf Grund einfacher Analysen. Die Plaste werden auf Stickstoff und Schwefel nach Versuch 1 (Seite 10) und 2 (Seite 11) und auf Halogene nach Versuch 3 (Seite 11) oder S 4 (Seite 258) untersucht. Anschließend wird der jeweils analysierte Plast mit Hilfe der folgenden Tabelle in eine bestimmte Plastgruppe eingestuft.

Bestimmung von Plasten durch Elementaranalyse

nachgewiesene Elemente	Thermoplaste	Duroplaste
nur Stickstoff	Polyamide Zelluloid Polyakrylnitril	bestimmte Aminoplaste
nur Schwefel	Gummi und Hartgummi auf Basis von Zahlenbuna, Buna S und Naturkautschuk	
nur Chlor	Polyvinylchlorid PC-Faser Chlorkautschuk	—
Stickstoff und Schwefel	vulkanisiertes Perbunan	bestimmte Aminoplaste
Chlor und Schwefel	vulkanisierter Chlorkautschuk	—
weder Stickstoff noch Schwefel oder Chlor nachweisbar	Polyäthylen Polystyrol Polymethakrylat Polyvinylazetat Polyester Zelluloseazetate	Phenoplaste ausgehärtete Epoxydharze

Mit Hilfe dieser drei Untersuchungen ist es in den meisten Fällen möglich, Plaste unbekannter Zusammensetzung zu identifizieren.

2. Untersuchung von Faserarten durch die Brennprobe. Die Identifizierung unbekannter Faserarten erfolgt in erster Linie durch die Brennprobe nach Versuch 121 (Seite 234). In bestimmten Fällen können auch andere Reaktionen benutzt werden. So kann man zum Nachweis von Zellulosefasern, falls sie ungefärbt sind, die Reaktion mit Chlorzinkjodlösung nach Versuch 108 (Seite 186) heranziehen. Eiweißfasern können mit Hilfe der Eiweißreaktionen, Versuch S 50 und S 51 (Seite 278), festgestellt werden. Auch der Nachweis von Schwefel in einer Faserprobe nach Versuch S 49 (Seite 277) ist in den meisten Fällen ein Beweis für das Vorliegen von Eiweißfasern.

Schülerversuche

1. Untersuchung organischer Substanzen

S 1: Prüfung des Verhaltens organischer Stoffe

Tiegelzange (oder Reagenzglashalter), Messer, Brenner, Eisenblechstreifen (etwa 100 mm × 20 mm, V-förmig in der Längsachse gebogen).
Zucker, Stärke, Haare, Paraffin, Brot, Textilfasern, Seife, Papier.

Wir erhitzen die genannten organischen Stoffe auf einer Eisenblechrinne, die mit der Tiegelzange (oder dem Reagenzglashalter) gefaßt und in waagerechter Lage über die Flamme gehalten wird. Bevor eine neue Substanz erhitzt wird, müssen die Reste der vorigen mit einem Messer von dem Blech abgekratzt werden.

Wie verhalten sich die untersuchten Stoffe in der Hitze?
Vergleichen Sie die auftretenden Gerüche!

S 2: Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff in organischen Verbindungen

Durchführung a
2 Reagenzgläser (160 mm × 16 mm), durchbohrter Stopfen, rechtwinklig gebogenes Glasrohr (8 mm Außendurchmesser), Spatel, Stativmaterial, Brenner.
Benzin, Kerzenparaffin, Fett, Baumwolle, Dederon oder andere organische Stoffe, Kupfer(II)-oxid, Bariumhydroxidlösung (gesättigt).

Wir geben etwa 0,5 ml Benzin oder ein erbsengroßes Stück einer festen organischen Verbindung in ein trockenes Reagenzglas und füllen es dann bis zu einer Höhe von 3 bis 5 cm mit Kupfer(II)-oxid. Nun verschließen wir das Reagenzglas mit einem Stopfen, durch den ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr geführt ist, und spannen es horizontal an ein Stativ. Dabei soll das Reagenzglas nahe der Öffnung von der Klemme gehalten werden (Abb. 139). Ein zweites Reagenzglas füllen wir zu einem Viertel mit gesättigter Bariumhydroxidlösung und führen es über das Ende des Gasableitungsrohres.
Nun erhitzen wir das waagerecht eingespannte Reagenzglas in der Mitte, zunächst vorsichtig, dann kräftig und bewegen die Brennerflamme langsam zum Boden des Reagenzglases.

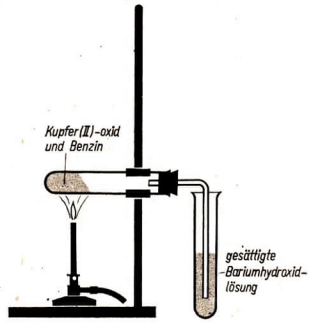


Abb. 139 Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff in organischen Verbindungen

Welche Veränderungen stellen Sie am Kupfer(II)-oxid fest?
Was beobachten Sie in der Bariumhydroxidlösung?
Was schließen Sie daraus?

Stellen Sie für die Vorgänge in beiden Reagenzgläsern Reaktionsgleichungen auf, wobei Sie für die organische Verbindung Oktan in die Gleichung einsetzen!
Welche Bedeutung hat die Tropfenbildung im kalten Teil des Reagenzglases, das Kupfer-(II)-oxid enthält?

Durchführung b
2 Reagenzgläser (100 × 12 mm), Reagenzglasständer, Spatel, Tropfpipette mit Gummihütchen, Reagenzglashalter, Brenner.
Benzin oder ein anderer organischer Stoff, Kupfer(II)-oxid, Bariumhydroxidlösung (gesättigt).

Wir geben in ein trockenes Reagenzglas etwa 0,5 ml Benzin oder eine kleine Menge eines anderen organischen Stoffes und füllen 3 bis 5 cm hoch mit Kupfer(II)-oxid auf. In ein zweites Reagenzglas gießen wir etwa 3 cm hoch gesättigte Bariumhydroxidlösung und stellen es zunächst ab. Nun fassen wir das Reagenzglas mit der Probe am oberen Ende mit dem Reagenzglashalter und erhitzen es (bei einer Schräglage von etwa 45°) in der Mitte, erst vorsichtig, dann kräftig. Dabei bewegen wir den unteren Teil des Reagenzglases langsam zur Flamme.

Beobachten Sie die Probe!

Bei Eintreten einer Farbänderung des Reaktionsgemisches unterbrechen wir das Erhitzen. Wir halten das Reagenzglas aufrecht und führen die Tropfpipette so weit ein, daß die Spitze bis nahe an die Festsubstanz heranreicht. Zu beachten ist, daß schon vor dem Einführen der Pipette das Gummihütchen zusammengepreßt gehalten werden muß. Hat die Spitze der Tropfpipette die feste Substanz beinahe erreicht, so verringert man langsam den Druck der Finger auf das Gummihütchen. Dadurch wird Gas aus dem unteren Teil des Reagenzglases in die Pipette gesaugt. Nun ziehen wir die Tropfpipette aus dem Reagenzglas und führen sie so weit in das zweite Glas mit der Bariumhydroxidlösung ein, daß die Spitze den Boden berührt. Das eingesaugte Gas wird durch mehrmaliges Zusammendrücken des Gummihütchens herausgepreßt.

Welche Veränderungen stellen Sie am Kupfer(II)-oxid fest?
Was beobachten Sie in der Bariumhydroxidlösung?
Was schließen Sie daraus?

Stellen Sie für die Vorgänge in beiden Reagenzgläsern Reaktionsgleichungen auf, wobei Sie für den organischen Stoff Oktan in die Gleichung einsetzen!

S 3: Nachweis von Stickstoff in organischen Verbindungen

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Spatel, Filterpapier, Brenner.
Harnstoff, Grieß-Reagens, Kupfer(II)-oxid oder Mangan(IV)-oxid (Braunstein).

Wir vermischen in einem trockenen Reagenzglas etwas von der zu untersuchenden Substanz mit pulverisiertem Kupfer(II)-oxid oder Mangan(IV)-oxid und überschichten das Gemisch etwa 5 cm hoch mit pulverisiertem Kupfer(II)-oxid oder Mangan(IV)-oxid. Dann rollen wir ein Stück Filterpapier zusammen, befeuchten es mit einigen Tropfen Grieß-Reagens und stecken die Rolle etwa zur Hälfte in das Reagenzglas. Nun fassen wir das Glas mit dem Reagenzglashalter und halten es

waagerecht in die Brennerflamme. Wir beginnen vor dem Kupferoxid zu erhitzen und rücken mit der Flamme langsam gegen den Boden des Reagenzglases vor. Falls in der zu untersuchenden Substanz Stickstoff vorhanden war, bilden sich durch Oxydation am Kupfer(II)-oxid (oder Mangan(IV)-oxid Stickoxide, die mit Grieß-Reagens unter Bildung eines roten Farbstoffes reagieren.

Was beobachten Sie auf dem Filterpapier?

S 4: Nachweis von Halogenen in organischen Verbindungen durch die Beilsteinprobe

2 Porzellanschälchen oder Uhrgläser, Kupferdraht (nicht zu dünn), Tiegelzange, Brenner.
Polyvinylchlorid, Salzsäure (konzentriert), Kupfer(II)-oxid.

a) Wir biegen das Ende eines nicht zu dünnen Kupferdrahtes zu einer engen Öse. Dann geben wir ein wenig konzentrierte Salzsäure in eine kleine Porzellanschale. Nun fassen wir den Kupferdraht mit der Tiegelzange, tauchen die Öse in die Salzsäure und halten sie in die entleuchtete Flamme eines Brenners. Es bildet sich etwas Kupferchlorid, das bei der hohen Temperatur der Flamme flüchtig ist und die Flamme charakteristisch grün färbt.

Welches Element kann man also mit dieser Untersuchung, die Beilsteinprobe genannt wird, nachweisen?

b) Nun glühen wir den Kupferdraht so lange, bis die Flamme wieder ungefärbt ist, bringen dann etwas zerkleinertes Polyvinylchlorid auf die Drahtöse und halten den Kupferdraht von neuem in die Flamme.

Beobachten Sie genau die Flamme! Was stellen Sie fest?
Wie deuten Sie Ihre Beobachtung?
Prüfen Sie auch andere organische Verbindungen durch die Beilsteinprobe!

c) Wir mischen etwas von der zerkleinerten Plastprobe mit gepulvertem Kupfer(II)-oxid, das völlig halogenfrei sein muß, in einer weiteren kleinen Porzellanschale. Dann glühen wir den Kupferdraht wieder in der entleuchteten Brennerflamme, bis er die Flamme nicht mehr färbt. Nun bringen wir etwas von der Mischung auf die Drahtöse und halten diese wieder in die Flamme.

Was beobachten Sie?

2. Kettenförmige Kohlenwasserstoffe und Halogenderivate

S 5: Darstellung von Methan aus Natriumäthanat (Natriumazetat) und Natronkalk

Schwerschmelzbares Reagenzglas (180 mm × 18 mm), durchbohrter Gummistopfen mit Gasableitungsrohr, Stativmaterial, Reagenzglashalter, 3 weitere Reagenzgläser (180 mm × 18 mm) Stopfen, Kristallisierschale, Spatel, Brenner.
Natriumäthanat (entwässert) in verschlossenem Reagenzglas, Natronkalk (Gemisch aus Natriumhydroxid und Kalziumoxid), Bariumhydroxidlösung, Salzsäure.

a) Einen Spatel Natriumäthanat und einen Spatel Natronkalk geben wir in ein schwerschmelzbares Reagenzglas. Wir vermischen die Substanzen, indem wir das

Glas schütteln, und verschließen das Glas mit einem Gummistopfen, in dem sich ein Gasableitungsrohr befindet. Dann spannen wir das Reagenzglas fast waagerecht an ein Stativ. Das freie Ende des Gasableitungsrohres ragt in eine Kristallisierschale mit Wasser. Nachdem wir durch vorsichtiges Erhitzen die Luft aus dem Reagenzglas vertrieben haben, stülpen wir das mit Wasser gefüllte zweite Reagenzglas über die Mündung des Gasableitungsrohres. Nun erhitzen wir das schwerschmelzbare Reagenzglas kräftig und fangen das entweichende Methan pneumatisch auf.

b) Wir verschließen das mit Methan gefüllte Reagenzglas mit einem Stopfen.

Welche Farbe besitzt das Gas?
Stellen Sie den Geruch des Gases fest!

c) Wir entzünden das Methan im Reagenzglas.

Welches Aussehen hat die Methanflamme?
Nachdem die Flamme erloschen ist, geben wir etwa 1 ml Bariumhydroxidlösung in das Glas und schütteln.
Was beobachten Sie?

Stellen Sie die Gleichung für den Verbrennungsvorgang von Methan auf!

d) Wir entleeren und reinigen das eben benutzte Reagenzglas und füllen etwas Bariumhydroxidlösung hinein. Nun übergießen wir den bei der Darstellung von Methan im schwerschmelzbaren Reagenzglas verbliebenen festen Rückstand mit Salzsäure, versehen das Glas sofort mit der Gasableitung und leiten das entstehende Gas in die Bariumhydroxidlösung.

Was beobachten Sie dabei?

Versuchen Sie auf Grund dieser Beobachtung die Gleichung für die Darstellung von Methan zu entwickeln!

S 6: Nachweis der Flüchtigkeit von Trichlormethan (Chloroform)

Papier, Glasstab.
Trichlormethan, Wasser.

Auf ein Stück Papier geben wir in einiger Entfernung voneinander je einen Tropfen Trichlormethan und Wasser und lassen die Flüssigkeiten verdunsten.

Was beobachten Sie?

S 7: Verhalten von Trichlormethan (Chloroform) gegenüber Wasser

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Stopfen.
Trichlormethan, Wasser.

Wir geben in ein Reagenzglas etwa 2 ml Trichlormethan, fügen die doppelte Menge Wasser hinzu, verschließen das Glas mit einem Stopfen und schütteln kräftig. Dann stellen wir das Glas ab.

Was beobachten Sie bezüglich der Löslichkeit des Trichlormethans in Wasser?
Welche von beiden Flüssigkeiten hat die größere Dichte?

S 8: Lösevermögen von Trichlormethan (Chloroform)

3 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), 3 Stopfen, Glasstab.
Festes Speisefett (z. B. Rindertalg), Speiseöl, Butter oder Margarine, Trichlormethan.

Wir geben in drei Reagenzgläser Proben von a) festem Speisefett, b) Speiseöl und c) Butter oder Margarine und fügen je 4 ml Trichlormethan hinzu. Dann werden die Gläser verschlossen und geschüttelt.

Was stellen Sie fest?

S 9: Darstellung von Äthen aus Äthanol durch katalytische Wasserabspaltung

Durchführung a
Reagenzglas (180 × 18 mm) aus schwer schmelzbarem Glas (Supremaxglas) mit durchbohrtem Gummistopfen, zwei Reagenzgläser (180 mm × 18 mm) mit Gummistopfen, gebogenes und gerades Glasrohr, Gummischlauch, Glasschale mit Wasser (pneumatische Wanne), Stativmaterial, Glaswolle, Spatel, Glasstab, Brenner.
Äthanol (Primasprit), Aluminiumoxid, Bimssteinkörner, Sand.

Wir füllen etwa 3 cm hoch trockenen Sand in das Supremaxglas und lassen so viel Äthanol zufließen, daß der Sand gründlich mit Flüssigkeit durchtränkt wird. Auf den Sand geben wir eine dünne Schicht Glaswolle, füllen dann bei lotrecht gehaltenem Glas ungefähr 5 cm hoch ein Gemisch aus Aluminiumoxid und gekörntem Bimsstein ein und schieben anschließend etwas Glaswolle vor den Katalysator, damit dieser auch bei waagerechter Lage den ganzen Querschnitt des Glases ausfüllt. Anstelle des Gemisches aus Bimsstein und Aluminiumoxid kann auch der Spezial-Katalysator der Durchführung b verwendet werden. Nachdem das Supremaxglas gefüllt ist, setzen wir die Apparatur nach Abbildung 140 zusammen. Nun erhitzen wir den Katalysator auf Rotglut. Durch die gleichzeitig eintretende Erwärmung des Sandes verdampft das Äthanol langsam; notfalls rücken wir den Brenner etwas gegen den Sand hin. Nachdem etwas Gas aus dem gewinkelten Glasrohr ausgetreten ist, fangen wir das entstandene Gas in Reagenzgläsern auf. Vor Beendigung des Erhitzens muß das Glasrohr aus der pneumatischen Wanne genommen werden.

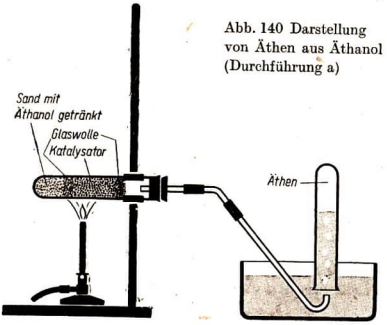


Abb. 140 Darstellung von Äthen aus Äthanol (Durchführung a)

Prüfen Sie das aufgefangene Gas auf Brennbarkeit!
Was beobachten Sie?

Durchführung b

Reagenzglas (180 mm × 18 mm) mit seitlichem Ansatzrohr und Gummistopfen, Verbrennungsrohr aus Supremaxglas mit durchbohrtem Gummistopfen, Gummischlauch spitzwinklig gebogenes Glasrohr, 2 Reagenzgläser (160 mm × 16 mm) mit Stopfen, Glasschale mit Wasser (pneumatische Wanne), Stativmaterial, 2 Brenner (davon einer mit Schlitzaufsatz), Glaswolle, Glasstab, Spatel, Quetschhahn.
Äthanol, Katalysator.

Die Herstellung des Spezial-Katalysators geschieht auf folgende Weise: Wir geben in ein Becherglas 15 g Bimssteinkörner, 5 g Aluminiumsulfat und 30 ml Wasser, erhitzen das Ganze und lassen so lange sieden, bis sich der größte Teil der Bimssteinkörner am Boden des Glases abgesetzt hat. Anschließend gießen wir die Flüssigkeit ab, geben die Bimssteinkörner in eine Eisenschale und trocknen sie über kleiner Flamme. Zum Schluß wird das Material einige Zeit auf Rotglut erhitzt, wobei ein Teil des Aluminiumsulfates auf und im Bimsstein zersetzt wird und sich Aluminiumoxid in feiner Verteilung bildet.

Wir setzen aus den angegebenen Teilen die Apparatur nach Abbildung 141 zusammen. Bevor wir den Katalysator in das Supremaxrohr einbringen, schieben wir mit einem Glasstab etwas Glaswolle ziemlich weit in das Verbrennungsrohr. Erst dann füllen wir den körnigen Katalysator ein, wobei das Rohr lotrecht gehalten werden muß, damit der Katalysator den ganzen Rohrquerschnitt ausfüllt. Darauf geben wir nochmals eine Schicht Glaswolle, so daß der Katalysator auch bei waagerechter Lage des Glasrohres festliegt. Nachdem wir das Rohr mit einer Gasableitung verbunden und in der entsprechenden Höhe am Stativ befestigt haben, gießen wir etwa 10 ml Äthanol in das Reagenzglas mit dem seitlichen Ansatzrohr. Dann verschließen wir das Glas mit einem Gummistopfen und verbinden es mit dem Supremaxrohr. Wir erhitzen nun den Katalysator mit einem Schlitzaufsatzbrenner auf Rotglut. Mit dem anderen Brenner bringen wir das Äthanol zum Sieden. Wir lassen etwas Gas aus der Gasableitung entweichen und fangen es erst dann in Reagenzgläsern pneumatisch auf.

Prüfen Sie das aufgefangene Gas auf Brennbarkeit!

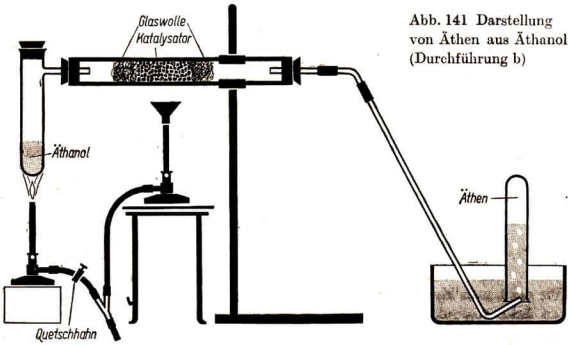


Abb. 141 Darstellung von Äthen aus Äthanol (Durchführung b)

S 10: Addition von Brom an Äthen

Reagenzglas (180 mm × 18 mm), Gummistopfen.
Äthen, Bromwasser.

In ein mit Äthen gefülltes Reagenzglas geben wir etwas Bromwasser (höchstens 2 ml), verschließen das Glas sofort wieder mit einem Gummistopfen und schütteln kräftig.

Was stellen Sie fest?

Stellen Sie die Gleichung für diese Reaktion auf!

S 11: Thermisches Kracken von Maschinenöl

Schwer schmelzbares Reagenzglas mit durchbohrtem Gummistopfen und doppelt rechtwinklig gebogenem Gasableitungsrohr mit einem längeren Schenkel, 4 weitere Reagenzgläser mit passenden Stopfen, Reagenzglasständer, Brenner, Reagenzglashalter.
Maschinenöl, BAEYERS Reagens (wäßrige Lösung von Kaliumpermanganat und Natriumkarbonat) oder Bromwasser.

a) Wir geben etwa 3 ml Maschinenöl in ein schwer schmelzbares Reagenzglas und verschließen es mit einem Gummistopfen, in dem ein Gasableitungsrohr steckt. Den freien Schenkel der Ableitung führen wir in ein Reagenzglas, das etwa 5 ml Wasser enthält. Dann erhitzen wir das Paraffinöl kräftig.

Was beobachten Sie?

b) Wir tauchen das freie Ende der Gasableitung in ein zweites Reagenzglas mit 5 ml Wasser und erhitzen das schwer schmelzbare Reagenzglas mit Paraffinöl jetzt kurz oberhalb des Flüssigkeitsspiegels einige Minuten auf dunkle Rotglut.

Was beobachten Sie dabei im Vergleich zu obigem Versuch?

c) Wir beenden das Einleiten der entweichenden Gase in Wasser und prüfen sie auf ihre Brennbarkeit.

Was stellen Sie fest?

d) Anschließend geben wir je 1 ml BAEYERS Reagens oder Bromwasser zu einer Probe des ursprünglichen Maschinenöls, zu der wäßrigen Lösung von Versuch a, zu dem Rückstand von Versuch b und zu der wäßrigen Lösung von Versuch b.
Nun schütteln wir jedes der Gläser kräftig durch und beobachten die Farbänderung.

Was schließen Sie aus den Ergebnissen?
Was ist folglich bei dem thermischen Kracken in Versuch b vor sich gegangen?

S 12: Bestimmung des Schmelzpunktes von Kerzenparaffin

Durchführung a (stark vereinfacht, ergibt nur annähernd genaue Werte)
Porzellanschale, Thermometer, Asbestdrahtnetz, Dreifuß, Brenner.
Kerzenparaffin.

Wir erwärmen Kerzenparaffin in einer Porzellanschale vorsichtig bis nur wenig über den Schmelzpunkt. Dann tauchen wir ein Thermometer so lange in die Paraffin-

schmelze, bis es die Temperatur der Flüssigkeit angenommen hat. Nun nehmen wir das Thermometer wieder aus der Schale heraus und drehen es langsam in waagerechter Lage, bis das anhaftende Paraffin erstarrt. Die beim Verfestigen angezeigte Temperatur wird abgelesen. Der Erstarrungspunkt ist deutlich zu erkennen. Der Paraffintropfen, der an der Thermometerkugel haftet, folgt, sobald er fest ist, der Umdrehung des Thermometers.

Durchführung b (Bestimmung des genauen Wertes)
Schmelzpunktbestimmungsapparatur (an seiner Stelle kann auch ein Reagenzglas [300 mm × 20 mm] verwendet werden), Schmelzpunktröhrchen (60 mm Länge und 1 mm lichte Weite), Thermometer, durchbohrter Stopfen (an der Seite eingekerbt), Stativmaterial, Brenner, Messer.
Kerzenparaffin, Propantriol.

Wir befestigen den Schmelzpunktbestimmungsapparat (Abb. 142) oder ein großes Reagenzglas an einer Stativklemme und gießen so viel Propantriol ein, wie aus der Abbildung ersichtlich ist. Dann führen wir das Thermometer ein und befestigen es mittels des durchbohrten, seitlich eingekerbten Stopfens in der richtigen Höhe. Nun werden vom Paraffin mit einem Messer möglichst feine Späne abgeschabt. Mit ihnen füllen wir das Schmelzpunktröhrchen etwa 1 cm hoch. Das Schmelzpunktröhrchen wird am Thermometer befestigt, wobei das Ende des Röhrchens mit der Schmelzprobe an der Quecksilberkugel des Thermometers anliegen muß. Zur Schmelzpunktbestimmung erwärmen wir mit kleiner Flamme das Knie des Apparates, so daß die Temperatur der Heizflüssigkeit nur langsam steigt. Wir beobachten nun aufmerksam die Substanz im Schmelzpunktröhrchen. Wenn das Paraffin glasig wird, lesen wir die Temperatur ab.



Abb. 142
Bestimmung des Schmelzpunktes von Kerzenparaffin (Durchführung b)

S 13: Destillation von Paraffinöl

Destillierkolben (250 ml, das seitliche Ansatzrohr muß 8 mm Außendurchmesser haben und unten angesetzt sein), durchbohrter Stopfen, Thermometer (Meßbereich bis 350 °C), Glasrohr (80 cm lang, Innendurchmesser etwa 8,5 mm, muß sich über das seitliche Rohr des Destillierkolbens schieben lassen), 4 Bechergläser (100 ml), Stativmaterial, Brenner.
Paraffinöl.

Wir stellen die Destillierapparatur nach Abbildung 143 zusammen. Dabei muß darauf geachtet werden, daß die Quecksilberkugel des Thermometers sich in der richtigen Höhe befindet. Ferner ist zu beachten, daß das Kühlrohr bis an den Hals des Destillierkolbens herangeschoben werden muß. Eine Gummiverbindung wird an dieser Stelle nicht angebracht. Auf der anderen Seite muß das Kühlrohr so weit vom Boden entfernt enden, daß hier noch ein Becherglas untergeschoben werden kann. Dann

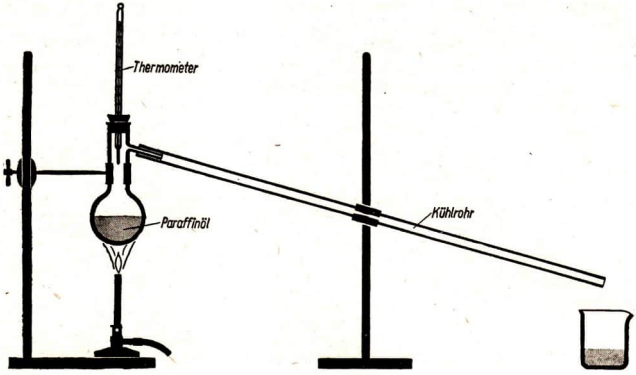


Abb. 143 Destillation von Paraffinöl

füllen wir ein Becherglas zu etwa drei Vierteln mit Paraffinöl und wägen das Glas mit dem Inhalt. Darauf gießen wir das Paraffinöl so in den Destillierkolben, daß das Öl nicht in das seitliche Ansatzrohr laufen kann. Das entleerte Becherglas wird gewogen, um genau die Menge des in den Kolben eingetragenen Paraffinöls zu ermitteln. Weiterhin wägen wir drei trockene Bechergläser, schreiben die Masse jedes Glases auf ein Stück Papier und stellen das entsprechende Glas darauf. Alle Wägungen sollen auf zehntel Gramm durchgeführt werden. Nun stellen wir das erste, gewogene Becherglas unter den Auslauf des Kühlrohres und erhitzen vorsichtig den Kolben mit dem Paraffinöl. Die Temperatur des Öles darf nicht zu rasch ansteigen. Bei 180 und 250 °C wechseln wir die untergestellten Bechergläser. Wenn die Temperatur von 280 °C erreicht ist, wird das Erhitzen beendet. Anschließend werden die Bechergläser wieder gewogen und die Mengen der einzelnen Fraktionen ermittelt.

Errechnen Sie den prozentualen Anteil der drei Fraktionen und des Rückstandes!

Beispiel: Einwaage 80 g Paraffinöl

Fraktion bis 180 °C	13,5 g	≙ 16,9%
Fraktion 180 bis 250 °C	41,5 g	≙ 51,9%
Fraktion 250 bis 280 °C	17,8 g	≙ 22,3%
Destillationsrückstand (errechnet)		≙ 8,9%
		100 %

S 14: Verhalten von Benzin gegen Wasser

Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglasständer. Benzin.

Wir füllen ein kleines Reagenzglas zur Hälfte mit Wasser und markieren die Höhe der Flüssigkeit an der Wandung des Glases. Dann geben wir etwa 2 ml Benzin hinzu. Das Glas wird mit dem Daumen verschlossen und kräftig geschüttelt. Darauf stellen wir es einige Zeit in einen Reagenzglasständer.

Welche von beiden Flüssigkeiten hat die geringere Dichte?
Beobachten Sie, ob sich die Trennungsfläche der Flüssigkeiten verschoben hat!
Was schließen Sie aus Ihrer Beobachtung?

S 15: Verhalten von Benzin gegen Fette

3 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), 3 Gummistopfen, Glasstab, Reagenzglasständer.
Benzin, Rindertalg oder ein anderes tierisches Fett, Speiseöl, Butter oder Margarine.

Wir geben in drei Reagenzgläser kleine Proben von Fetten. Dann versetzen wir alle drei Proben mit je 3 ml Benzin, verschließen die Reagenzgläser mit Gummistopfen und schütteln.

Was stellen Sie fest?

Wodurch unterscheidet sich die Probe mit Butter oder Margarine von den anderen Proben? Erklären Sie diese Erscheinung!

S 16: Entfernen von Fettflecken

Schreibpapier, Löschpapier, Glasstab.
Fettlösung aus Versuch S 15, Leichtbenzin oder Petroläther.

Vorsicht! Alle offenen Flammen sind im Raume vor Beginn dieses Versuches zu löschen!
Wir bringen mittels eines Glasstabes einen Tropfen Fettlösung auf Schreibpapier. Nach Verdunsten des Benzins bleibt auf dem Papier ein Fettfleck zurück, auf den wir reines Leichtbenzin oder Petroläther auftropfen. Dann wird die Flüssigkeit mit Löschpapier wieder abgesaugt. Wir warten das Verdunsten des restlichen Benzins ab. Sollte der Fettfleck noch nicht ganz beseitigt sein, so wiederholen wir die Behandlung.

Warum eignet sich gewöhnlicher Vergaserkraftstoff (K_p bis 200 °C) schlecht zur Entfernung von Fettflecken aus Papier oder Textilien?

S 17: Flammpunktbestimmung von Petroleum und Paraffinöl

Porzellantiegel, Thermometer, niedriges Eisenblechgefäß (Konservendose) mit Sand, Stativmaterial, Asbestdrahtnetz, Dreifuß, Lötrohr (ohne Mundstück) mit Schlauch, Brenner.
Petroleum, Paraffinöl.

Wir füllen einen nicht zu kleinen Porzellantiegel zu etwa vier Fünfteln seiner Höhe mit Petroleum oder Paraffinöl und stellen ihn in ein Sandbad. **Vorsicht!** Nichts von der Flüssigkeit in den Sand gießen! Dann befestigen wir ein Thermometer so an einem Stativ, daß es in die Flüssigkeit ragt. Die Thermometerkugel darf keinesfalls den Porzellantiegel berühren. Nun wird das Sandbad vorsichtig mit kleiner Flamme er-

wärmt. Der mit dem Lötrohr verbundene Schlauch wurde zuvor mittels eines Verteilerstücks an die Gasleitung angeschlossen und das ausströmende Gas angezündet. Wenn die Temperatur der Flüssigkeit zu steigen beginnt, streichen wir in Abständen von ungefähr fünf Sekunden mit der kleinen Flamme des Lötrohres rasch über die Flüssigkeit (Abb. 144). Bildet sich hierbei auf dem Kohlenwasserstoffgemisch eine Flamme, die nach Entfernung des Lötrohres wieder erlischt, so ist der Flammpunkt der Flüssigkeit erreicht. Wir lesen die Temperatur ab und unterbrechen sofort das Erhitzen.

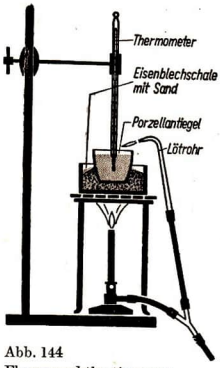


Abb. 144
Flammpunktbestimmung

S 18: Verhalten von Schmiermitteln gegen Wasser und Benzin

Spritzflasche mit Wasser, 2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm).
Nähmaschinenöl oder ein anderes dünnflüssiges Schmieröl, Benzin.

In zwei Reagenzgläser geben wir je 2 ml Schmieröl und fügen dem Inhalt des ersten Glases 2 ml Benzin, dem des zweiten 5 ml Wasser hinzu. Dann schütteln wir kräftig.

Beurteilen Sie die Löslichkeit des Schmieröls in beiden Flüssigkeiten?
Besitzt Wasser oder Schmieröl die geringere Dichte?

S 19: Viskositätsänderungen bei Schmierölen

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Becherglas (400 ml, niedrige Form) zu zwei Dritteln mit Wasser gefüllt, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner.
Zylinderöl oder ein anderes bei Raumtemperatur dickflüssiges Schmieröl.

Wir erhitzen Wasser in einem Becherglas zum Sieden. Dann geben wir in zwei Reagenzgläser gleiche Mengen Zylinderöl und erwärmen ein Glas durch Einstellen in das siedende Wasser. Nach einiger Zeit vergleichen wir die Beweglichkeit des heißen und kalten Zylinderöls durch wiederholtes Neigen und Aufrichten der Gläser. Das heiße Glas wird dabei mit dem Reagenzglashalter gefaßt.

Welche Viskositätsunterschiede stellen Sie zwischen dem heißen und dem kalten Öl fest! Vergleichen Sie die Viskosität des Schmieröls in beiden Gläsern, nachdem sich das heiße Öl wieder auf Raumtemperatur abgekühlt hat!

Welche Schlußfolgerungen lassen sich aus obigem Versuch für die Verwendung von Schmierölen ziehen
a) beim Schmieren heißer Maschinenteile,
b) bei Kraftfahrzeugen und bei der Eisenbahn, die auch tieferen Temperaturen ausgesetzt sind?

S 20: Untersuchung von technischen Kohlenwasserstoffgemischen auf ungesättigte Verbindungen

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), 2 Gummistopfen.
Vergaserkraftstoff, Nähmaschinenöl oder ein anderes farbloses Schmieröl, Bromwasser.

In ein Reagenzglas geben wir etwa 3 ml Vergaserkraftstoff, in ein zweites die gleiche Menge farbloses Maschinenöl. Beide Proben werden mit je 2 ml Bromwasser versetzt. Dann verschließen wir die Reagenzgläser mit Stopfen und schütteln kräftig. **Vorsicht!** Benzin ist feuergefährlich!

Deuten Sie das Verhalten der untersuchten Kohlenwasserstoffgemische gegen Bromwasser!

3. Hydroxylderivate kettenförmiger Kohlenwasserstoffe

S 21: Verhalten von Methanol gegen Wasser

Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglas (100 mm × 12 mm).
Methanol, Lackmuspapier.

In ein Reagenzglas gießen wir etwa 2 ml Methanol und die gleiche Menge Wasser. **Vorsicht!** Methanol ist giftig! Das Glas wird kräftig geschüttelt. Anschließend prüfen wir die Flüssigkeit mit Lackmuspapier.

Sind Methanol und Wasser miteinander mischbar?
Welche Reaktion zeigt das Lackmuspapier an? Was schließen Sie daraus?

S 22: Untersuchung der Oxydations- bzw. Verbrennungsprodukte von Methanol und Äthanol

2 Reagenzgläser (160 mm × 16 mm), durchbohrter Stopfen, rechtwinklig gebogenes Glasrohr (8 mm Außendurchmesser), Spatel, Stativmaterial, Brenner, Becherglas (400 ml), Phosphorlöffel, Standzylinder, plangeschliffene Glasplatte.
Methanol, Äthanol, Kupfer(II)-oxid, Bariumhydroxidlösung (gesättigt).

Durchführung a
Wir weisen Kohlenstoff und Wasserstoff in Methanol beziehungsweise Äthanol analog Versuch S 2 nach.

Was beobachten Sie? Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie aus Ihren Beobachtungen?

Durchführung b
Wir entzünden Methanol oder Äthanol in einem Phosphorlöffel und halten diesen tief in einen trockenen Standzylinder. Nachdem die Flamme erloschen ist, nehmen wir den Phosphorlöffel rasch heraus und verschließen die Öffnung des Zylinders mit einer völlig ebenen Glasplatte.

Was stellen Sie an der Innenwand des Zylinders fest?
Wie deuten Sie diese Beobachtung?

Nun gießen wir etwas gesättigte Bariumhydroxidlösung in den Zylinder, verschließen ihn sofort wieder und schütteln kräftig.

Was beobachten Sie? Worauf läßt das Ergebnis der Nachweisreaktion schließen?

Stellen Sie für die Verbrennung von Äthanol die Reaktionsgleichung auf!

S 23: Lösevermögen von Methanol

Spritzflasche mit Wasser, 4 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm) Glasstab, Brenner.
Methanol, festes Speisefett, Speiseöl.

Wir tragen mittels eines Glasstabes in ein Reagenzglas eine Messerspitze festes Speisefett ein. In ein zweites Reagenzglas geben wir etwas Speiseöl. Nun fügen wir zu beiden Proben je 2 ml Methanol hinzu, schütteln und erwärmen die Gläser vorsichtig.

Beurteilen Sie die Löslichkeit der Fette und fetten Öle in Methanol!
Verringert sich die Menge des ungelösten Fettes mit steigender Temperatur?

Die klaren Flüssigkeiten werden von dem ungelösten Fett oder Öl in trockene Reagenzgläser abgegossen. Dann setzen wir den Flüssigkeiten mehrmals wenig Wasser zu. Bei einer bestimmten Verdünnung tritt Trübung auf.

Erläutern Sie das Auftreten der Trübung!

S 24: Dichtebestimmung von Methanol

Aräometer (Meßbereich 0,7 bis 1,0) Standzylinder.
Methanol.

Bei Dichtemessungen mit dem Aräometer ist die Temperatur zu beachten!

Wie verändert sich die Dichte der Stoffe bei steigender Temperatur?

Auf jedem Aräometer ist die Bestimmungstemperatur angegeben. Sie beträgt meist 15 oder 20 °C. Wir bringen das zu untersuchende Methanol folglich zunächst auf die Bestimmungstemperatur. Dann füllen wir so viel Methanol in einen Standzylinder, daß das Aräometer frei schwimmen kann und nicht auf den Boden aufstößt. Beim Einsetzen des Aräometers fassen wir es am schlanken Hals mit Daumen, Zeige- und Mittelfinger und senken es vorsichtig in die Flüssigkeit. Erreicht die Flüssigkeitsoberfläche annähernd den möglichen Dichtewert an der Skale, so lassen wir das Aräometer frei. Wir dürfen das Aräometer keinesfalls in die Flüssigkeit fallen lassen, weil dabei die Spindel auf den Boden des Standzylinders aufschlagen und beschädigt werden kann. Im übrigen erhält man falsche Meßergebnisse, wenn das Oberteil zu weit von Flüssigkeit benetzt wird.

Wie erklären Sie diesen Umstand?

Dichte von Methanol-Wasser-Gemischen in Abhängigkeit von Massenprozenten Methanol (bei 15,5 °C)

Massenprozent Methanol	Dichte in $g \cdot ml^{-1}$	Massenprozent Methanol	Dichte in $g \cdot ml^{-1}$
100	0,7959	50	0,9186
90	0,8240	40	0,9370
80	0,8504	30	0,9536
70	0,8749	20	0,9681
60	0,8980	10	0,9826

Das Aräometer darf während der Ablesung nicht die Seitenwandung des Zylinders berühren.

Ermitteln Sie anhand der Tabelle, wieviel Massenprozente Methanol die untersuchte Lösung enthält!

Zwischenwerte müssen Tabellenwerken entnommen werden.

S 25: Äthanolgärung

Spritzflasche mit Wasser, Reibschale mit Pistill, 2 Gärröhrchen, Stoffbeutel, Watte, flaches Porzellanschälchen, Erlenmeyerkolben (100 ml), Becherglas (400 ml, niedrige Form), Reagenzglas (160 mm × 16 mm), Glasstab, Messer, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner.
Beeren oder anderes Obst, Bäckerhefe.

Wir zerquetschen Beeren (Johannis-, Stachel- oder Weinbeeren) in einer Reibschale mit dem Pistill oder zerreiben Äpfel. Aus dem erhaltenen Brei pressen wir den Saft durch einen Stoffbeutel in ein Becherglas ab. Nun bereiten wir aus frischer Bäckerhefe und Wasser in einem Reagenzglas einen dünnen Brei. Diesen vermischen wir mit dem Preßsaft. Einen Teil dieser Mischung füllen wir in ein Gärröhrchen. Der Rest wird in einem Erlenmeyerkolben etwa 15 min auf siedendem Wasserbad erhitzt (sterilisiert) und dann ebenfalls in ein Gährröhrchen gefüllt. Als Wasserbad (Abb. 145) benutzen wir ein Becherglas, in das wir eine kleine Porzellanschale eingelegt haben. Die beiden gefüllten Gärröhrchen (Abb. 146) verschließen wir nun leicht mit Wattebäuschen und stellen sie an einen warmen Ort. Am günstigsten bewahrt man sie bei einer Temperatur von 30 °C auf. Nach einigen Tagen vergleichen wir beide Proben.



Abb. 145 Wasserbad

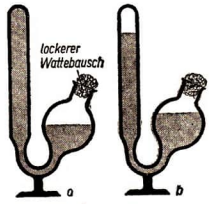


Abb. 146 Äthanolgärung

Welche Unterschiede stellen Sie fest?
Warum verhalten sich beide Proben verschieden?

Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Äthanolgärung auf!

S 26: Verhalten von Äthanol gegen Wasser

Spritzflasche mit Wasser, 3 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Meßzylinder für 10 ml. Äthanol (Brennspiritus), Lackmuspapier.

In drei Reagenzgläser füllen wir folgende Flüssigkeitsmengen ein:
a) 3 ml Äthanol und 4 ml Wasser,
b) 4 ml Äthanol und 3 ml Wasser,
c) 5 ml Äthanol und 2 ml Wasser.

Dabei wollen wir zunächst alle Äthanolmengen und dann das Wasser abmessen. Anschließend prüfen wir die Reaktion der Flüssigkeiten mit Lackmuspapier.

Beobachten Sie, ob sich bei allen Mischungsverhältnissen klare Lösungen bilden!
Welche Reaktionen zeigen die Flüssigkeiten?
Was schließen Sie aus dieser Beobachtung?

S 27: Brennbarkeit wäßriger Äthanollösungen

kleine Porzellanschale.
3 Mischungen aus Versuch S 26.

Wir gießen die Mischung a von Versuch S 26 in eine kleine Porzellanschale und versuchen, sie zu entzünden. Diese Probe stellen wir ebenfalls mit den Mischungen b und c an.

Welche Äthanol-Wasser-Gemische sind brennbar?
Beschreiben Sie die Äthanolflamme!

S 28: Nachweis von Äthanol in Kraftstoffen

3 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Kopierstift.
Benzin, Äthanol (Brennspiritus), äthanolhaltiger Kraftstoff.

Wir geben in drei Reagenzgläser je 3 ml Benzin, Brennspiritus und äthanolhaltigen Kraftstoff und tauchen dann einen Kopierstift in die Flüssigkeiten.

Was beobachten Sie!
Beurteilen Sie die Löslichkeit des Farbstoffes der Kopierstiftmine in den drei Stoffen!
Erläutern Sie, weshalb dieser Farbstoff als Nachweisreagens für Äthanol in Kraftstoffen dienen kann!

S 29: Lösevermögen von Äthanol

4 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Brenner.
Äthanol, Fett, Harz (Kolophonium).

Wir tragen mit Hilfe eines Glasstabes eine Messerspitze Fett in ein Reagenzglas ein, fügen 3 ml Äthanol hinzu und schütteln. In einem anderen Reagenzglas übergießen wir ein höchstens erbsengroßes Stück Harz (Kolophonium) mit der gleichen Menge Äthanol und erwärmen leicht unter Schütteln. **Vorsicht!** Äthanol ist brennbar!

Können Sie Löseerscheinungen beobachten?

Die klaren Flüssigkeiten werden vom (ungelösten) Rückstand in trockene Reagenzgläser abgegossen und dann mehrmals mit kleinen Wassermengen versetzt.

Warum treten Trübungen auf?

S 30: Nachweis von Wasser in Äthanol

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm).
Brennspiritus, Kalziumkarbid, Kaliumpermanganat.

In zwei Reagenzgläser gießen wir je 4 ml Brennspiritus. Der einen Probe wird ein kleines Stück Kalziumkarbid (halbe Erbsengröße) und der anderen werden einige Kristalle Kaliumpermanganat zugefügt. Die letztere muß etwas geschüttelt werden.

Was beobachten Sie?

Begründen Sie, warum die Vorgänge in den Reagenzgläsern die Anwesenheit von Wasser im Äthanol beweisen!

S 31: Nachweis von Propantriol

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Tropfpipette, Spatel, Brenner.
Propantriol, Kaliumhydrogensulfat.

In ein Reagenzglas füllen wir etwa 2 bis 3 cm hoch Kaliumhydrogensulfat und erhitzen es, bis aus der entstandenen Schmelze weiße Nebel entweichen. Mit Hilfe einer Tropfpipette setzen wir dann 2 bis 3 Tropfen Propantriol hinzu und erhitzen weiter. **Vorsicht!** Es spritzt manchmal heiße Substanz aus dem Reagenzglas! Die Schmelze von Kaliumhydrogensulfat wirkt auf das Propantriol wasserentziehend. Dabei entsteht Propenal (Akrolein) $CH_2{=}CH{-}CHO$, das einen stechenden charakteristischen Geruch besitzt.

Stellen Sie die Gleichung für die beschriebene Reaktion auf!

S 32: Metallkitt aus Propantriol

Spritzflasche mit Wasser, Porzellanschale, Spatel, Papier.
Propantriol, Blei(II)-oxid.

Wenig Propantriol wird mit Blei(II)-oxid und einigen Tropfen Wasser in einer kleinen Porzellanschale zu einem dicken Brei verknetet, den wir auf Papier geben und an der Luft liegen lassen. Nach etwa einer halben Stunde hat sich der Kitt verfestigt. Er ist säure- und laugenbeständig.
Porzellanschale und Spatel müssen nach der Herstellung des Kittes sofort gesäubert werden!

4. Alkanale

S 33: Oxydation von Methanol

Reagenzglas (160 mm × 16 mm), Reagenzglashalter, Kupferdraht, Bleistift oder ebenso dickes Holz, Tiegelzange (oder weiterer Reagenzglashalter), Brenner.
Methanol.

Wir wickeln einen nicht zu dünnen Kupferdraht so um einen Bleistift, daß eine enge Wendel entsteht. Dann geben wir etwa 2 ml Methanol in ein Reagenzglas und erhitzen zum Sieden, wodurch sich das Glas mit Methanoldampf füllt. Nun fassen wir die Kupferdrahtwendel mit der Tiegelzange oder einem zweiten Reagenzglashalter und erhitzen sie bis zum Glühen. Die glühende Wendel halten wir in das mit Methanoldampf gefüllte Reagenzglas. Nach einigen Sekunden nehmen wir sie wieder heraus, glühen sie erneut und tauchen sie wiederum in den Methanoldampf.

Was beobachten Sie an der Kupferdrahtwendel?
Prüfen Sie den Geruch der aus dem Methanol entstandenen Verbindung!

Stellen Sie die Gleichungen für die Reaktionen auf, die beim Glühen der Drahtwendel in der Flamme und an der Drahtwendel im Methanoldampf abliefen!

S 34: Oxydation von Äthanol

Reagenzglas (160 mm × 16 mm), Reagenzglashalter, Kupferdraht, Bleistift oder ebenso dickes Stück Holz, Tiegelzange.
Äthanol (Primasprit, kein Brennspiritus).

Die Oxydation von Äthanol führen wir analog Versuch S 33 durch.

Beobachten Sie den Verlauf der Reaktion wie bei Versuch S 33!

Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf!
Vergleichen Sie den bei diesem Versuch auftretenden Geruch mit dem des Oxydationsproduktes von Methanol!

S 35: Darstellung von Methanal durch katalytische Dehydrierung von Methanol

Reagenzglas (180 mm × 18 mm), aus schwerschmelzbarem Glas (Supremaxglas) mit durchbohrtem Gummistopfen, Reagenzglas (160 mm × 16 mm), rechtwinklig gebogenes Glasrohr (8 mm Außendurchmesser), Glaswolle, Glasstab, Stativmaterial, Brenner, Spatel. Methanol, Kupferwolle, Sand, fuchsinschweflige Säure.

Wir füllen etwa 3 cm hoch trockenen Sand in das Supremaxglas und lassen so viel Methanol zufließen, daß der Sand gründlich durchtränkt ist. Auf den Sand geben wir eine dünne Schicht Glaswolle und darauf eine etwa 3 cm lange Schicht Kupferwolle, die den ganzen Bohrquerschnitt ausfüllen muß. Dann setzen wir die Apparatur nach Abbildung 147 zusammen und erhitzen die Kupferwolle auf Rotglut. Dabei wird auch der Sand erwärmt, wodurch das Methanol langsam verdampft. Die aus dem Glasrohr austretenden Dämpfe leiten wir in fuchsinschweflige Säure.

Was beobachten Sie an der fuchsinschwefligen Säure?
Welche Schlußfolgerung ziehen Sie aus Ihrer Beobachtung?

Vorsicht! Bevor wir die Erhitzung des Supremaxglases beenden, müssen wir das Reagenzglas mit der fuchsinschwefligen Säure vom Gasableitungsrohr entfernen, andernfalls steigt das Reagens in das stark erhitzte Glas.

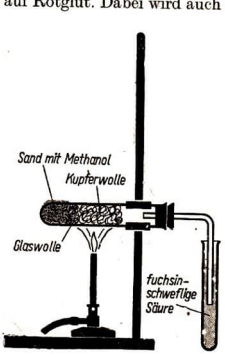


Abb. 147 Darstellung von Methanal durch Dehydrierung von Methanol

S 36: Oxydation von Methanol und Nachweis von Methanal

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Tropfpipette.
Methanol, Kaliumpermanganatlösung (1%ig), Schwefelsäure (konzentriert), fuchsinschweflige Säure.

In ein Reagenzglas geben wir mit der Tropfpipette 15 Tropfen Methanol, fügen 3 ml einprozentige Kaliumpermanganatlösung und 3 Tropfen konzentrierte Schwefelsäure hinzu und schütteln etwa drei Minuten.

Was beobachten Sie?
Erläutern Sie die Reaktion!

Die Lösung wird mit etwa 4 ml fuchsinschwefliger Säure versetzt. Dann stellen wir das Glas einige Minuten in einen Reagenzglasständer.

Was beobachten Sie?
Vergleichen Sie das Ergebnis dieses Versuches mit den Beobachtungen von Versuch S 39!

S 37: Hitzespaltung von Paraformaldehyd

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), durchbohrter Gummistopfen, rechtwinklig gebogenes Glasrohr (8 mm äußerer Durchmesser), Spatel, Brenner, Spritzflasche mit Wasser.
Paraformaldehyd, fuchsinschweflige Säure, Schwefelsäure (50%ig).

Wir geben in ein trockenes Reagenzglas eine Spatelspitze Paraformaldehyd und erhitzen.

Prüfen Sie den Geruch des entstehenden Gases!

Nun schütten wir nochmals eine geringe Menge Paraformaldehyd in dasselbe Reagenzglas und verschließen es mit einem Stopfen, durch den ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr geführt ist. In ein zweites Reagenzglas geben wir etwa 2 bis 4 ml Wasser. Nun fassen wir das Reagenzglas mit Paraformaldehyd nahe dem Verschlußstopfen und halten es in waagerechter Lage in die Brennerflamme. Den langen Schenkel des gebogenen Glasrohres tauchen wir in das im anderen Reagenzglas befindliche Wasser.

Beurteilen Sie die Löslichkeit des entweichenden Gases in Wasser!

Zur entstandenen Lösung fügen wir etwa 2 bis 3 ml fuchsinschweflige Säure, schütteln und warten einige Minuten.

Was beobachten Sie?

Wir versetzen diese Lösung anschließend mit etwa 3 ml 50%iger Schwefelsäure.

Was stellen Sie jetzt fest?
Welche Schlüsse ziehen Sie aus Ihren Beobachtungen?

S 38: Darstellung von Äthanal

Reagenzglas (180 mm × 18 mm) mit seitlichem Ansatzrohr und durchbohrtem Stopfen, kleiner Scheidetrichter (Hahntrichter), rechtwinklig gebogenes Glasrohr, kurzes Stück Gummischlauch, Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglas (160 mm × 16 mm), Stativmaterial, Brenner, Spritzflasche mit Wasser.
Äthanol (Brennspiritus), Schwefelsäure (konzentriert), Kaliumdichromat (oder Natriumdichromat), fuchsinschweflige Säure, Salzsäure (konzentriert).

Wir schütten in ein Reagenzglas mit seitlichem Ansatzrohr eine kleine Spatelspitze Kaliumdichromat oder Natriumdichromat, gießen etwa 4 cm hoch Wasser zu und erwärmen unter Schütteln, bis sich das Dichromat löst. Dann setzen wir einen kleinen Scheidetrichter auf das Reagenzglas, verbinden das seitliche Ansatzrohr mit dem rechtwinklig gebogenen Glasrohr und befestigen das Ganze an einem Stativ (Abb. 148). Nun geben wir in ein Reagenzglas (160 mm × 16 mm) höchstens 3 ml Äthanol und fügen in kleinen Anteilen etwa 2 ml konzentrierte Schwefelsäure hinzu.

Vorsicht! Das Gemisch wird etwas gekühlt und dann in den Scheidetrichter gegossen, dessen Hahn noch geschlossen ist. Nun füllen wir ein kleines Reagenzglas (100 mm × 12 mm) etwa zu einem Drittel mit fuchsinschwefliger Säure. In dieses Glas führen wir das rechtwinklig gebogene Glasrohr so weit, daß dieses nur 0,5 cm in die Flüssigkeit eintaucht. Dadurch wird ein plötzliches Einsaugen der fuchsinschwefligen Säure in das Glasrohr vermieden. Nunmehr öffnen wir den Hahn des Zulauftrichters ein wenig, so daß das Äthanol-Schwefelsäure-Gemisch langsam in die warme Dichromatlösung tropft. **Vorsicht!** Heftige Reaktion! Dichromate geben in schwefelsaurer Lösung leicht Sauerstoff ab. Sie gehen dabei in grüngefärbtes Chrom(III)-sulfat $Cr_2(SO_4)_3$ über.

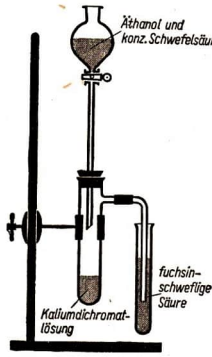


Abb. 148 Darstellung von Äthanal

Wird Äthanalbildung durch Violettfärbung der fuchsinschwefligen Säure erkennbar?
Prüfen Sie die gefärbte fuchsinschweflige Säure durch Zugabe von etwas konzentrierter Salzsäure!
Was stellen Sie fest?
Stellen Sie den Geruch des aus dem Ableitungsrohr entweichenden Gases fest!

S 39: Nachweis von Alkanalen

3 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), 2 Tropfpipetten.
Methanallösung (Formol, Formalin), Äthanal, fuchsinschweflige Säure, Schwefelsäure (50 %ig).

Wir geben in zwei Reagenzgläser je 2 ml fuchsinschweflige Säure und fügen in das erste Glas zwei Tropfen Methanallösung, in das zweite die gleiche Menge Äthanal hinzu. Die Gläser werden kräftig geschüttelt und einige Minuten in einen Reagenzglasständer gestellt.

Was beobachten Sie?

Nun gießen wir die Hälfte der Methanalprobe in ein drittes Reagenzglas und versetzen die Äthanalprobe und die Hälfte der Methanalprobe mit je 2 ml etwa 50%iger Schwefelsäure.

Was stellen Sie fest?
Vergleichen Sie die Färbung der Methanalprobe, der wir Schwefelsäure zugesetzt haben, mit der Färbung der zuvor abgegossenen Flüssigkeit!

S 40: Prüfung der Reaktion von Methansäure und Äthansäure

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Spritzflasche mit Wasser.
Methansäure (10%ig), Äthansäure (10%ig), blaues Lackmuspapier.

In zwei Reagenzgläser geben wir je 1 ml 10%ige Methansäure beziehungsweise 10%ige Äthansäure, verdünnen mit je 4 ml Wasser und prüfen mit blauem Lackmuspapier.

Wie reagieren diese Lösungen?

S 41: Reaktion von niedrigmolekularen Karbonsäuren mit unedlen Metallen

4 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm).
Methansäure (10%ig), Äthansäure (10%ig), 2 Stückchen Zinkblech, Eisenfeilspäne.

Wir versetzen in je einem Reagenzglas:
a) Zink mit 3 ml 10%iger Methansäure,
b) Zink mit 3 ml 10%iger Äthansäure,
c) Eisen mit 3 ml 10%iger Methansäure,
d) Eisen mit 3 ml 10%iger Äthansäure.

Was beobachten Sie?

Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für obige Umsetzungen auf!

S 42: Reaktionen von Karbonsäuren mit Karbonaten

4 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Spatel.
Natriumkarbonat, Kalziumkarbonat, Methansäure (10%ig), Äthansäure (10%ig).

Je eine kleine Spatelspitze Natriumkarbonat schütten wir in zwei Reagenzgläser und fügen je 2 ml Wasser hinzu. Dann versetzen wir die Lösungen mit wenig 10%iger Methansäure, beziehungsweise Äthansäure. Analoge Versuche führen wir mit Kalziumkarbonat durch.

Was beobachten Sie?

Stellen Sie für die vier Umsetzungen Reaktionsgleichungen auf!
Was schließen Sie aus den Versuchsergebnissen?

S 43: Reduktion von ammoniakalischer Silbersalzlösung mit Natriummethanat

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Brenner.
Silbernitratlösung (5%ig), Ammoniaklösung (10%ig), Methansäure (konzentriert), Natronlauge (50%ig), rotes Lackmuspapier.

Wir füllen 3 ml einer 5%igen Silbernitratlösung in ein gründlich gesäubertes Reagenzglas und versetzen sie tropfenweise mit so viel 10%iger Ammoniaklösung, daß sich der anfänglich gebildete Niederschlag gerade wieder löst. In einem zweiten Reagenzglas verdünnen wir 1 ml konzentrierte Methansäure mit der gleichen Menge Wasser. Der Lösung setzen wir tropfenweise 50%ige Natronlauge hinzu **(Vorsicht!)** bis die Flüssigkeit alkalisch reagiert (Prüfung mit Lackmuspapier).

Welche Reaktion läuft dabei ab?

Dann geben wir diese Lösung in das erste Reagenzglas, das die ammoniakalische Silbersalzlösung enthält. Wir verschließen das Glas mit dem Daumen und schütteln es kräftig. Dann prüfen wir die Flüssigkeit nochmals mit Lackmuspapier, ob sie alkalisch reagiert, und erwärmen sie.

Was beobachten Sie?
Erläutern Sie die im Reagenzglas sichtbare Veränderung!

S 44: Darstellung von Äthansäure aus Natriumäthanat

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Brenner, Spatel.
Natriumäthanat (Natriumazetat), Schwefelsäure (50%ig).

In ein Reagenzglas geben wir eine Spatelspitze Natriumäthanat, fügen etwa 2 ml 50%ige Schwefelsäure hinzu und erwärmen. Wir prüfen in kurzen Abständen den Geruch der entweichenden Dämpfe.

Was stellen Sie fest?

Wie lautet die Reaktionsgleichung für diesen Vorgang?
Beurteilen Sie die Flüchtigkeit der Äthansäure!

S 45: Reduktionswirkung der Äthandisäure

Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglas (160 mm × 16 mm), Tropfpipette, Brenner, Reagenzglashalter.
Äthandisäure (Oxalsäure), Kaliumpermanganatlösung (1%ig), Schwefelsäure (10%ig).

Wir schütten eine Spatelspitze Äthandisäure in ein Reagenzglas und geben 3 ml Wasser und 5 ml 10%ige Schwefelsäure hinzu. Die Flüssigkeit wird auf etwa 70 °C erwärmt. Dabei löst sich die feste Äthandisäure. Nun fügen wir tropfenweise 1%ige Kaliumpermanganatlösung hinzu, wobei jeweils nach Zugabe eines weiteren Tropfens kräftig geschüttelt wird. Während des Umschüttelns erhitzen wir gleichzeitig leicht über der Brennerflamme.

Was beobachten Sie?
Beachten Sie, daß die Reaktion nach Zugabe einiger Tropfen Kaliumpermanganatlösung durch das entstandene Mangan(II)-sulfat katalytisch beschleunigt wird!

S 46: Fällung von Kalziumionen als Kalziumäthandiat

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm).
Ammoniumäthandiat-(Ammoniumoxalat-)Lösung (10%ig), Kalziumchloridlösung (10%ig), Äthansäure (10%ig), Salzsäure (10%ig).

Wir versetzen in einem Reagenzglas 1 ml 10%ige Kalziumchloridlösung mit 2 ml 10%iger Ammoniumäthandiatlösung.

Was beobachten Sie?

Stellen Sie für diesen Vorgang die Reaktionsgleichung auf!

Nach leichtem Schütteln des Reagenzglases geben wir die Hälfte des Gemisches in ein

zweites Reagenzglas. Anschließend geben wir in das eine Glas einige ml 10%ige Salzsäure, in das andere etwa die gleiche Menge 10%ige Äthansäure hinzu.

Was stellen Sie fest?
Beurteilen Sie die Löslichkeit von Kalziumäthandiat!

S 47: Auflösen von Rost durch Kleesalz

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Brenner, Spritzflasche mit Wasser.
Kleesalz, Eisen(III)-chloridlösung (10%ig), Ammoniaklösung (10%ig).

Etwa 2 ml 10%ige Eisen(III)-chloridlösung werden in einem Reagenzglas zum Sieden erhitzt. Aus ihr fällen wir durch Zugabe von 3 ml 10%iger Ammoniaklösung Eisen-(III)-hydroxid. Dann lassen wir das Reagenzglas einige Minuten im Reagenzglasständer stehen.

Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Eisen(III)-hydroxid auf!

Nachdem sich der Niederschlag von Eisen(III)-hydroxid abgesetzt hat, gießen wir die überstehende Flüssigkeit ab. In einem zweiten Reagenzglas lösen wir nun etwa 1 g Kleesalz in 5 ml Wasser durch Erwärmen auf. Die heiße Lösung gießen wir auf das Eisen(III)-hydroxid, das wir anstelle von Rost verwenden. Beginnt die Reaktion nicht sofort, so müssen wir das Gemisch leicht erhitzen.

Was beobachten Sie?

6. Eiweiße

S 48: Nachweis von Stickstoff in Eiweiß

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Spritzflasche mit Wasser.
Vogelfedern, Haare, Horn, Natronkalk, rotes Lackmuspapier.

In ein trockenes Reagenzglas geben wir ein wenig festes zerkleinertes Eiweiß (Federn, Haare, Horn) und schütten 1 cm hoch gepulverten Natronkalk hinzu. Durch Schütteln des Glases mischen wir die Substanzen. Dann erhitzen wir und halten feuchtes, rotes Lackmuspapier in die entstehenden Dämpfe.

Was stellen Sie fest?
Prüfen Sie den Geruch der entstehenden Dämpfe!
Was schließen Sie aus Ihren Untersuchungen?

S 49: Nachweis von Schwefel in Eiweiß

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Brenner.
Weiße Federn, weiße Schafwolle oder helles Haar, Natronlauge (10%ig), Bleiäthanat-(Bleiazetat-)lösung (10%ig).

Wir tragen in ein Reagenzglas mit einem Glasstab eine kleine Menge geschnittene weiße Federn, in ein zweites Glas weiße Schafwolle oder helles Haar ein. Dann übergießen wir die Proben mit je 3 ml 10%iger Natronlauge und erhitzen zum Sieden. **Achtung!** Alkalische Flüssigkeiten neigen zu Siedeverzug! Reagenzgläser mit Natron-

lauge müssen beim Erhitzen ständig geschüttelt werden! Es darf nur mit kleiner Flamme erhitzt werden.

Was stellen Sie nach kurzer Zeit fest?
Beschreiben Sie die Flüssigkeiten!

Die Flüssigkeiten versetzen wir nun mit Bleiäthanatlösung.

Was beobachten Sie?

Stellen Sie für die Reaktion von Natriumsulfid mit Bleiäthanat die Gleichung auf!

S 50: Xanthoproteinreaktion

Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Glasstab, Spritzflasche mit Wasser.
Weiße Federn, weiße Schafwolle oder helles Haar, hartgekochtes Weißei, Salpetersäure (konzentriert), Ammoniaklösung (10%ig).

Wir tragen mit Hilfe eines Glasstabes in ein Reagenzglas eine kleine Menge weiße Federn, in ein zweites Glas weiße Schafwolle oder helle Haare, in ein drittes Glas hartgekochtes Weißei ein. Dann übergießen wir die Substanzen mit je 2 ml konzentrierter Salpetersäure.

Beachten Sie, daß sich die Färbung der Proben verändert!

Nach etwa zwei Minuten gießen wir die Säure ab und spülen das Eiweiß mit Wasser. Das Spülwasser gießen wir ebenfalls wieder ab. Dann versetzen wir die drei Proben mit je 3 ml 10%iger Ammoniaklösung.

Was beobachten Sie?

S 51: Eiweißnachweis durch die Biuretreaktion

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Tropfpipette.
Magermilch, Natronlauge (10%ig), Kupfersulfatlösung.

In ein Reagenzglas geben wir etwa 2 ml Magermilch, versetzen mit 2 ml 10%iger Natronlauge und zwei Tropfen Kupfersulfatlösung und schütteln. Sollte die Reaktion nicht deutlich sichtbar sein, so fügen wir nochmals zwei Tropfen Kupfersulfatlösung hinzu.

Welche Färbung nimmt die Lösung an?

7. Ester

S 52: Bildung von Äthyläthanat

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Spatel, Brenner.
Natriumäthanat (Natriumazetat) wasserfrei, Äthanol (Primasprit), Schwefelsäure (konzentriert).

Wir schütten in ein trockenes Reagenzglas eine Spatelspitze wasserfreies Natriumäthanat und fügen 2 ml Äthanol und 2 ml konzentrierte Schwefelsäure hinzu. **Vorsicht!** Anschließend wird das Gemisch kurze Zeit erwärmt.

Prüfen Sie den Geruch des entstehenden Esters, der aus dem heißen Gemisch dampfförmig entweicht!

Stellen Sie für die zwei Teilreaktionen, die bei dem Versuch abliefen, Gleichungen auf!

S 53: Darstellung von Pentyläthanat als Beispiel einer Esterbildung

Reagenzglas (160 mm × 16 mm), durchbohrter Stopfen, Glasrohr (8 mm Außendurchmesser, etwa 70 cm lang), Spatel, Spritzflasche mit Wasser, Stativmaterial, Brenner.
Äthansäure (konzentriert), Pentanol, Zinkchlorid (wasserfrei).

In ein Reagenzglas geben wir 2 ml Pentanol, 2 ml konzentrierte Äthansäure und eine große Spatelspitze wasserfreies Zinkchlorid. Dann verschließen wir das Reagenzglas mit einem durchbohrten Stopfen, durch den ein gerades, etwa 70 cm langes Glasrohr geführt ist. Dieses dient als Rückflußkühler. Die Versuchsapparatur befestigen wir lotrecht an einem Stativ, indem wir das Kühlrohr (nicht das Reagenzglas) in die Klemme einspannen. Nun erhitzen wir das Reagenzglas etwa 10 bis 15 min über einer kleinen Flamme zum Sieden. Die Flüssigkeit darf nicht zu stark erhitzt werden! Sie würde dabei teilweise dampfförmig aus dem Rückflußkühler entweichen. Nachdem wir das Sieden beendet haben, öffnen wir das Reagenzglas und füllen es sofort zu drei Vierteln mit Wasser.

Wo scheidet sich der entstandene Ester ab?
Welchen Schluß ziehen Sie bezüglich der Dichte des Esters?
Prüfen Sie den Geruch des entstandenen Esters Pentyläthanat!

S 54: Verseifung eines Esters

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Tropfpipette, Brenner.
Äthyläthanat, Natronlauge (10%ig).

In ein Reagenzglas geben wir mit einer Tropfpipette 2 Tropfen Äthyläthanat. Dabei darf der Ester nicht an die obere Wandung des Reagenzglases gelangen. Dann setzen wir 5 ml 10%ige Natronlauge hinzu und erwärmen.

Prüfen Sie den Geruch des Reaktionsgemisches sofort, nachdem Sie die Reagenzien zusammengegossen haben und noch einmal, nachdem einige Zeit erhitzt wurde!

Stellen Sie die Reaktionsgleichung für den Verseifungsvorgang auf!

S 55: Unterscheidung eines fetten Öls von einem Mineralöl

2 Reagenzgläser (160 mm × 16 mm), Reagenzglashalter, Spritzflasche mit destilliertem Wasser, Tropfpipette, Brenner.
Rapsöl (oder ein anderes fettes Öl), Paraffinöl, Kalilauge (30%ig), Äthanol (Primasprit).

In zwei Reagenzgläser gießen wir zunächst je 5 ml 30%ige Kalilauge und setzen je 5 ml Äthanol hinzu. Dann geben wir in das eine Glas 5 Tropfen Rapsöl oder ein anderes fettes Öl und in das andere die gleiche Menge Paraffinöl. Wir erhitzen die Flüssigkeiten unter kräftigem Schütteln und lassen einige Zeit sieden. **Vorsicht!** Siedeverzug! Anschließend geben wir in beide Gläser je 10 ml destilliertes Wasser und schütteln.

Fette Öle sind Estergemische und werden durch siedende Alkalilaugen zu wasserlöslichen Seifen umgewandelt. Paraffinöl wird durch Alkalilaugen nicht verändert.

Auf welcher Flüssigkeit ist am Ende des Versuches eine Ölschicht erkennbar?

S 56: Nachweis von Propantriol in Fetten oder fetten Ölen

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Tropfpipette, Spatel, Brenner.
Rapsöl (oder ein anderes fettes Öl), Kaliumhydrogensulfat.

In ein Reagenzglas füllen wir 2 bis 3 cm hoch Kaliumhydrogensulfat und erhitzen es, bis aus der Schmelze weiße Nebel entweichen. Nun fügen wir mit einer Tropfpipette 2 bis 3 Tropfen fettes Öl hinzu und erhitzen weiter. **Vorsicht!** Spritzer!

Prüfen Sie den Geruch des entweichenden Gases!
Vergleichen Sie Ihre Feststellung mit dem Ergebnis von Versuch S 31! Welchen Schluß ziehen Sie in bezug auf den Bau der Fettmoleküle?

S 57: Nachweis von ungesättigten Karbonsäuren in fetten Ölen

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Tropfpipette.
Rapsöl (oder ein anderes fettes Öl), Tetrachlormethan, Bromwasser.

Wir tropfen in ein Reagenzglas ein wenig Rapsöl oder ein anderes fettes Öl, geben 3 ml Tetrachlormethan hinzu und schütteln. Der entstandenen Lösung setzen wir 2 ml Bromwasser hinzu. Wir verschließen das Glas mit dem Daumen und schütteln kräftig.

Was beobachten Sie?
Erläutern Sie das Versuchsergebnis!

S 58: Extraktion von Fett

3 Reagenzgläser (180 mm × 18 mm, 160 mm × 16 mm, 100 mm × 12 mm), Gummiring, Reibschale mit Pistill, Reagenzglashalter, Spritzflasche mit Wasser, Trichter, Rundfilter, Papier, Brenner, Stativmaterial.
Rapssamen (oder andere Ölsaat), Tetrachlormethan.

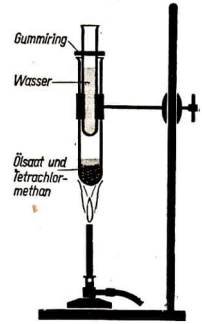


Abb. 149 Extraktion von Fett

Etwas Ölsaat wird in einer Reibschale zerdrückt und in ein großes Reagenzglas (180 mm × 18 mm) geschüttet. Wir übergießen sie mit ungefähr 3 ml Tetrachlormethan und befestigen das Reagenzglas lotrecht an einem Stativ. Dann schneiden wir von einem Gummistopfen mit 25 bis 30 mm Durchmesser eine Scheibe ab und versehen diese mit einer 16-mm-Bohrung. In den entstandenen Gummiring schieben wir ein Reagenzglas (160 mm × 16 mm) zu nur drei Vierteln seiner Länge. Nun stecken wir dieses Reagenzglas in das größere. Zwischen den Wandungen beider Gläser muß ein geringer Zwischenraum vorhanden sein. Das engere Glas, das mit dem Gummiring auf dem Rand des weiteren aufliegt und so zu nur etwa drei Vierteln seiner Länge in das weitere hineinragt (Abb. 149), wird mit kaltem Wasser gefüllt. Es dient als Rück-

flußkühler. Dann erwärmen wir vorsichtig über einer ganz kleinen Flamme. Das Tetrachlormethan darf nur schwach sieden, damit die Ölsaat nicht in die Höhe gerissen wird und an den Wandungen der Reagenzgläser hängen bleibt.

Beobachten Sie das untere Ende des mit Wasser gefüllten Einsatzes! Was stellen Sie fest?

Nachdem wir etwa fünf Minuten zum Sieden erhitzt haben, nehmen wir den Brenner fort und filtrieren das Tetrachlormethan in ein kleines Reagenzglas (100 mm × 12 mm) ab. Nun erwärmen wir dieses Glas so lange über der Flamme, bis fast das gesamte Lösungsmittel verdampft ist, ohne jedoch zur Trockene einzudampfen. Etwas von dem eingedampften Filtrat tropfen wir auf ein Stück Papier.

Was stellen Sie nach kurzer Zeit auf dem Papier fest?

8. Seifen und Neutralwaschmittel

S 59: Darstellung von Natronseife aus Fettsäuren und Natronlauge

Becherglas (400 ml, hohe Form), Reagenzglas (160 mm × 16 mm), Reagenzglashalter, Meßzylinder (100 ml), Glasstab, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner, Spritzflasche mit destilliertem Wasser.
Fettsäuregemisch, Natronlauge (10%ig), Natriumchloridlösung (10%ig).

In ein hohes Becherglas gießen wir 20 ml 10%ige Natronlauge und 10 ml destilliertes Wasser, erhitzen die Flüssigkeit zum Sieden und nehmen dann den Brenner weg. Inzwischen füllen wir etwa 10 g Fettsäuregemisch mittels eines Glasstabes in ein Reagenzglas, erwärmen es, bis die Substanz geschmolzen ist, und geben das geschmolzene Fettsäuregemisch in kleinen Mengen unter ständigem Umrühren in die heiße Lauge. **Vorsicht!** Dabei siedet die Flüssigkeit infolge der exothermen Reaktion manchmal von neuem auf. Nun schieben wir den Brenner wieder unter das Becherglas und lassen noch etwa 15 min sieden, wobei wir die durch Verdampfung auftretenden Flüssigkeitsverluste durch mehrmalige Zugabe von destilliertem Wasser ausgleichen. Dann setzen wir etwa 30 ml 10%ige Natriumchloridlösung hinzu und rühren gut durch. Wir stellen das Becherglas zur Seite und lassen es einige Zeit ruhig stehen.

Was beobachten Sie?

Wir nehmen mit einem Glasstab etwas Substanz oben aus dem Becherglas ab.

Prüfen Sie, ob sich diese zum Waschen der Hände eignet!

S 60: Wasserhärte und Seifenwirkung

4 Reagenzgläser (160 mm × 16 mm), 4 Stopfen, Meßzylinder (10 ml), Spritzflasche mit destilliertem Wasser.
Seifenlösung (2%ig), Kalziumchloridlösung (0,5%ig).

Wir füllen in vier Reagenzgläser folgende Flüssigkeitsmengen:
6 ml destilliertes Wasser,
2 ml 0,5%ige Kalziumchloridlösung und 4 ml destilliertes Wasser,
4 ml 0,5%ige Kalziumchloridlösung und 2 ml destilliertes Wasser,
6 ml 0,5%ige Kalziumchloridlösung.

Nun geben wir in jedes Reagenzglas 2 ml 2%ige Seifenlösung, verschließen die Gläser mit Stopfen und schütteln sie kräftig in waagerechter Haltung.

In welchem der vier Reagenzgläser bleibt die Flüssigkeit klar?
Was beobachten Sie über der klaren Flüssigkeit?
Beurteilen Sie die Haltbarkeit dieser Erscheinung!
Was ist in den drei anderen Reagenzgläsern zu sehen?
Begründen Sie das Versuchsergebnis!

In die Gläser, die Kalziumchloridlösung enthalten, gießen wir nochmals je 2 ml Seifenlösung. Wir verschließen wiederum die Gläser und schütteln. Die Zugabe von Seifenlösung und das Schütteln werden so oft wiederholt, bis in allen Reagenzgläsern eine hohe Schicht bleibenden Schaums entstanden ist. Die für die einzelnen Lösungen benötigten Mengen an Seifenlösung schreiben wir auf.

In welchem Zusammenhang stehen die Mengen des gelösten Kalziumsalzes mit den Mengen Seifenlösung, die zur Fällung verbraucht wurden?

Erläutern Sie, warum der durchgeführte Versuch zur Bestimmung der Wasserhärte dienen kann! Warum ist es notwendig, beim Waschen mit Seife weiches (enthärtetes) Wasser zu verwenden?

S 61: Herabsetzung der Oberflächenspannung

2 Bechergläser (150 ml, niedrige Form), 2 Stückchen Textilgewebe (etwa 20 mm × 20 mm), wenn möglich ungebleichtes Baumwollgewebe, Spritzflasche mit destilliertem Wasser. Seifenlösung (2%ig).

Wir gießen in ein Becherglas etwa 4 cm hoch Wasser und in ein zweites die gleiche Menge 0,5%ige Seifenlösung (1 Teil 2%ige Seifenlösung und 3 Teile destilliertes Wasser). Anschließend legen wir auf die Flüssigkeiten vorsichtig je ein Stückchen Textilgewebe. Die Stücke müssen so auf den Flüssigkeiten schwimmen, daß sie nicht die Wandung der Bechergläser berühren.

Wie lange dauert es, bis die Textilgewebe von den Flüssigkeiten benetzt werden und daher untersinken?

S 62: Vergleich zwischen Seife und Neutralwaschmittel

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Meßzylinder (10 ml), Spritzflasche mit destilliertem Wasser, Tropfpipette.
Seifenlösung (2%ig), Fewalösung (1%ig), Phenolphthaleinlösung, Kalziumchloridlösung (10%ig), Äthansäure (10%ig), Natriumchloridlösung (10%ig).

In ein Reagenzglas geben wir 2 ml 2%ige Seifenlösung und 2 ml destilliertes Wasser, in ein zweites Reagenzglas 4 ml 1%ige Fewalösung. Beide Flüssigkeiten versetzen wir mit je 3 Tropfen Phenolphthaleinlösung und schütteln.

Was beobachten Sie?
Ziehen Sie Schlußfolgerungen für das Waschen empfindlicher Textilien!

Nachdem wir die beiden Reagenzgläser entleert und ausgespült haben, füllen wir erneut 2 ml Seifenlösung und 2 ml destilliertes Wasser beziehungsweise 4 ml Fewalösung ein.

Darauf fügen wir je 1 ml 10%ige Kalziumchloridlösung hinzu, verschließen die Gläser mit dem Daumen und schütteln kräftig.

Wie unterscheiden sich die Waschmittellösungen in ihrem Verhalten? Erläutern Sie den Vorgang in der Seifenlösung anhand einer Reaktionsgleichung!

Wir entleeren und reinigen die Gläser wieder und füllen wie oben Seifen- und Fewalösung ein. Dann versetzen wir diese mit je 1 ml 10%iger Äthansäure, verschließen die Gläser und schütteln.

Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen!

Erläutern Sie die Reaktion in der Seifenlösung und stellen Sie dafür eine Gleichung auf!

Nach nochmaliger Entleerung und Reinigung der Gläser und erneutem Einfüllen der Seifen- und Fewalösung versetzen wir beide Flüssigkeiten mit je 2 ml 10%iger Natriumchloridlösung und schütteln.

Was beobachten Sie?

Welche Bedeutung hat der beobachtete Vorgang für die Seifenherstellung?
Wie wirkt Meerwasser, wenn man es beim Waschen mit Seife verwendet?

9. Ringförmige Kohlenwasserstoffe und einige Derivate

S 63: Dichte des Benzols und sein Verhalten gegen Wasser

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Stopfen, Reagenzglasgestell, Fettstift.
Benzol, Wasser.

Wir geben in ein Reagenzglas etwa 4 ml Wasser, markieren die Höhe der Flüssigkeit am Glas und versetzen mit etwa 2 ml Benzol. Dann verschließen wir das Glas mit einem Stopfen, schütteln kräftig und lassen anschließend das Glas ungefähr zwei Minuten im Reagenzglasgestell stehen.

Was beobachten Sie? Hat sich die Berührungsfläche von Wasser und Benzol verschoben?
Was schließen Sie aus Ihrer Beobachtung bezüglich der Löslichkeit von Benzol in Wasser?
Ist die Dichte von Benzol größer oder kleiner als eins?

S 64: Verhalten von Benzol gegenüber BAEYERS Reagens

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Stopfen.
Benzol, BAEYERS Reagens.

Wir geben in ein Reagenzglas etwa 3 ml Benzol und fügen die gleiche Menge BAEYERS Reagens hinzu. Dann verschließen wir das Glas mit einem Stopfen und schütteln kräftig.

Können Sie eine Veränderung an BAEYERS Reagens feststellen?
Was schließen Sie aus Ihrer Beobachtung?

S 65: Darstellung von Aminobenzol

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Glasstab, **Tropfpipette, Spatel,** Reagenzglasgestell.
Nitrobenzol, Salzsäure (10%ig), Eisenfeilspäne.

Wir geben eine Spatelspitze Eisenfeilspäne in ein Reagenzglas, fügen zuerst 10 Tropfen Nitrobenzol und dann 3 ml 10%ige Salzsäure hinzu und lassen das Ganze unter wiederholtem Umschütteln 8 bis 10 min reagieren. Sollte sich aus den Eisenfeilspänen und dem Nitrobenzol ein Klümpchen gebildet haben, so rühren wir mit einem Glasstab um. Falls beim Eintragen des Nitrobenzols in das Reagenzglas keine Substanz an den oberen Teil des Glases geschmiert wurde, können wir die chemische Umsetzung des Nitrobenzols am Verschwinden des Bittermandelgeruches feststellen.

Was stellen Sie nach der angegebenen Zeit fest?

Den Nachweis, daß sich Aminobenzol gebildet hat, führen wir durch Versuch S 66.

S 66: Nachweis von Aminobenzol durch die Ligninreaktion

Zeitungspapier, Holzspan, Tropfpipette, Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Glasstab.
Aminobenzol bzw. das Reaktionsgemisch aus Versuch S 65, Salzsäure (10%ig).

Wir versetzen in einem Reagenzglas 2 Tropfen Aminobenzol mit 2 ml 10%iger Salzsäure und schütteln. Mit der entstandenen Lösung beziehungsweise mit dem Reaktionsgemisch vom Versuch S 65 (enthält ebenfalls ein Salz des Aminobenzols) bestreichen wir einen Holzspan (enthält Lignin) oder ein Stück ligninhaltiges Papier (Zeitungspapier).

Welche Farbe wird an den bestrichenen Stellen sichtbar?

10. Kohlenhydrate

S 67: TROMMERsche Probe

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglashalter, Spatel, Tropfpipette, Brenner.
Glukose (Traubenzucker), Kupfersulfatlösung (Fehling I), Natronlauge (10%ig).

In ein Reagenzglas geben wir eine Spatelspitze Glukose, versetzen sie mit 1 ml Wasser und 2 ml 10%iger Natronlauge und schütteln. Zu der entstandenen klaren Lösung fügen wir einige Tropfen Kupfersulfatlösung (Fehling I) und schütteln wieder. Wir erhalten eine klare Lösung, die dunkler blau gefärbt ist als die zugesetzte Kupfersulfatlösung. Die Blaufärbung beruht auf der Bildung eines wasserlöslichen Glukose-Kupfer(II)-Komplexsalzes. Nun erhitzen wir die Flüssigkeit bis zum Sieden. **Vorsicht!** Das Glas muß fortwährend geschüttelt werden, um Siedeverzug zu vermeiden!

Welche Veränderungen beobachten Sie an der ursprünglichen klaren blauen Flüssigkeit? Was schließen Sie aus dem Versuchsergebnis?

S 68: Nachweis reduzierender Stoffe in Früchten und Gemüse

2 Reagenzgläser (160 mm × 16 mm, 100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Spritzflasche mit Wasser, Messer, Brenner.
Apfel oder Beerenobst oder Karotte, Fehling I und II.

Wir zerkleinern ein Stück Apfel beziehungsweise eine Karotte oder zerquetschen einige Beeren. Die Substanz geben wir in ein großes Reagenzglas, setzen 5 ml Wasser

hinzu und erhitzen zum Sieden. In einem kleineren Reagenzglas mischen wir je etwa 1,5 ml Fehling I und II miteinander. Dabei entsteht eine klare, tiefblaue Lösung, der wir 2 bis 3 ml von dem wäßrigen Obst- oder Karottenauszug zusetzen. Dann erhitzen wir die Probe zum Sieden. **Vorsicht!** Gefahr des Siedeverzuges!

Was stellen Sie fest?
Was beweist das Ergebnis des Versuches?

S 69: Nachweis reduzierender Zucker im Kunsthonig

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Brenner.
Kunsthonig, Fehling I und II.

Wir mischen etwa 2 ml Fehling I mit der gleichen Menge Fehling II, so daß eine tiefblaue, klare Lösung entsteht. Dazu geben wir mittels eines Glasstabes ein wenig Kunsthonig (etwa halbe Erbsengröße) und erhitzen die Flüssigkeit zum Sieden. **Vorsicht!** Gefahr des Siedeverzuges!

Was stellen Sie fest?
Wie deuten Sie Ihre Beobachtung?

S 70: Stärkenachweis mit Jod

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Brenner.
Stärke, Jod-Kaliumjodidlösung (stark verdünnt).

Ein wenig Stärke geben wir in ein Reagenzglas, versetzen sie mit etwa 10 ml Wasser, verschließen das Glas mit dem Daumen und schütteln. Die dabei erhaltene Aufschlämmung gießen wir zur Hälfte in ein anderes Glas ab. Eines der beiden Reagenzgläser wird fast bis zum Sieden der Flüssigkeit erhitzt und dann wieder auf Raumtemperatur abgekühlt. Anschließend geben wir zu beiden Flüssigkeiten je einen Tropfen stark verdünnte Jod-Kaliumjodidlösung und schütteln.

Was stellen Sie fest?

S 71: Stärkenachweis in Nahrungsmitteln

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Glasstab, Messer, Reibschale mit Pistill, Brenner.
Rohe Kartoffel, weiße Bohnen, Getreidekörner, Obst, Gemüse, Jod-Kaliumjodidlösung (stark verdünnt).

Wir schaben von einer Kartoffel ein wenig ab. Getreidekörner oder dergleichen werden in der Reibschale mit dem Pistill zerdrückt. Von der zerkleinerten Substanz geben wir etwas in ein Reagenzglas. Für breiiges Material benutzen wir hierbei einen Glasstab. Dann setzen wir 4 ml Wasser hinzu und erhitzen zum Sieden. Anschließend kühlen wir die Flüssigkeit auf Raumtemperatur ab und fügen 1 bis 2 Tropfen stark verdünnte Jod-Kaliumjodidlösung hinzu.

Worauf läßt die auftretende Färbung schließen?

S 72: Unterscheidung der Margarine von der Butter mit Hilfe der Jod-Stärke-Reaktion

2 Reagenzgläser (100 mm × 12 mm), Tropfpipette, Becherglas (150 ml), Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglashalter, Glasstab, Thermometer, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner.
Margarine, Butter, Jod-Kaliumjodidlösung.

Ein Reagenzglas füllen wir mit Hilfe eines Glasstabes zur Hälfte mit Margarine und erwärmen es, bis die Margarine schmilzt. Dann bringen wir Wasser in einem Becherglas auf eine Temperatur von ungefähr 60 °C, stellen das Reagenzglas in das heiße Wasser und lassen es eine halbe Stunde darin stehen. Die Margarine trennt sich in zwei Schichten. Die obere Schicht besteht aus Fett, die untere aus Wasser. Nun pressen wir das Gummihütchen einer Tropfpipette zusammen, führen diese tief in das Reagenzglas ein und saugen die untere, wäßrige Flüssigkeit ab. Wir entleeren die Pipette in ein zweites Reagenzglas und setzen etwa die gleiche Menge Wasser hinzu. Anschließend erhitzen wir die Probe zum Sieden, kühlen sie dann auf Raumtemperatur ab und fügen ihr 1 bis 2 Tropfen Jod-Kaliumjodidlösung hinzu.

Was stellen Sie fest?

Wir führen nun einen entsprechenden Versuch mit Butter durch.

11. Plaste und Chemiefasern

S 73: Thermoplaste und Duroplaste

Eisenblechstreifen (100 mm × 20 mm, V-förmig in der Längsachse gebogen, vgl. Versuch S 1), Tiegelzange, Glasstab, Brenner.
Polyvinylchlorid (z. B. ein Stückchen von einer Ekadur-Dachrinne), Phenoplast (z. B. ein Stück von einer Schalterkappe), verschiedene Plaste.

Ein kleines Stück Polyvinylchlorid geben wir auf einen V-förmig gebogenen Eisenblechstreifen, fassen ihn mit einer Tiegelzange und erhitzen ihn vorsichtig über der kleinen Flamme eines Brenners.

Wie verhält sich Polyvinylchlorid?
Prüfen Sie das Material während des Erhitzens durch Betupfen mit einem Glasstab!
Was stellen Sie nach dem Erkalten der Plastprobe fest?

Nun wiederholen wir den Versuch mit einem Stück Phenoplast.

Wie verhält sich ein Phenoplast beim Erhitzen?
Prüfen Sie den Geruch der dabei auftretenden Gase beziehungsweise Dämpfe!
Was stellen Sie fest?

Sammeln Sie unbrauchbar gewordene Plastgegenstände und prüfen Sie, ob sie zu den Thermoplasten oder Duroplasten gehören!

S 74: Untersuchung von Plasten durch die Brennprobe

Tiegelzange, Brenner, Unterlage aus unbrennbarem Material (z. B. ein Stück Blech oder eine Glasscheibe).
Plastprobe.

Brennprobe bei Plasten

Plast	Verhalten bei Einbringen in die Flamme	bei der Verbrennung auftretende Gerüche	Besonderheiten
Polyvinylchlorid (PVC)	brennt schwer, die Flamme ist etwas grünlich gefärbt	stechend nach Chlorwasserstoff	brennt nicht weiter, wenn die Probe aus der Brennerflamme genommen wird
Polyvinylazetat (PVA)	brennt mit bläulicher Flamme, die eine gelbe Spitze hat; schmilzt beim Brennen	stechend, etwas schweißartig	tropft beim Brennen, Tropfen brennen nicht weiter
Polyäthylen	brennt am Anfang mit bläulicher, dann mit gelber Flamme, schmilzt beim Brennen	wie verlöschende Kerze	tropft beim Brennen, Tropfen brennen weiter
Polyamid	brennt mit bläulicher, gelbgesäumter Flamme, schmilzt beim Brennen, dabei meist Blasenbildung	etwas nach verbranntem Eiweiß	tropft beim Brennen in Fäden ab
Polystyrol	brennt mit leuchtend gelber, rußender Flamme, schmilzt beim Brennen	süßlich und nach Benzol	tropft beim Brennen
Polyester	schwer zu entzünden, brennt dann mit gelber, rußender Flamme	süßlich	kann durch Zusätze fast unentflammbar sein
Polymethakrylsäureester (Piacryl)	brennt mit gelber, knisternder Flamme	fruchtartig, süßlich	
Zelluloid	brennt sehr heftig mit gelber Flamme	nach Kampfer	Feuergefährlich!
Zelluloseazetat	brennt mit etwas sprühender Flamme	nach Essig	tropft beim Brennen, Tropfen brennen weiter
Phenoplaste	brennt schwer, wobei das Material platzt und verkohlt, gelbe Flamme	nach Phenol und Methanal	Füllstoffe können Brennen und Gerüche stark beeinflussen
Aminoplaste	brennt schwer, wobei das Material unter knackendem Geräusch verkohlt	unangenehm fischartig; z. T. nach Ammoniak und Methanal	Füllstoffe können Brennen und Gerüche stark beeinflussen
Epoxydharze	brennt langsam mit hell orangefarbiger, bläulich gesäumter, rußender Flamme	etwas nach Phenol	

Wir fassen ein Stück des zu untersuchenden Plastes mit einer Tiegelzange und halten es in eine kleine Flamme.

Ist die Probe brennbar? Beachten Sie Flammenfärbung und auftretende Gerüche!

Wenn die Plastprobe zu brennen beginnt, nehmen wir sie aus der Flamme. Von der erhitzten Probe womöglich herabfallende Tropfen dürfen nur auf die unbrennbare Unterlage gelangen!

Brennt das Material auch außerhalb der Brennerflamme weiter? Entnehmen Sie aus der Übersicht (Seite 287), welche Plaste die ermittelten Eigenschaften besitzen!

S 75: Phenoplast aus Dihydroxybenzol und Methanal

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Becherglas (150 ml) mit Wasser, Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Spatel, Asbestdrahtnetz, Dreifuß, Brenner.
1,3-Dihydroxybenzol (Resorzin), Methanallösung (Formol, Formalin, 30- bis 40%ig), Natronlauge (10%ig).

Wir schütten in ein Reagenzglas etwa 2 cm hoch 1,3-Dihydroxybenzol und setzen so viel Wasser hinzu, daß die Substanz nur eben bedeckt ist. Dann gießen wir 2 bis 3 cm hoch 30- bis 40%ige Methanallösung zu und erwärmen, bis der Bodensatz vollständig gelöst ist. Zur Lösung geben wir 4 Tropfen 10%ige Natronlauge, schütteln und stellen das Reagenzglas einige Zeit in ein Becherglas mit siedendem Wasser.

Was stellen Sie fest?
Bewahren Sie das Reagenzglas mit dem Reaktionsprodukt einige Tage auf und prüfen Sie dann, ob es sich verändert hat!

S 76: Bildung eines Phenoplast-Zwischenproduktes

Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Spatel, Tropfpipette, Brenner.
Paraformaldehyd, Phenol, Natronlauge (10%ig).

Wir geben in ein Reagenzglas zuerst 1,5 cm hoch Paraformaldehyd, darauf etwa 3 cm hoch Phenol und erwärmen das Ganze leicht. Zur entstandenen Flüssigkeit fügen wir 3 Tropfen 10%ige Natronlauge hinzu und erwärmen dann über einer kleinen Flamme ungefähr 3 min weiter.

Was beobachten Sie?
Kühlen Sie das Reaktionsprodukt ab und stellen Sie dann seinen Aggregatzustand fest!

S 77: Schmelzbarkeit von Dederon

Glasstab, Reagenzglas (100 mm × 12 mm), Reagenzglashalter, Schere, Brenner.
Dederon (z. B. ein Stück Strumpf).

Von einem Strumpf aus Dederon schneiden wir möglichst kleine Stücke ab und erhitzen sie vorsichtig in einem Reagenzglas. Dabei müssen wir die Dederonschnitzel mit dem Glasstab zusammenpressen, damit das Material gleichmäßig erwärmt wird.

Was bemerken Sie nach kurzer Zeit?
Ziehen Sie den Glasstab, nachdem das Material geschmolzen ist, langsam wieder aus dem Reagenzglas heraus! Was stellen Sie fest?

Zur geschichtlichen Entwicklung des Atombegriffs

Grundlegende Kenntnisse über den Bau der Stoffe haben nicht nur große Bedeutung für die chemische Forschung, sondern auch für die Anwendung der Chemie in der Praxis, besonders in der chemischen Industrie. Im folgenden soll zusammenfassend dargestellt werden, wie die Begriffe „Element" und „Atom" entstanden sind und wie sie sich mit der Entwicklung neuer Forschungsmethoden und fortschreitenden Erkenntnissen über die Stoffe und ihren Bau verändert haben.

1. Vorstellungen der griechischen Philosophen über Elemente und Atome. Schon im Altertum haben die Menschen versucht, die Erscheinungen und Vorgänge in der Natur zu erklären. Die verschiedenen Eigenschaften der Körper deuteten sie durch die Annahme von Urstoffen. Der griechische Philosoph THALES VON MILET, der im 6. Jahrhundert v. u. Z. lebte, sah das Wasser als den Urstoff an. Er ging offenbar von der Wahrnehmung aus, daß Samen und Nahrung feucht sind, und lehrte, daß das Feuchte das Bildsame, Lebendige und Lebengebende sei. Später nahmen einige griechische Philosophen die Luft, das Feuer und die Erde als Urstoffe an. So entstand in der griechischen Philosophie die Lehre von den vier „Elementen" Wasser, Luft, Feuer und Erde, unter denen sie die wesentlichen Eigenschaften eines Urstoffes verstanden. So stellte das Wasser die Eigenschaften kalt und feucht dar, die Luft die Eigenschaften feucht und warm usw. Aus der Mischung dieser „Elemente" sollten sich nach dieser Lehre die Eigenschaften der verschiedenen Körper ergeben. Der Elementbegriff der Griechen bezieht sich also auf Eigenschaften, nicht auf das Stoffliche selbst.

Während die genannte philosophische Richtung die Vielfalt der Erscheinungen durch Mischung der vier „Elemente" erklärte, entwickelten andere griechische Philosophen die Vorstellung, daß alle Körper aus kleinsten, unteilbaren Stoffteilchen, den Atomen, bestehen. Der bekannteste Vertreter dieser Richtung war DEMOKRIT VON ABDERA, der im 5. Jahrhundert v. u. Z. lebte. Nach der Lehre DEMOKRITS sind die Atome winzige, unteilbare Körnchen in verschiedenen Größen und Formen. Sie sind unveränderlich und bestehen schon von Ewigkeit an in der gleichen Form. Wegen ihrer Kleinheit kann man sie nicht wahrnehmen. Diese Atomlehre erklärte die Erscheinungen und Vorgänge in der Natur durch die Bewegung der Atome; sie verbinden sich miteinander oder trennen sich voneinander.

Die Vorstellungen der griechischen Philosophen über Elemente und Atome beruhten noch nicht auf exakten Beobachtungen der Natur und daraus gezogenen Schlußfolgerungen. Sie waren vielmehr das Ergebnis von spekulativen Überlegungen.

Der Gedanke der grundsätzlichen Einheit aller Stoffe und der Elementbegriff der griechischen Philosophen erhielten sich auch noch in der vom 4. bis Anfang des 16. Jahrhunderts reichenden Entwicklungsperiode der Chemie, die als Alchimie bezeichnet wird. In dieser Zeit hemmten Aberglaube und strenge Vorschriften der Kirche die Entwicklung der Wissenschaften, besonders der Naturwissenschaften. Die Alchimisten

wurden zu ihren Arbeiten in erster Linie durch die Goldgier der Fürsten veranlaßt. Sie suchten Edelmetalle aus anderen Stoffen, insbesondere unedlen Metallen, herzustellen. Dabei experimentierten sie planlos. Trotzdem bereicherte die Alchimie die Wissenschaft durch Entdeckung neuer Stoffe, zum Beispiel der Schwefelsäure, der Salpetersäure, der Pottasche, des Silbernitrats und anderer, sowie durch die Einführung wichtiger Arbeitsverfahren, wie Filtrieren, Destillieren, Umkristallisieren usw.

In der geschichtlichen Entwicklung der Chemie wurde die Alchimie abgelöst durch die Iatrochemie (16. und 17. Jahrhundert). War das zentrale Problem der Alchimie die Erzeugung von Gold aus unedlen Metallen, so stand in der folgenden Periode die Herstellung von Arzneien im Mittelpunkt der chemischen Forschung. Der Begründer und bedeutendste Vertreter der Iatrochemie war der Arzt Theophrastus Bombastus von Hohenheim, genannt Paracelsus (1493–1541). Er stellte der Chemie die Aufgabe, im Dienste der Medizin Heilmittel zu entwickeln. Die Bemühungen, reine Arzneien herzustellen, bereiteten den Wandel in der Auffassung von den „Elementen" vor.

Die Atomlehre der griechischen Philosophen geriet im Zeitalter der Alchimie und der Iatrochemie in Vergessenheit. Im 16. Jahrhundert wurde sie von dem französischen Philosophen Petrus Gassendi in seinem materialistischen philosophischen System erneuert.

2. Der Elementbegriff Boyles. Der englische Physiker Robert Boyle (1627–1691) entwickelte einen neuen Elementbegriff, den Begriff des chemischen Elements. Er lehrte, chemische Elemente sind die einfachsten Stoffe, die nicht in andere zerlegt werden können. Im Gegensatz zu den Elementen der griechischen Philosophen bezieht sich der Elementbegriff Boyles auf das Stoffliche selbst, und er ist wissenschaftlich begründet.

Boyle wandte auf seinen Elementbegriff auch den Atombegriff an. Er dachte sich die Stoffe aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt. Diese sollten verschiedenartig für die verschiedenen Elemente sein. In den chemischen Verbindungen werden sie durch Anziehungskräfte zusammengehalten. Boyle gilt als der Begründer der wissenschaftlichen Chemie.

Mit den neuen Methoden der Chemie wurden in der Folgezeit auch die sogenannten Elemente der griechischen Philosophen untersucht. Im Zusammenhang mit den Untersuchungen der Verbrennungserscheinungen wurde festgestellt, daß die Luft kein chemisches Element ist. Die Verbrennungsvorgänge erklärte der deutsche Chemiker und Mediziner Georg Ernst Stahl (1660–1734) mit Hilfe seiner Phlogistonlehre. Anknüpfend an spekulative Vorstellungen aus der griechischen Philosophie stellte er im Jahre 1710 die Hypothese auf, daß beim Verbrennen eines Stoffes ein unsichtbarer, unwägbarer Bestandteil entweiche, den er „Phlogiston" nannte.

Die Bedeutung der Phlogistonlehre, die die Chemie im 18. Jahrhundert beherrschte, besteht darin, daß sie zum ersten Male eine große Anzahl chemischer Vorgänge einheitlich zu erklären versuchte. Sie spiegelte jedoch die Wirklichkeit nicht richtig wider. Deshalb hat die Phlogistonlehre die Forscher oft in unlösbare Widersprüche verwikkelt und dazu beigetragen, daß sie die richtige Erklärung für die Verbrennungserscheinungen nicht fanden oder sie zwar ahnten, jedoch unter dem Einfluß der die Chemie beherrschenden Theorie nicht wagten, die Wahrheit auszusprechen.

Widerlegt wurde die Phlogistonhypothese durch Untersuchungen des französischen

Chemikers Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794). Er entdeckte, wie Friedrich Engels sagte, in dem Sauerstoff „den reellen Gegenpol des phantastischen Phlogistons" und warf „damit die ganze phlogistische Theorie über den Haufen". Die Sauerstofftheorie der Verbrennung löste in der historischen Entwicklung der Chemie die Phlogistonlehre ab. Lavoisiers Erklärung der Verbrennungserscheinungen als Vereinigung des brennenden Stoffes mit dem Sauerstoff der Luft wirkte im Zeitalter der Phlogistonlehre revolutionär. Aber die Anhänger dieser Lehre bekämpften die materialistische Sauerstofftheorie. Sie stellten zum Beispiel die Tatsache der Massenzunahme entweder als bedeutungslos hin, oder sie suchten ihre phlogistische Anschauung durch Zusatzhypothesen zu retten, zum Beispiel indem sie dem Phlogiston „negative Masse" zuschrieben. Eine Zeitlang herrschten beide Auffassungen nebeneinander.

Die Geschichte der Phlogistonlehre zeigt deutlich, welche Verwirrung entsteht, wenn eine Theorie nicht an der Praxis geprüft wird und wenn die Ergebnisse dieser Überprüfung nicht sofort rückwirkend auf die Theorie angewendet werden. Allein eine Theorie, welche die Wirklichkeit richtig widerspiegelt, kann sich auf die Dauer halten und auch die Forschung richtig leiten. Dagegen hemmt jede Lehre, die dieser Voraussetzung nicht genügt, den Fortschritt der Wissenschaft.

Der russische Wissenschaftler Michail Wassiliewitsch Lomonossow (1711–1765) erklärte, daß sich bei der Verbrennung die kleinsten Teilchen des brennenden Stoffes mit den kleinsten Teilchen der Luft verbinden. Mit dieser Anschauung über den Verbrennungsvorgang wandte sich Lomonossow ebenfalls gegen die Phlogistonlehre.

Der Fortschritt in der experimentellen Methode der Chemie, der unter anderem zur Erkenntnis des Verbrennungsvorganges führte, bestand darin, daß man chemische Reaktionen mit Hilfe der Waage untersuchte. Auf diese Weise wurde auch das Gesetz von der Erhaltung der Masse entdeckt. Lomonossow hat es bereits im Jahre 1748 ausgesprochen. Unabhängig von Lomonossow leitete Lavoisier das Gesetz von der Erhaltung der Masse aus Untersuchungen ab, die er in den Jahren 1773 bis 1774 ausführte.

Nachdem das Gesetz von der Erhaltung der Masse entdeckt worden war, konnte der Begriff des chemischen Elements klarer definiert werden: Elemente sind Stoffe, die bei chemischen Reaktionen niemals eine Massenabnahme, sondern stets nur eine Massenzunahme erfahren.

3. Die chemischen Grundgesetze und ihre Erklärung durch die Atomtheorie. Die neue Methode, die vor allem von Lomonossow und von Lavoisier in die Chemie eingeführt worden war, bestand in quantitativen Untersuchungen der Stoffe und der chemischen Vorgänge. Ihre Anwendung führte am Anfang des 19. Jahrhunderts zu dem Ergebnis, daß chemische Verbindungen unabhängig von Herkunft oder Fundort (als Naturstoffe) beziehungsweise laboratoriumsmäßiger oder industrieller Herstellung (als synthetische Stoffe) immer die gleiche Zusammensetzung haben. Dieses Gesetz der konstanten Proportionen wurde zuerst von dem französischen Chemiker Joséphe Louis Proust (1754–1826) ausgesprochen.

Das Gesetz von der Erhaltung der Masse und das Gesetz der konstanten Proportionen konnten mit Hilfe der Atomhypothese erklärt werden, die auf dem neuen Elementbegriff fußt. Nach dieser Hypothese besteht jedes Element aus unteilbaren, untereinander gleichartigen Atomen von gleicher Masse. Atome verschiedener Elemente sind verschieden, sie unterscheiden sich vor allem in der Masse.

Die neue Atomhypothese wird dem englischen Physiker und Chemiker JOHN DALTON (1766–1844) zugeschrieben. Allerdings waren die meisten Grundannahmen über die Atome zu DALTONS Zeit schon bekannt. Sein Verdienst um die Entwicklung der Atomtheorie bestand vor allem darin, daß er den Atomen eine bestimmte Masse zuschrieb und daß er das „Atomgewicht" zu ermitteln versuchte.

Die Atomhypothese bewährte sich im Laufe des 19. Jahrhunderts immer stärker, sie wurde dadurch allmählich zu einer gesicherten Theorie. Am Ausbau der materialistischen Atom-Molekulartheorie hatte der bedeutende russische Chemiker ALEXANDER MICHAILOWITSCH BUTLEROW (1828–1886) großen Anteil.

Die Atom-Molekulartheorie spiegelt die Wirklichkeit richtig wider, und ihre Entwicklung zeigt, daß der Mensch auch das nicht unmittelbar Wahrnehmbare erkennen kann. Nicht zuletzt sind die großen Erfolge der Chemie, insbesondere der organischen, auf die führende Rolle der Atom-Molekulartheorie in der Forschung zurückzuführen. Dennoch gab es noch am Anfang des 20. Jahrhunderts Gegner, die diese materialistische Theorie nicht anerkannten. Die Geschichte der Atomlehre ist wiederum ein Beispiel dafür, daß sich auch in den Naturwissenschaften neue Anschauungen nur im Kampf durchsetzen.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Atom-Molekulartheorie durch die Lehre von der elektrolytischen Dissoziation erweitert, die von dem schwedischen Chemiker SVANTE ARRHENIUS entwickelt wurde. Die Ionen wurden als selbständige Bausteine der Stoffe erkannt.

Waren die Beweise für die Existenz der Atome und Moleküle anfangs nur indirekte, so konnten mit fortschreitender Entwicklung der Naturwissenschaften und Technik diese Bausteine sichtbar gemacht werden. Unter dem Elektronenmikroskop und dem Ionenmikroskop werden Moleküle und Atome abgebildet. Diese Aufnahmen sind glänzende Beweise für die Erkennbarkeit der Natur.

4. Die Entwicklung des Periodensystems der Elemente. Für die weitere Entwicklung der Atomtheorie waren die Entdeckung des Gesetzes der Periodizität und die auf dieser Grundlage erfolgende Systematisierung der chemischen Elemente von großer Bedeutung. Für die Aufstellung eines Systems der Elemente war es zunächst notwendig, die Begriffe des chemischen Elements und des Atomgewichts zu bilden. Am Anfang des 19. Jahrhunderts waren schon so viele Elemente bekannt, daß die Notwendigkeit entstand, sie zu ordnen.

Der Deutsche DÖBEREINER, der Engländer NEWLANDS und Chemiker anderer Länder suchten die Elemente zu ordnen, und sie fanden Beziehungen zwischen den zu ihrer Zeit bekannten Elementen. Die Lösung des Problems, die Elemente zu systematisieren, bestand in der Entdeckung eines neuen Naturgesetzes. Sie gelang dem großen russischen Chemiker DMITRIJ IWANOWITSCH MENDELEJEW (1834–1907). MENDELEJEW ordnete die Elemente nach dem Atomgewicht als einer meßbaren Größe und berücksichtigte dabei die wesentlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften. Auf diese Weise fand er, daß die Eigenschaften der Elemente vom Atomgewicht periodisch abhängen („Gesetz der Periodizität"). MENDELEJEW veröffentlichte seine Entdeckung im Jahre 1869.

Auf Grund des von ihm entdeckten Gesetzes der Periodizität stellte MENDELEJEW die zu seiner Zeit bekannten Elemente in einer Tabelle zusammen, wobei er die Entdekkung weiterer Elemente voraussetzte („natürliches System oder Periodensystem der Elemente"). Unabhängig von MENDELEJEW hatte der deutsche Chemiker LOTHAR

MEYER eine Tabelle der chemischen Elemente gefunden, die mit der Tafel des russischen Chemikers im wesentlichen übereinstimmte. Während jedoch MENDELEJEW bei der Ordnung der Elemente auch ihre chemischen Eigenschaften berücksichtigte, stellte Meyer vor allem die physikalischen Werte in den Mittelpunkt seiner Überlegungen. Das Periodensystem der Elemente ist der Ausdruck dafür, daß zwischen den Elementen gesetzmäßige Beziehungen bestehen. Da die Elemente aus Atomen bestehen, mußten die Ursachen für diese Zusammenhänge in dem Aufbau der Atome gesucht werden.

5. Der Bau der Atome. Am Ende des 19. Jahrhunderts standen die Forscher vor der Frage, ob auch die Atome aus einzelnen Teilchen aufgebaut sind. Bereits im Jahre 1815 hatte der englische Arzt und Chemiker WILLIAM PROUT die Hypothese aufgestellt, daß sämtliche Atome aus den gleichen einfachen Bausteinen bestehen, nämlich aus Wasserstoffatomen. Mit dieser Annahme versuchte er, den Bau der Stoffe einheitlich zu erklären. Die Erkenntnisse der Chemie und Physik waren aber damals noch nicht so weit fortgeschritten, daß die Ansicht PROUTS näher begründet werden konnte.

Allgemein hielt man noch in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts an der Annahme fest, daß die Atome als kleinste Teilchen der Elemente unteilbar wären. Dieser Auffassung setzte der russische Gelehrte ALEXANDER MICHAILOWITSCH BUTLEROW im Jahre 1886 eine kühne Voraussage entgegen. Er war der Meinung, daß die Atome den Forschern nur wegen der üblichen Arbeitsmethoden unteilbar erscheinen und die Teilung von Atomen durch neu zu entwickelnde Verfahren möglich sein wird. Die weitere Entwicklung der Physik und Chemie bestätigte die Richtigkeit der Voraussagen BUTLEROWS.

Eine Reihe von Erscheinungen deutete darauf hin, daß die Atome aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt sind. Die Emission von Elektronen aus Metallen führte zu dem Schluß, daß Elektronen Bausteine der Atome sind. Aus dem Durchgang von Elektronen durch dünne Aluminiumfolien mußte geschlossen werden, daß die Atome nicht gleichmäßig von Masse erfüllt sein können. Die Erklärung der Radioaktivität ging davon aus, daß radioaktive Atome von selbst in bestimmte Bestandteile zerfallen. Um die Jahrhundertwende beschäftigten sich viele Wissenschaftler mit der Erforschung des Atominneren. Bei ihren Untersuchungen verwendeten sie neue, komplizierte wissenschaftliche Apparaturen, die mit Hilfe einer hochentwickelten Technik hergestellt wurden. Die Forscher erkannten, daß sich die Atome aus kleinsten Teilchen aufbauen.

Die ersten Erkenntnisschritte, die zu genaueren Vorstellungen über den Bau der Atome führten, waren die Entdeckung des Atomkerns durch den englischen Physiker ERNEST RUTHERFORD (1911) und die Erklärung der Anordnung und Bewegung der Elektronen in der Atomhülle aus den Atomspektren durch den dänischen Physiker NIELS BOHR (1913). Das von RUTHERFORD entworfene Atommodell wurde von BOHR ergänzt und vervollkommnet („RUTHERFORD-BOHRSches Atommodell"). Für die Chemie war die Erkenntnis von großer Bedeutung, daß die chemischen Eigenschaften der Elemente vor allem vom Bau der Elektronenhülle abhängen.

Die Ergebnisse der sich rasch entwickelnden Atomforschung veränderten auch den Elementbegriff. Die Entdeckung der Isotopie (1919) führte zur Unterscheidung von „Mischelementen" und „Reinelementen". Die gleiche Ordnungszahl und der gleiche Bau der Elektronenhülle bei isotopen Atomarten berechtigte auch weiterhin dazu, von chemischen Elementen zu sprechen.

Zu den Merkmalen des Elementbegriffs gehört, daß Grundstoffe nicht ineinander umgewandelt werden können. Im Jahre 1919 gelang es aber RUTHERFORD, Stickstoff durch Bestrahlen mit α-Teilchen (Heliumkernen) in Sauerstoff zu verwandeln. Damit mußte der Elementbegriff berichtigt werden. Völlige Klarheit über den neuen Begriff des chemischen Elements gewannen die Wissenschaftler erst, als sie den Bau der Atomkerne genauer erforschten.

Seit dem Jahre 1932 sind die Bestandteile des Atomkerns bekannt. Nachdem der englische Physiker JAMES CHADWICK in jenem Jahre das Neutron entdeckt hatte, arbeiteten der sowjetische Physiker DMITRI DMITRIJEWITSCH IWANENKO und der deutsche Physiker WERNER HEISENBERG noch im gleichen Jahre unabhängig voneinander die Theorie aus, daß sich die Atomkerne aus Protonen und Neutronen zusammensetzen.

In den Neutronen hatten die Forscher ein neues Mittel, um Atomkerne zu zerlegen. Dem deutschen Physikochemiker OTTO HAHN gelang es im Jahre 1939, durch Neutronenbeschuß Uranatomkerne in zwei etwa gleich schwere Kerne zu spalten. Das „Element" Uran mit seinem hohen Atomgewicht wurde in zwei „Elemente" mittleren Atomgewichts zerlegt. Damit war der Elementbegriff BOYLES endgültig überwunden: Chemische Elemente sind Stoffe aus einer oder mehreren Atomarten mit gleicher Protonenzahl und gleichem Bau der Elektronenhülle.

Die Entwicklung unserer Kenntnis vom Bau der Atome bis zum heutigen Stand war ein langer Prozeß, der von den einfachsten Vorstellungen ausging und den Gesichtskreis der Menschen systematisch erweiterte. In diesem Erkenntnisprozeß haben die Menschen eine ihnen anfangs unüberwindlich erscheinende Schwierigkeit, die sich aus dem außerordentlich kleinen Durchmesser der Atome ergab, durch beharrliche Arbeit erfolgreich überwunden. Diese großartigen Leistungen der Wissenschaftler beweisen uns, daß es nichts Unerkennbares für die Menschheit gibt.

Die Erforschung des Baus und der Umwandlung der Atome schreitet ständig weiter. Heute arbeiten die Wissenschaftler an vielen Stellen der Welt in den Atomforschungszentren. Die führende Stellung auf diesem Gebiet nimmt die sowjetische Atomforschung ein. Das Atomforschungsinstitut in Dubna, in dem Wissenschaftler aus allen sozialistischen Ländern arbeiten, ist das bedeutendste seiner Art in der ganzen Welt. Auch in der Deutschen Demokratischen Republik wird Atomforschung betrieben. In Rossendorf bei Dresden wurde mit Unterstützung der Sowjetunion das Zentralinstitut für Kerntechnik aufgebaut. Dort arbeiten unsere Wissenschaftler, wie es in allen sozialistischen Ländern die vornehmste Aufgabe ist, daran, die Ergebnisse der Atomforschung in den Dienst des Friedens und des gesellschaftlichen Fortschritts zu stellen.

Abscheider 58
Acetaldehyd s. Äthanal
Acetate s. Äthanate
Acetat-kunstfaser 235
Aceton s. Propanon
Acetylen s. Äthin
Acrylnitril 233
Addition 34, 262
Adipinsäure s. Hexandisäure
Aktivkohleadsorber 56
Alchimie 289
Aldehyde s. Alkanale
Alanin 122
Alkanale 98—105, 172, 271—274
—, Aufbau 98
—, Benennung 99
—, Eigenschaften 100—101
—, Nachweis 100, 101, 172, 273, 274
Alkan-diole 95
— -disäuren 116, 117
Alkane 16—28, 258, 262—267
—, Aufbau 16
—, Benennung 22—25, 27, 28
—, Halogenderivate 29—31, 259, 260
—, homologe Reihe 22—25
Alkanole 84—95, 267—271
—, Aufbau 84
—, Benennung 84
—, homologe Reihe 94, 95
—, primäre 85
—, sekundäre 85
—, tertiäre 85
Alkan-säuren 106—115, 275, 276
—, Aufbau 106
—, Benennung 107
—, Eigenschaften 108, 275
— -triole 96, 271
Alkene 31—37, 260—262
Alkensäuren 115, 116
Alkine 38—44
Alkohol s. a. Äthanol
—, absoluter 93
Alkohole s. Alkanole
Alkylsulfate 152, 153
Allylen s. Propin
Ameisensäure s. Methansäure
Amine 214
Amino-äthansäure 122, 123
— -benzol 164, 165, 283, 284
ε-Aminocaprolactam 216, 230
Amino-gruppe 122, 164, 216
— -3-methylbutansäure, 2- 122
— -pentandisäure 122
— -plaste 214, 215, 287
— —, Eigenschaften 214, 287
— —, Herstellung 214
— —, Verwendung 214, 215
— -propansäure, 2- 122
— -säuren 122, 123
— —, α- 122
— —, 2- 122
Amisal 110
Amylen s. Penten
Anilin s. Aminobenzol
Antiklopfmittel 62
ARRHENIUS, SVANTE 292
aromatische Verbindung 157
Asphalt 73
Äthan 20, 21, 24
Äthanal 103—105, 273, 274
—, Eigenschaften 104
—, Verwendung 105
Äthan-diol 95
— -disäure 116, 117, 276
Äthanol 91—95, 269, 270
—, Eigenschaften 92, 93, 269, 270
—, physiolegische Wirkung 93
—, Verwendung 93
— -gärung 91, 92, 188, 269
— -synthese 92
Äthansäure 110—114, 276
—, Eigenschaften 112
—, Verwendung 113
— -gärung 111, 112
— -synthese 110, 111
Äthen 32—37, 260—262
Äthin 41—44
—, Eigenschaften 42, 43
—, technische Herstellung 42
—, Verwendung 43, 44
Äthyl-alkohol s. Äthanol
— -äthanat 130, 131, 278
Äthylen s. Äthen
— -dinitrat s. Äthandioldinitrat
Äthyl-nitrit 131
— -propanat 131
Atom-bau 293, 294
Atom-begriff, Entwicklung 289—294
— -forschung 294
— -gewicht 292

Atom-hypothese 292
aussalzen 143
Autoklav 200, 216

BAEYERS Reagens 34
Beilsteinprobe 258
Benzin, 52, 53, 56, 58, 61, 62, 71, 72, 264, 265
Benzol 158—162, 283
—, Aufbau 159, 160
—, Eigenschaften 158—161
—, Gewinnung 161, 162
—, Homologe 162, 163
—, Verwendung 162
— -derivate 162—169
— -ring 160
— -sulfonsäure 161
BERGIUS, FRIEDRICH 57
Bergius-Verfahren 57—59
Bernsteinsäure s. Butandisäure
BERTHELOT, MARCELLIN 9
BHT-Koks 49, 64
Bienenwachs 132
BILKENROTH, GEORG 49
Bitumen 68
Biuretreaktion 126, 278
Blei-azid 246
— -tetraäthyl 62
BOHR, NIELS 293
Bohrturm 69
BOYLE, ROBERT 290
Braunkohlen; Verwendung zur Elektroenergieerzeugung 63, 64
— -brikettierung 48
— -förderung 63
— -gas 49
— -hochtemperaturverkokung 49
— -schwelkoks 53
— -schwelteer 53
— -schwelung 50—53
— -veredlung 48
Brennprobe 234, 235, 255, 286, 287
Brisanz 241
Bromidlöscher 30
Buchstaben-Buna 271
Buna 220—223
— -kalk s. Carbidkalkhydrat
Butadien 38, 221
Butan 20, 21, 24
— -disäure 116
Butanol 94
Butansäure 107
Buten 31, 32, 35
Butin 39
BUTLEROW, ALEXANDER MICHAILOWITSCH 9, 292
Butter 136, 138, 286
— -säure s. Butansäure
Butylen s. Buten

Calciumcarbid 39—41
Calciumcarbid, technische Herstellung 40
Carbid s. a. Calciumcarbid
— -erzeugung der DDR 40
— -kalkhydrat 42
— -ofen 40
— -sprit 92
Carbolsäure 167
Carbonatverfahren 143
Carbonsäuren 106—116, 275, 276, 280
Carboxylgruppe 106
Celluloid 186, 198
Cellulose 185, 187
—, Eigenschaften 185, 186
— -dinitrat 243
— -ester 186
— -trinitrat 243
— -xanthogenate 191
Cetan s. Hexadecan
— -zahl 62
CHARDONNET, SAINT HILAIRE DE 228
CHADWICK, JAMES 294
Chemie-fäden 228
— -faserindustrie der DDR 235—238
— -fasern 227—238
— —, auf Cellulosebasis 19 —195, 228
— -spinnfasern 228
Chloräthen 199 s. a. Vinylchlorid
Chloroform s. Trichlormethan
Collodiumwolle 243
Cracken 36, 37, 74
Cyanwasserstoff 233

DALTON, JOHN 291
Decelith-H 205
— W 205
Dederon 230—233
—, Eigenschaften 231, 232, 288
DEMOKRIT VON ABDERA 289
denaturieren 91
Derivat 29
Destillation 58, 70—73, 263, 264
Destillierkolonne 92
Detonation 240
Dextropur 174
Dextrose 174
Diaminohexan, 1,6 -17
Dibromäthan 34
Dichlormethan 29
Dicksaft 180
Dicyandiamid 214
Didi-Preßmasse 214
Diesel-kraftstoff 56, 58, 62, 72
— -öl, s. Dieselkraftstoff
Diffuseur 176
Diffusionsbatterie 176
Dimethylbenzol 162, 163
DÖBEREINER, JOHANN WOLFGANG 292
Doppel-bindung 31
— -essig 114
Drehbohrverfahren 69

Dreh-filter 178
Dreifachbindung 38
Dreiphasenofen 40
Druckvergasung von Braunkohlen 49, 50
Dünnsaft 179
Duroplaste 199, 286
Dynamit 244
—, Gelatine- 244
—, Gur- 244

Edelkunstharze 211
Eisessig 112
Eiweiße 123—127, 277, 278
—, Eigenschaften 125, 126, 278
—, Nachweis 125, 278
—, Vorkommen 123, 126, 127
—, Zusammensetzung 124
— -gehalt 126, 127
— -synthese 127
Ekadur 205
Ekalit 205
Ekalon 205
Ekazell 205
Elementaranalyse, quantitative 86—89
Emulsionsverfahren 200
ENGLER, KARL 68
Entphenolung 167
Entwässerungsmaschine 128
Enzyme 91, 111, 118, 174, 184
Epilox 218
Epoxydharze 218
Erdgas 77, 78
Erdöl 67—81
—, Aufarbeitung 70, 71
—, Ausgangsstoff für die chemische Industrie 75—77
—, Destillationsprodukt 71—73
—, Entstehung 68
—, Erkundung 69
—, Förderung 69, 70
—, Nachbehandlung 73, 74
—, Vorkommen 68
Erdöl-leitung 79
— -spaltgasanlage 81
— und Erdgasindustrie der DDR 78-81
Essigessenz 114
Essigsäure s. Äthansäure
essigsaure Tonerde 112
Ester 129—140
—, Benennung 131
—, Bildung 130
Explosion 240
Explosivstoffe 239—250
—, Bedeutung 247—249
—, Einteilung 242, 243
—, Zusammensetzung 241

Fasern, halbsynthetische 228
—, vollsynthetische 228
Faulschlamm 68

FEHLINGsche Lösung 101
Feinseife 144
Fermente s. Enzyme
Ferngasleitung 77
Fette 132—139, 279—281
—, Aufbau 133
—, Eigenschaften 133
—, Gewinnung 134—136, 280, 281
—, Verwendung 138, 139
—, Vorkommen 134
fette Öle s. Fette
Fettsäuren 107
Fettsäuresynthese 114, 115
Fetthärtung 138
Fewa 153—155
Filterpresse 178
FISCHER, EMIL 124
FISCHER, FRANZ 53
Fischer-Pichler-Mitteldrucksynthese 56
Fischer-Tropsch-Synthese 53—56
Fit 153—155
Flammpunkt, Bestimmung 265, 266
Flüssiggas 21, 56, 62
Formaldehyd s. Methanal
Formalin 103
Formiate s. Methanate
Fraktion 71
Fraktionierturm 71
Frucht-äther s. Fruchtester
— -ester 132
— -zucker s. Fructose
Fructose 175
fuchsinschweflige Säure s. SCHIFFs Reagens
Füllmasse 180
funktionelle Gruppe 85

Galalith 198
Gärkessel 91
Gärung, alkoholische 91, 92
—, Essigsäure- 111, 112
—, Milchsäure- 118
Gas-öl 72
— -phase 56, 58
GASSENDI, PETRUS 200
Gelatinedynamit 244
Gelatinierung 243
Gerüstsubstanz 185
Gesamthärte 149
—, Bestimmung 150
Gesetz der konstanten Proportionen 291
Gesetz der Periodizität 292
Gesetz von der Erhaltung der Masse 291
Gießharze 211
Glakresit 212
Glockenboden 71
Glucose 172—174, 284
—, Molekülform 173
Glutaminsäure 122
Glycerin s. Propantriol

Glycerin-trinitrat s. Propantriol-trinitrat
Glycin 122
Glykokoll s. Glycin
Glykol s. Äthandiol
— -dinitrat s. Äthandiolnitrat
Glysantin 95
Grieben 134
Grubengas 19
Grudekoks 53
Grün-malz 92
— -span 112
Gummi 220
Gurdynamit 244

Hackmaschine 187
HAHN, OTTO 294
Halogennachweis 11, 252, 258
Harnstoff 9, 214
Härtegrad, deutscher 149
Hart-gewebe 215
— -papier 215
Heckapparat 177
HEISENBERG, WERNER 294
Heiz-gase 20, 21, 49, 50, 52
— -öl 72
Hexamethylendiamin s. 1,6-Diaminohexan
Hexadecansäure 114
Hexandisäure 217
HÖFER, HANS VON 68
HOHENHEIM, THEOPHRASTUS BOMBASTUS VON 290
Holz-geist 89
— -verzuckerung 174
homologe Reihe 22—25
HOOKE, ROBERT 228
Hydrierung, Hochdruck- 57—59
Hydroxy-benzol s. Phenol
— -propansäure, 2- 118, 119
— -säuren 118

Iatrochemie 290
Igamid-Schnitzel 216
Igelit s. Weich-PVC
Indigo 104
Initialsprengstoffe 246, 247
Irrlicht 19
Isomerie 26—28
Isooctan 61
Isopren 219
Isoverbindung 28
i-Verbindung s. Isoverbindung
IWANENKO, DMITRI DMITRIJEWITSCH 294

Jod-Stärke-Reaktion 183, 285

Kalander 219
Kalk-Soda-Verfahren 150, 151
Kandiszucker 174
Karamelzucker 175

KEKULÉ, AUGUST, VON STRADONITZ 159
Kernseife 144, 146
— -stein 149
Ketten-reaktion 199
— -wachstum 200
Kirnen 137
Klärgas 19
Kleesalz 117
Klopfen 61
Klopffestigkeit 62
Knall-quecksilber 246
— -schnur 246
Knetmaschine 191
Koagulierung 125
Kochsäure 187
Kofasalz 110
Kohlendisulfid 191
Kohlenhydrate 171—196
—, Zusammensetzung 171
Kohlenstoff-atom 10
— -Kohlenstoff-Bindung 10
— -Wasserstoff-Bindung 10
Kohlenwasserstoffe 15—82, 157—163, 258—267, 283
—, gesättigte 16—28
—, Gewinnung aus Erdöl und Erdgas 67—82
—, Gewinnung aus Kohle 47—66
—, kettenförmige 16—46
—, ringförmige 157—161
—, ungesättigte 31—44
Kohlenveredlung 48
— s-industrie der DDR 63—65
Koks 49, 53, 74
KOLBE, HERMANN 111
Konservierungsmittel 110, 113, 118
Kraftstoffe 60—62
Kühlpresse 144
Kunst-honig 175
— -horn 198
— -seide 191—194
— -stoff s. Plaste
Kupferkunstseide 194

Lanon 234, 235
Laugenverfahren 242, 243
LAVOISIER, ANTOINE LAURENT 291
Lebenskraft 8
Lecithin 132
Leichtöl 52, 56, 58
Leimseife 145
LOMONOSSOW, MICHAIL WASSILIEWITSCH 261
Lurgi-Spülgas-Schwelverfahren 50—53

Magnesiumacetat s. Magnesiumäthanat
Magnesiumäthanat 106
Maischbottich 91
Makromoleküle 184, 185, 199, 208
Malonsäure s. Propandisäure
Margarine 137, 286

Margarine-erzeugung der DDR 138
MARGGRAF, ANDREAS SIGISMUND 174
Maschinenöl 73
Mehrfachbindung 31, 38
–, Nachweis 33, 34
Melacart 216
Meladurpreßmasse 214
Melamin 214
Melasse 182
MENDELEJEW, DMITRIJ IWANOWITSCH 292
Metallkitt, Herstellung 271
meta-Stellung 163
Methan 16—20, 258, 259
—, Darstellung 16, 258, 259
—, Eigenschaften 17, 18, 259
—, Halogenderivate 29—31, 259, 260
—, Verwendung 20
—, Vorkommen 19
—, Zusammensetzung 18
Methanal 102, 103, 272, 273
Methanate 109, 110
—, Eigenschaften 102
—, Herstellung 103, 272, 273
—, Verwendung 103
Methanol 86—90, 267—269
—, Elementaranalyse 86—89
—, Eigenschaften 90
—, Verwendung 91
Methanolsynthese 89
Methansäure 108—110, 275
—, Eigenschaften 109, 110, 275
—, Herstellung 109
—, Verwendung 110
Methode von BOUTRON und BOUDET 150
Methyl-acetylen s. Propin
— -äthanat 131
— -alkohol s. Methanol
— -benzol 162
— -buntandien 219
— -chlorid s. Monochlormethan
— -gruppe 20, 25
— -propan, 2- 26
— -propanol-(2) 85
MEYER, LOTHAR 292
Milchsäure s. 2-Hydroxypropansäure
Miramid 216
Misch-polyamid 217, 233
— -polymerisation 221
Mittelöl 52, 58
Monochlor-monobromäthan 30
— -methan 29
Montanwachs 132

Nachreife 191
Naphthalin 49
Naphthene 68
Naßgasverfahren 42
Naßspinnverfahren 192, 233
Natrium-cellulosexanthogenat 191
— -formiat s. Natriummethanat
Natrium-phenolat 167
Natron-cellulose 191
— -seife 281
Neutralwaschmittel 152—155, 282, 283
NEWLANDS, JOHN 292
Nitrierung 161, 163
Nitro-benzol 163, 164
— -glycerin s. Propantrioltrinitrat
— -glykol s. Äthandioldinitrat
— -gruppe 163, 241
— -verbindungen 163, 241, 242
NOBEL, ALFRED 244
Normalverbindungen 28
n-Verbindungen s. Normalverbindungen

Octa-decansäure 114, 133
— -decensäure 115, 116, 133
Octanzahl 61
Öl, fettes 132, 133, 279, 280
Olefine s. Alkene
Oleomargarin 137
Öl-früchte 134
— -kuchen 135
— -säure s. Octadecensäure
— -springer 70
organische Chemie, Begriff 8—10
—, geschichtlicher Überblick 8, 9
organisches Glas 207
organische Verbindungen 8—13
—, acyclische 13
—, Begriff 9, 10
—, cyclische 13
—, Einstellung 12, 13
—, kettenförmige s. acyclische
—, ringförmige s. cyclische
ortho-Stellung 163
Oxalate s. Äthandiate
Oxalsäure s. Äthandisäure
Oxysäuren s. Hydroxysäuren

Palmitinsäure s. Hexadecansäure
PARACELSUS 290
Paraffin 22, 23, 56, 73, 262
Paraffine s. Alkane
Paraffin-gatsch 56
— -öl 263—266
— -oxydation 115
— -synthese 56
— -teer s. Braunkohlenschwelteer
Paraformaldehyd 103
para-Stellung 163
PC-Faser 229, 230
— —, Eigenschaften 229, 230
— —, Herstellung 229
— —, Verwendung 230
Pech 53
Pentan 22, 24, 28
Penten 32
Peptidbindung 123
Perfol 217

Periodensystem der Elemente 292
Perlon s. Dederon
permanente Härte 149
Permutit 151
Petrol-äther 71
— -chemie 77
Petroleum 72
Petrolkoks 74
Pfeilerbruchsturz-Verfahren 247
Pflanzenöle 134
Phenol 166—169
—, Gewinnung 167, 168
—, Verwendung 169
Phenolate 166
Phenolharze 210, 211
Phenoplaste 208—213, 288
—, Herstellung 208—210
—, Verwendung 211—213
Phenosolvanverfahren 168
Phlogiston 290
— -Lehre 290
Phosgen 30
Phosphorsäureester 132
Piacryl 207, 208
Piatherm 214
PIER, MATTHIAS 57
Pikrinsäure s. Trinitrophenol
Piplermaschine 145
Plasta-cart 216
— -dur-Preßmassen 212
— -tex 216
Plaste 197—226, 286—288
—, Begriff 198
—, Industrie der DDR 223—225
—, Untersuchung 286—288
Poly-acrylnitril 208
— — -fasern 233, 234
— -amid AH Schkopau 217
— -amide 216, 217
— —, Eigenschaften 217
— —, Verwendung 217
— -amidfasern 230—233, 288
— -äthylen 206, 207
— -caprolactam 216
— -ester-fasern 234
— — -G Schkopau 218
— — -harze 218
— — -harze, glasfaserverstärkte 218
— -kondensation 199, 208
— -merisation 199, 200
— -methacrylsäuremethylester 207
— -peptide 124
— -styrol 207
— vinylchlorid 199—206 s. a. PVC
— —, Eigenschaften 200, 202
— —, Herstellung 200
— —, Verwendung 202—205
Prelana 233
Preßmassen 211, 212, 214
— -stoff 211
Propan 20, 21
Propanal 99
Propandisäure 116
Propanol 94
Propanon 43
Propan-säure 107
— -triol-(1, 2, 3) 96
— — -ester 133, 241
— — -trinitrat 241, 244
Propen 32
Propin 39
Propion-aldehyd s. Propanal
— -säure s. Propansäure
Propylalkohol s. Propanol
PROUT, WILLIAM 293
Pulverzündschnüre 245
PVC s. a. Polyvinylchlorid
—, Erzeugung der DDR 206
—, glasklares 203, 205
—, Hart- 200—202, 204, 205
— -Schkopau 205
—, Weich- 202—205

Radikal 29
Raffinieren 182
RAMMLER, ERICH 49
rauchschwache Pulver 243
REAUMUR, RENE-ANTOINE 228
Reformieren 75
Röhrenöfen 70
Rohsaft 177
Rohrzucker s. Saccharose
Rohzuckergewinnung 182
Rübenzucker 174 s. a. Saccharose
—, Gewinnung 176—182
RUNGE, FRIEDLIEB FERDINAND 164
RUTHERFORD, ERNEST 293

Saccharose 174, 175
—, Säurespaltung 175
Salpeter-säureester 132, 241
— -schmelze 11
Saturation 178
Säureamidbindung 123
Säulenladung 247, 248
Scheideschlamm 179
Scheidung 178
Schichtpreßstoffe 215, 216
Schieß-baumwolle 243
— -stoffe 243, 244
SCHIFFS Reagens 101, 103, 173
SCHLACK, PAUL 320
Schlagpresse 145
Schmier-öl 73, 266
— -seife 145, 146
Schnellessigverfahren 112
SCHÜTZENBERGER 124
Schwarzpulver 243
Schwefelkohlenstoff s. Kohlendisulfid
—, Nachweis 11, 251, 277

SCHWEIZERS Reagens 194
Schwel-gas 52
— -ofen 52
Schwelung 50—53
Schwelwasser 52
Schwer-benzin 71
— -öl 58, 71
Seifen 142—148, 281, 282
—, Eigenschaften 146—148
—, Herstellung 142—145
—, volkswirtschaftliche Bedeutung 148
—, Waschwirkung 147, 148
—, Weiterverarbeitung 144, 145
—, Zusammensetzung 142
Seifen-flocken 145
— -kern 143
— -pulver 145
seismische Verfahren 69
SELINSKI, NIKOLAI DMITRIJEWITSCH 124
Sicherheitssprengstoffe 245
Siebenjahrplan 41, 63, 81, 225, 236
Siebtrommel 187
Siedekessel 142
siliciumorganische Verbindungen 219
Silicone 219
Siliermittel 110
Silierung 118
SININ, NIKOLAI NIKOLAJEWITSCH 164
Soxhletapparat 136
Speiseessig 114
Spindelöl 73
Spinnbad 192, 233
— -düse 192, 194, 229, 231, 233, 234
— -kessel 192
— -topf 192
Spreng-gelatine 244
— -schnüre 246
— -stoffe 244, 245
Sprengung in einem Bohrloch 247
Spritzguß 207, 217
Spülgas 52
STAHL, GEORG ERNST 290
Stapellänge 194
Stärke 182—185
—, Eigenschaften 183, 184
—, Gewinnung 184
—, Nachweis 183, 235, 286
—, Vorkommen 182
Stärke-sirup 174
— -zucker 174, 185
Startreaktion 200
Staufferfett 73
Stearinsäure s. Octadecansäure
Steckenpferdbewegung 148
Steinkohlen-gas 48
— -teer 49
— — -destillation 167
— -verkokung 48
Stickstoffnachweis 10, 11, 251, 257, 258, 277
Strangpresse 145, 201
Stufenverdampfung 180
Styrol 207, 222
Substitution 29
Sulfatverfahren 189
Sulfit-sprit 189
— -verfahren 187, 188
Sulfonierung 161
Sumpf-gas 19
— -phase 57, 58

Tabaknekrosevirus 129
Tanker 79
temporäre Härte 149
Tetra s. Tetrachlormethan
— -chlorkohlenstoff s. Tetrachlormethan
— -chlormethan 30
— -hydrofuran 229
— -löscher 30
THALES VON MILET 289
Thermoplaste 199, 286
Tieftemperaturentgasung 50
Toilettenseife 144
Tolubalsam 162
Toluol s. Methylbenzol
Traubenzucker s. Glucose
Treibgas 21, 62
Trichlormethan 29, 259, 260
Trinitro-phenol 241
— -toluol 241
Trocken-spinnverfahren, 229, 231, 234
— -verfahren 42
TROMMERsche Probe 284
TROPSCH, HANS 53
Trotyl s. Trinitrotoluol
Turbinenbohrverfahren 69

Ungesättigte Verbindungen 35
—, Nachweis 262
Unterlauge 143
UNVERDORBEN, PAUL 164

Vakuumverdampfer 168
Vaseline 73
VEB Braunkohlenkombinat Lauchhammer 40, 64
VEB Chemische Werke Buna 40, 41, 110, 205, 207, 217, 218, 220
VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld 110, 205
VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt 81
VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt 148, 155
VEB Filmfabrik Agfa Wolfen 195, 216, 230, 233, 236, 238
VEB Hydrierwerk Zeitz 21, 22, 57, 64
VEB Kombinat Espenhain 53, 64, 80
VEB Kombinat Gölzau 22, 64
VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen 50, 53, 57, 64
VEB Kombinat „Schwarze Pumpe" 40, 64
VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz 195, 233, 234, 236
VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" 21, 57, 64, 80, 89, 102, 207, 214, 216, 218

VEB Mineralölwerk Lützkendorf 80
VEB Paraffinwerk „Vorwärts" Webau 22, 64
VEB Stickstoffwerk Piesteritz 40, 207
VEB Synthesewerk Schwarzheide 22, 56, 64, 80
VEB Teerverarbeitungswerk Rositz 22, 64
VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza 195, 233, 234, 236
Verdampferstation 179
Vergaserkraftstoff 61, 62
Vergasung 49, 50
Verkocher 180
Verkokung 48, 49
Verseifung 131
Vinylchlorid 199
Viscose 191
— -kunstseide 191—194
— -zellwolle 194, 195
Vollentsalzung 151
vollsynthetische Fasern 228—235
Vorreife 191
Vulkanisation 220
Vylan-Textilwaren 230

Wachse 132
Walrat 132
Waschmittel 152—155
Wasserenthärtung 149—152
—, chemische 150, 151
—, durch Ionenaustausch 151, 152
Wasser-gas 49
— -härte 149, 150, 281, 282
— —, Bestimmung 150
— —, bleibende s. permanente
— —, permanente 149
— —, temporäre 149
— —, vorübergehende s. temporäre
Weichmacher 202
Wettersprengstoffe 245
—, ummantelte 245
Wofatite 151
WÖHLER, FRIEDRICH 9, 11
Wolcrylon 233
Wolpryla 233

Xanthogenat 191
Xanthoproteinreaktion 125, 278
Xylol 162

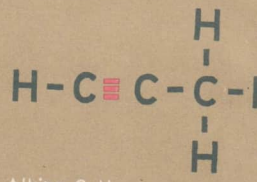
Zahlen-Buna 221
Zeitzündschnür 245
Zell-PVC 205
— -stoff 187—190
— —, Gewinnung 187—189
— —, Produktion der DDR 189
— —, Verwendung 189, 190
— — -kocher 187, 188
— -wolle 194, 195
— —, Eigenschaften 195
— —, Produktion der DDR 236
— —, Verwendung 195
Zentrifuge 182
Zeolithe 151
Zerfaserer 191
Zucker 172—182, 284, 285
—, industrielle Gewinnung 176—182
—, Nachweis 285
Zuckerfarbe 174
Zünd-hütchen 247
— -mittel 245—247
— -schnur 245, 246
— -stoffe 245—247
— -willigkeit 62
Zylinderöl 73
Zymase 91

Abbildungen

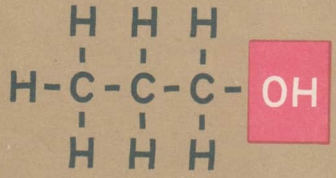
Bauernbild, Berlin (86); VEB Chemische Werke Buna, Schkopau (5. Kapitelbild, 53); VEB Deutsches Hydrierwerk Rodleben (57); Dewag Dia-Produktion Dresden (73); Wolfgang Eisenhuth, Berlin (56, 11. Kapitelbild, 124); VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt (81); VEB Filmfabrik Agfa Wolfen (94, 96, 97, 102, 114); Foto Brüggemann, Leipzig (50, 61, 63, 64, 120); PGH Fotostudio Leipzig (118); Produktionsgenossenschaft Fototechnische Werkstätten, Berlin (8, 7. Kapitelbild, 67); Foto-Werkstätten Herbert Busch, Wittenberg (114); Gruppe Werbung und Messen der VVB Armaturen, Leipzig (10); Max Ittenbach, Berlin-Blankenburg (74); Ing. Rolf Kaltofen (2. Kapitelbild, 9. Kapitelbild); VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen (21); Konsum-Essig- und Mostrichfabrik Berlin (54); Heinz Krüger, Falkensee (8. Kapitelbild); VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" (26, 27, 47, 84); VEB Mineralölwerk Lützkendorf (36, 39); Neues Deutschland, Bildarchiv, Berlin (1. Kapitelbild, 1, 113); Ing. Joseph Peppler, Erfurt (108); Photo-Hoffmeister, Sonneberg (121); VEB Piasta Preßstoffwerk Köppelsdorf (117); Josef Schmidt, Berlin (129); VEB Steckenpferd Seifen- und Kosmetikwerk Radebeul (72); VEB Synthesewerk Schwarzheide (22, 23, 25); VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza (110, 101); Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin (2, 44, 58, 60, 82, 125); Zentralbild, Berlin (13, 3. Kapitelbild, 29, 4. Kapitelbild, 34, 38, 40, 42, 43, 45, 59, 66, 75, 76, 10. Kapitelbild, 87, 89, 91, 92, 106, 109, 115, 126, 12. Kapitelbild, 131, 13. Kapitelbild); aus Labaw Wyckow: The Electron Mikroscopy of Protein. Crystals-Proc. Kon. Ak. Wetensch. Amsterdam (6. Kapitelbild).

Zeichnungen: Heinrich Linkwitz
Grafische Darstellungen: Kollektiv Zimmermann-Engemann
Einband: Günter Klaus
Typografische Gestaltung: Günter Wolff · Günter Runschke

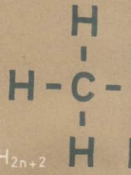
Redaktionsschluß: 15. Januar 1962
ES 11 H · Best.-Nr. 03930-1 · 3,75 DM · Lizenz Nr. 203 · 1000/62 (SN)
Satz und Druck: LVZ-Druckerei „Hermann Duncker", Leipzig, (III/18/138)



Alkine C_nH_{2n-2}

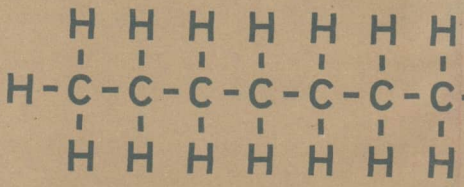


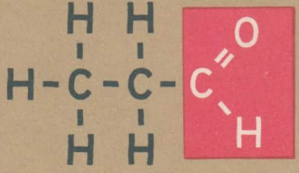
Alkanole $C_nH_{2n+1} \cdot OH$



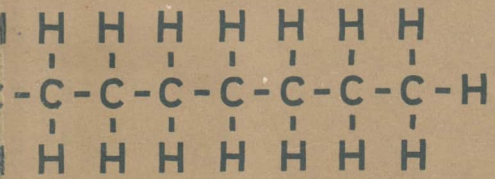
Alkane C_nH_{2n+2}

Alkansäuren
$C_nH_{2n+1} \cdot COOH$





Alkanale $C_n H_{2n+1} \cdot CHO$





Alkene $C_n H_{2n}$

