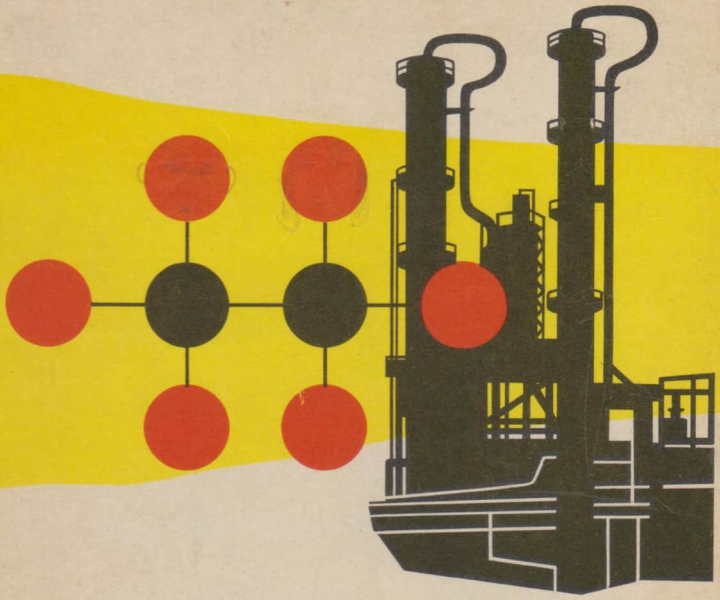


Organische CHEMIE

ORGANISCHE CHEMIE

EIN LEHRBUCH

FÜR DIE 9. UND 10. KLASSE DER OBERSCHULE

Ausgabe 1960

VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1961

Das Manuskript für dieses Lehrbuch verfaßte Dipl.-Ing. Albert Hradetzky
Den Anhang verfaßte Prof. Dr. Werner Renneberg

Bearbeitet von Klaus Sommer und Hans Thomassen

Neben der vorliegenden Ausgabe kann das bisherige Lehrbuch „Chemie, 10. Schuljahr" (Best.-Nr. 03912) zusammen mit dem Ergänzungsheft (Best.-Nr. 03919) im Unterricht benutzt werden

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

Zweite, durchgesehene Auflage
Redaktionsschluß: 15. November 1960
Einband: Günther Klaus

ES 11 H · Bestell-Nr. 03918-2 · Lizenz Nr. 203 · 1000/60 (DN)
Satz: VOB Leipziger Volkszeitung III 18 138
VEB Druckhaus „Maxim Gorki" Altenburg D IV/1/8
Druck: Karl-Marx-Werk Pößneck V/15/30

INHALT

1. Kapitel: Einführung in die organische Chemie

Der Begriff der organischen Chemie 5
Einteilung der organischen Verbindungen 8
Wiederholungsfragen und Aufgaben 9

2. Kapitel: Kettenförmige Kohlenwasserstoffe

Alkane 10
Alkene 24
Alkine 27
Wiederholungsfragen und Aufgaben 32

3. Kapitel: Technische Gewinnung und Herstellung von Kohlenwasserstoffen aus Erdöl

Erdöl 34
Erdgas 42
Die Erdöl- und Erdgasindustrie der Deutschen Demokratischen Republik 43
Wiederholungsfragen und Aufgaben 46

4. Kapitel: Erzeugung von Kohlenwasserstoffen aus Kohle

Kohleveredlung 47
Verkokung und Vergasung 48
Schwelung der Braunkohle 48
Hochdruckhydrierung nach BERGIUS 52
Synthesen nach FISCHER-TROPSCH und FISCHER-PICHLER 53
Kraftstoffe 56
Die Kohleveredlungsindustrie der Deutschen Demokratischen Republik 60
Wiederholungsfragen und Aufgaben 63

5. Kapitel: Derivate der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe

Alkanole 65
Alkandiole und Alkantriole 73
Alkanale 74
Alkansäuren 80
Ester 90
Wiederholungsfragen und Aufgaben 92

6. Kapitel: Ringförmige Kohlenwasserstoffe

Benzol 94
Benzolderivate 97
Wiederholungsfragen und Aufgaben 102

7. Kapitel: Fette

Der Aufbau der Fette 103
Gewinnung und Verwendung der Fette 105
Wiederholungsfragen und Aufgaben 111

8. Kapitel: Seifen und Waschmittel

Seifen 112
Wasserhärte und Wasserenthärtung 120

Neutralwaschmittel 123
Wiederholungsfragen und Aufgaben 126

9. Kapitel: Eiweiße
Aufbau und Eigenschaften der Eiweiße 127
Einteilung der Eiweiße 131
Der Eiweißstoffwechsel im Organismus 133
Wiederholungsfragen und Aufgaben 133

10. Kapitel: Kohlenhydrate
Allgemeines über Kohlenhydrate 134
Zucker 135
Die industrielle Gewinnung des Zuckers aus Zuckerrüben 139
Stärke 145
Cellulose 148
Zellstoff 149
Wiederholungsfragen und Aufgaben 153

11. Kapitel: Plaste
Allgemeines über hochmolekulare synthetische Werkstoffe 154
Thermoplaste 156
Duroplaste 167
Die Plastindustrie der Deutschen Demokratischen Republik 175
Wiederholungsfragen und Aufgaben 178

12. Kapitel: Chemiefasern
Cellulosefasern 180
Vollsynthetische Fasern 186
Die Chemiefaserindustrie der Deutschen Demokratischen Republik 190
Wiederholungsfragen und Aufgaben 193

13. Kapitel: Explosivstoffe
Grundlagen der Chemie der Explosivstoffe 194
Schießstoffe 200
Sprengstoffe 202
Zündstoffe — Zündmittel 204
Wiederholungsfragen und Aufgaben 206

Zusammenfassender Überblick über die organische Chemie
Stoffgruppen 208
Grundbegriffe 210
Reaktionen 210
Nachweisreaktionen 211
Wichtige Rohstoffe für die organisch-chemische Industrie 212
Wichtige Verfahren der organisch-chemischen Industrie 212
Wichtige Produkte der organisch-chemischen Industrie 224
Wichtige Großbetriebe der Deutschen Demokratischen Republick 228

Schülerversuche 229
Anhang: Zur geschichtlichen Entwicklung des Atombegriffs 259
Sach- und Namenregister 265



Versuche, die mit diesem Gefahrenhinweis gekennzeichnet sind, müssen mit besonderer Vorsicht durchgeführt werden!



Forschungslaboratorium im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen

Über eine halbe Million Verbindungen des Kohlenstoffs sind heute bekannt. 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 die Naturstoffe haben.

1. KAPITEL

Einführung in die organische Chemie

Der 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 in 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.

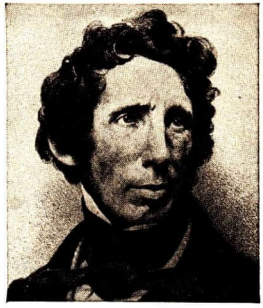


Abb. 1
Friedrich Wöhler

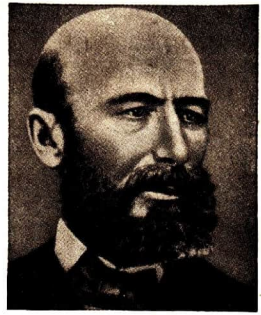


Abb. 2
Alexander Michailowitsch Butlerow

Kohlenstoffverbindungen kommen in allen Organismen vor. Aber auch unsere Nahrungsmittel, Kleidung, Wäsche und viele Dinge des täglichen Gebrauches 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. 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 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.

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" grundsätzlich widerlegt. Gleichzeitig bewies WÖHLER mit diesen 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 wurden sich immer mehr bewußt, 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 existieren 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 die Oxyde, 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 Zahl von ketten- oder ringförmigen Verbindungen zu bilden. Auch Silicium, das im Periodensystem unter dem Kohlenstoff steht, zeigt in einigen Fällen ähnliche Eigenschaften. Während jedoch die Bindung zwischen Siliciumatomen nur locker ist, bilden die Kohlenstoffatome unter-

einander 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.

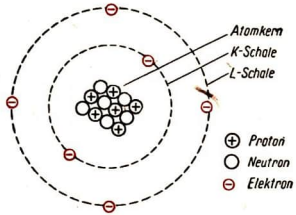
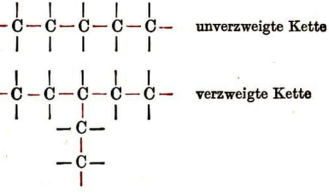


Abb. 3 Modell eines Kohlenstoffatoms

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

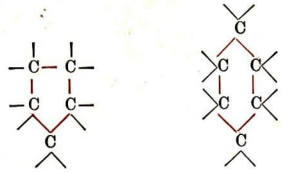
Einteilung der organischen Verbindungen

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



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

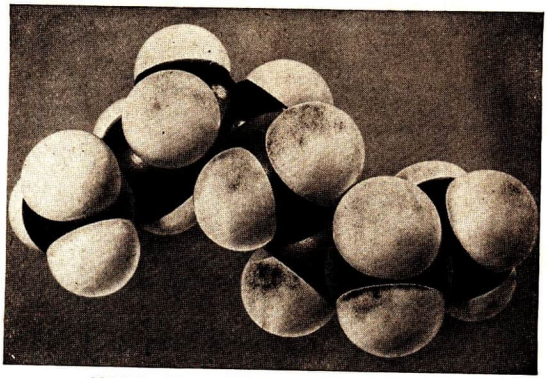
Alle Verbindungen, in denen die Kohlenstoffatome zu ringförmigen Molekülen zusammengetreten sind, werden als **ringförmige** oder **cyclische** Verbindungen bezeichnet:



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

Wiederholungsfragen und Aufgaben:

1. *Welche Verbindungen werden zur organischen Chemie gerechnet?*
2. *Nennen Sie Artikel des täglichen Gebrauches, 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?*



Molekülmodell eines kettenförmigen Kohlenwasserstoffs

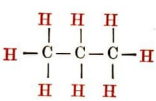
Kohlenstoffatome haben die besondere Eigenschaft, sich untereinander zu verbinden. Sie bilden eine große Anzahl von ketten- oder ringförmigen Verbindungen. Eine wichtige Gruppe von Kohlenstoffverbindungen sind die kettenförmigen Kohlenwasserstoffe.

2. KAPITEL

Kettenförmige 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 Kohlen-

stoff-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 Natriumacetat (einem Salz der im Essig enthaltenen Äthansäure) und Natriumhydroxyd hergestellt werden:

$$CH_3 \cdot \boxed{COONa + NaO}H \rightarrow CH_4 \uparrow + Na_2CO_3$$

Natriumacetat — Methan

Versuch 1: *Wir geben in eine Reibschale wasserfreies Natriumacetat 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. 4). Dabei entsteht Methan, das wir in mehreren Standzylindern pneumatisch auffangen.*

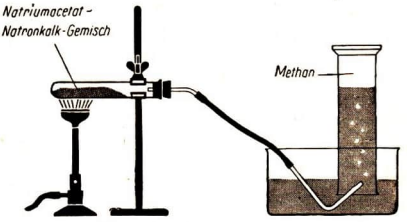


Abb. 4 Darstellung von Methan

Versuch 2: *Das Methan entzünden wir in einem der Zylinder. Beobachten Sie die Flamme!*
Wenn das Methan verbrannt ist, gießen wir etwas Bariumhydroxydlösung in den Standzylinder und schütteln um. Was beobachten Sie?

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

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

Methan ist ein farbloses Gas. In reinem Zustand ist es geruchlos. Methan ist brennbar. Bei seiner Verbrennung entsteht Kohlendioxyd. Damit ist nachgewiesen, daß Methan eine Kohlenstoffverbindung ist.

Methan ist ein farbloses, geruchloses, brennbares Gas.

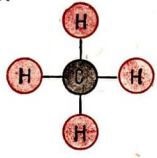
Versuch 3: *Einen starkwandigen Standzylinder mit plangeschliffenem Rand (höchstens 200 ml) füllen wir zu einem Drittel mit Methan und setzen das doppelte Volumen Sauerstoff hinzu. Dann verschließen wir den Zylinder mit einer Glasplatte und mischen die Gase durch Schwenken des Zylinders. Das Gemisch wird aus einiger Entfernung mit einer Flamme am Ende eines langen Stabes entzündet. Was beobachten Sie?*

Versuch 4: *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?*

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 etwa dem 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 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.

Vorkommen und Verwendung. Methan entsteht überall dort, wo Stoffe tierischer und pflanzlicher Herkunft verfaulen. Das soll im Versuch 5 gezeigt werden.

Versuch 5: *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. 5). 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?*

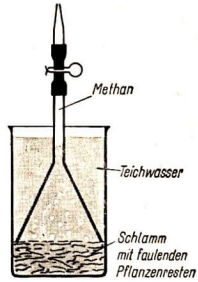


Abb. 5 Nachweis der Methanbildung bei der Zersetzung organischer Stoffe

In Sümpfen bildet sich **Sumpfgas,** ein Gemisch von Methan und Kohlendioxyd. 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 oft 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 ein 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.

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 Prozessen.

Methan wird wegen seines hohen Heizwertes als Heizgas verwendet. Im Stadtgas und anderen Heizgasen erhöht es den Heizwert. Methan ist auch ein wichtiger Ausgangsstoff für die chemische Industrie und dient zur Herstellung von Wasserstoff, Kohlenmonoxyd, Lösungsmitteln und anderen Produkten, z. B. von Ruß für die Gummiindustrie.

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

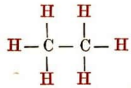
3. Äthan, Propan, Butan. Im Methanmolekül CH_4 sind alle vier Wertigkeiten des Kohlenstoffs durch Wasserstoffatome abgesättigt. Sind an ein Kohlenstoffatom jedoch nur drei Wasserstoffatome gebunden, so enthält man einen einwertigen Molekülrest $—CH_3$, der als **Methyl-Gruppe** bezeichnet wird:


Methan

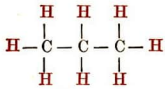

Methyl-Gruppe

Als selbständiger Stoff ist die Methyl-Gruppe nicht beständig.

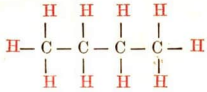
Denkt man sich in der Formel eines Methanmoleküls ein Wasserstoffatom durch eine Methyl-Gruppe ersetzt, so entsteht ein Kohlenwasserstoff mit der Formel C_2H_6. Dieser Stoff hat den Namen **Äthan.** Das Äthanmolekül unterscheidet sich vom Molekül des Methans um ein Kohlenstoffatom und zwei Wasserstoffatome:


Äthan

Auch beim Äthan kann man ein Wasserstoffatom durch eine Methyl-Gruppe $—CH_3$ 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 Kohlendioxyd und Wasser verbrennen. Äthan, Propan und Butan kommen neben Methan im Erdgas vor und fallen auch in großem Umfange 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. 6). 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.

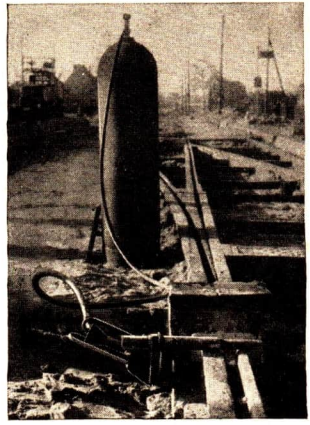


Abb. 6 Anwendung von Propan in der Technik.

Beim aluminothermischen Schweißen werden die Formen mit Hilfe eines Propanbrenners vorgewärmt

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.

4. Mittlere Alkane. Die nächsthöheren Glieder in der Reihe der Alkane, vom **Pentan** C_5H_{12} bis zum **Pentadecan** $C_{15}H_{32}$, 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 18 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. Die einzelnen Kohlenwasserstoffe, aus denen sich das als Paraffin bezeichnete Gemisch zusammensetzt, enthalten lange, unverzweigte und verzweigte Kohlenstoffketten mit 16 bis über 40 Kohlenstoffatomen in einem Molekül, zum Beispiel das **Pentacosan** $C_{25}H_{52}$ oder das **Tetracontan** $C_{40}H_{82}$.

Paraffin ist ein Gemisch fester Kohlenwasserstoffe.

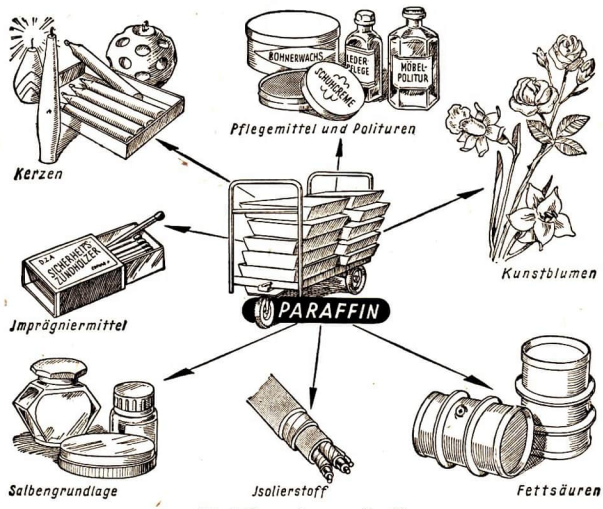


Abb. 7 Verwendung von Paraffin

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 7 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.

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}

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**[1]) **Reihe** 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 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.

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}	Octan	— 56,5	+125,8	flüssig
C_9H_{20}	Nonan	— 53,9	+150,6	flüssig
$C_{10}H_{22}$	Decan	— 30	+173,8	flüssig
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
$C_{15}H_{32}$	Pentadecan	+ 10	+270,5	flüssig
$C_{16}H_{34}$	Hexadecan	+ 17,8	+286,2	fest
$C_{17}H_{36}$	Heptadecan	+ 22,5	+303	fest
$C_{18}H_{38}$	Octadecan	+ 28,1	+317	fest
$C_{19}H_{40}$	Nonadecan	+ 32	+330	fest
$C_{20}H_{42}$	Eicosan	+ 38	+344	fest

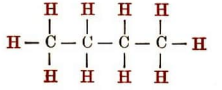
Bei einer homologen Reihe tritt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gliedern immer die gleiche Differenz —CH_2— auf. Die Glieder einer homologen Reihe zeigen teils gleiche chemische, teils sich schrittweise ändernde physikalische und chemische Eigenschaften.

Aus der Tabelle 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 Werke „Herrn

[1]) homologos (griech.) = übereinstimmend

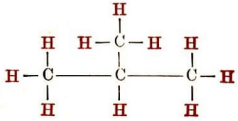
Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft" (meist unter der Bezeichnung „Anti-Dühring" bekannt) zum Problem der homologen Reihe der Alkane: „... kommt jedes neue Glied durch Hinzutritt von —CH_2—, von einem Atom Kohlenstoff und zwei Atomen Wasserstoff zur Molekularformel des vorigen Gliedes zustande, und diese quantitative Veränderung der Molekularformel bringt jedesmal einen qualitativ verschiedenen Körper hervor." Die Erscheinung, daß 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. Isomerie. Bei der Ableitung der Butanformel C_4H_{10} hatten wir ein endständiges Wasserstoffatom des Propans durch die Methylgruppe —CH_3 ersetzt. Auf diese Weise 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.

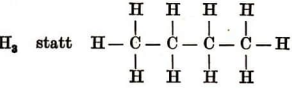
Isomere Verbindungen unterscheiden sich auf Grund ihres unterschiedlichen Baues in ihren Eigenschaften, zum Beispiel:

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

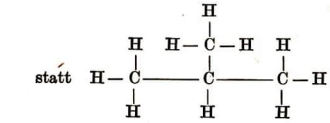
[1]) isos (griech.) = gleich; meros (griech.) = Teil. In den isomeren Verbindungen liegen gleiche Anteile von Atomen vor.

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 Schreibweise der Strukturformeln:

$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_3$ statt

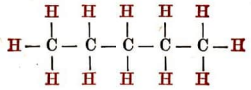


$CH_3 \cdot CH(CH_3) \cdot CH_3$ statt

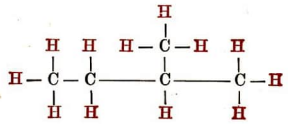


Mit steigender Anzahl der Kohlenstoffatome wächst auch die Anzahl der Isomeren. Das Pentan C_5H_{12} bildet drei isomere Verbindungen:

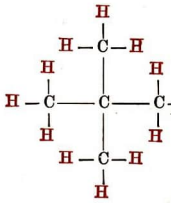
a)



b)



c)

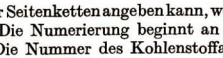


Man hat errechnet, daß vom Decan $C_{10}H_{22}$ 75, vom Dodecan $C_{12}H_{26}$ 355 und vom Eicosan $C_{20}H_{42}$ 366319 Isomere theoretisch möglich sind. Diese Zahlen zeigen, daß ein

Grund für die Vielzahl der organischen Verbindungen auch die Bildung von Isomeren ist.

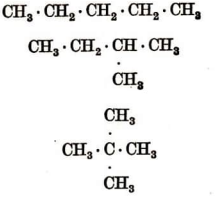
Zur Unterscheidung der zahlreichen isomeren Verbindungen wird ihre Struktur in den Namen gekennzeichnet. Das soll am Beispiel der Alkane erläutert werden. Die Bezeichnungen Butan, Pentan, Hexan, Heptan usw. bleiben den Verbindungen mit unverzweigter Kette vorbehalten. Eine verzweigte Kette trägt als Grundnamen die Bezeichnung des längsten im Molekül enthaltenen unverzweigten Kohlenwasserstoffs. Die Namen der als Seitenketten enthaltenen Gruppen 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 des Pentans haben dementsprechend folgende wissenschaftlichen Namen:



Gelegentlich werden auch 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.

8. 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.

[1]) derivare (latein.) = ableiten

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

$$CH_4 + Cl_2 \rightarrow \underset{\text{Monochlormethan}}{CH_3Cl} + HCl$$

$$CH_4 + 2\,Cl_2 \rightarrow \underset{\text{Dichlormethan}}{CH_2Cl_2} + 2\,HCl$$

$$CH_4 + 3\,Cl_2 \rightarrow \underset{\text{Trichlormethan}}{CHCl_3} + 3\,HCl$$

$$CH_4 + 4\,Cl_2 \rightarrow \underset{\text{Tetrachlormethan}}{CCl_4} + 4\,HCl$$

Bei der Bildung der verschiedenen Chlormethane werden Wasserstoffatome gegen Chloratome ausgetauscht. Man nennt solche Umsetzungen **Substitutionsreaktionen**[1]. Diese Reaktionsbezeichnung wird auch dann gebraucht, wenn Wasserstoffatome durch Atomgruppen ersetzt werden.

Werden Wasserstoffatome einer organischen Verbindung durch andere Atome oder durch 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 zersetzt 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 Industrie und im Laboratorium. Trichlormethan dient auch als Ausgangsstoff zur Erzeugung von Plasten.

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.

Versuch 6: *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?*

[1]) substituere (latein.) = ersetzen

Abb. 8 Tetralöscher



Tetrachlormethan brennt nicht. Seine Dämpfe ersticken das Feuer. Tetrachlormethan ist ein Nichtleiter. Wegen dieser Eigenschaften dient es als Löschflüssigkeit in den **Tetralöschern** (Abb. 8). Ähnliche Eigenschaften weist auch das **Monochlormonobrommethan** 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 Carbid 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!

Versuch 7: *Wir schütteln feste Speisefette und Pflanzenöl mit Tetrachlormethan in verschlossenen Reagenzgläsern.*
Was beobachten Sie?
Warum wird die Flüssigkeit bei der Verwendung von Butter oder Margarine getrübt?

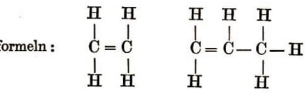
Tetrachlormethan ist fast unlöslich in Wasser. Es ist ein sehr gutes Lösungsmittel für viele organische Stoffe, so zum Beispiel für Fette, Öle, Harze und Wachse. Es wird als Lösungsmittel in der Industrie, ferner im Haushalt als „Fleckenwasser" verwendet. Tetrachlormethan hat gegenüber den anderen Fettlösemitteln wie Benzin und Äther den Vorteil, daß es nicht brennt. Auch in den chemischen Reinigungsanstalten findet es Anwendung. 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 keine Spritzer dieser Flüssigkeit auf die Haut kommen. Da Tetrachlormethan stark fettlösend wirkt, würde es die Haut entfetten und damit schädigen.

Vorsicht beim Arbeiten mit Tetrachlormethan! Es wirkt schädigend auf die Haut! Einatmen von Tetrachlormethan-Dämpfen 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)

Die Regeln für die wissenschaftliche Benennung organischer Verbindungen bestimmen, daß die Namen der Kohlenwasserstoffe mit einer Doppelbindung C = C im Molekül auf „-en" enden. Die Wortstämme Äth-, Prop-, But- usw. haben die gleiche Bedeutung wie bei den Alkanen. Nach diesen Regeln ergeben sich die wissenschaftlichen Bezeichnungen, die in Tabelle 2 zusammen mit den älteren Namen angeführt sind.

Tabelle 2. Alkene

Formel	wissenschaftliche Bezeichnung	ältere Bezeichnung	Aggregatzustand bei Raumtemperatur
C_2H_4	Äthen	Äthylen	gasförmig
C_3H_6	Propen	Propylen	gasförmig
C_4H_8	Buten	Butylen	gasförmig
C_5H_{10}	Penten	Amylen	flüssig

Die Betrachtung der Summenformeln in Tabelle 2 zeigt, daß von Verbindung zu Verbindung die gleiche Differenz —CH_2— auftritt. Auch hier liegt also eine homologe Reihe vor. Die **Alkene** haben die allgemeine Formel $\mathbf{C_nH_{2n}}$. Sie sind wasserstoffärmer als die Alkane.

Die Molekülvergrößerung von Alken zu Alken um —CH_2— ist eine quantitative Veränderung der Verbindungen, die zu qualitativen Änderungen, das heißt zu Änderungen der Eigenschaften (z. B. Erhöhung des Gefrierpunktes, des Siedepunktes) führt.

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 diese Verbindung durch Erhitzen eines Gemisches von Äthanol (Äthylalkohol) und konzentrierter Schwefelsäure hergestellt werden. Aus diesen beiden Verbindungen bildet sich zunächst Äthylschwefelsäure:

$$\underset{\text{Äthanol}}{CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4} \rightleftarrows \underset{\text{Äthylschwefelsäure}}{CH_3 \cdot CH_2 \cdot O \cdot SO_3H} + H_2O$$

Beim Erhitzen zerfällt die Äthylschwefelsäure in Äthen und Schwefelsäure:

$$\underset{\text{Äthylschwefelsäure}}{CH_3 \cdot CH_2 \cdot O \cdot SO_3H} \rightarrow \underset{\text{Äthen}}{CH_2 = CH_2} + \underset{\text{Schwefelsäure}}{H_2SO_4}$$

Versuch 8: *In einen Rundkolben (1000 ml) geben wir etwas trockenen Sand, gießen dann 50 ml 95%iges Äthanol (Brennspiritus) dazu und lassen unter Kühlung mit fließendem Wasser vorsichtig 95 ml konzentrierte Schwefelsäure zufließen. Dann verschließen wir den Kolben durch einen einfach durchbohrten Stopfen, durch den ein Gasableitungsrohr geführt ist (Abb. 9). 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.*

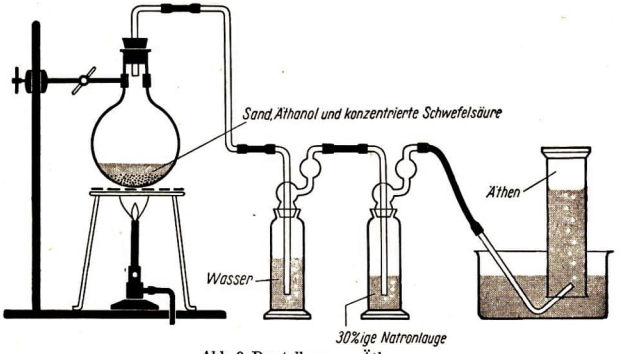


Abb. 9 Darstellung von Äthen

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

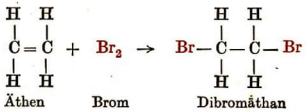
Versuch 9: *Das bei Versuch 8 hergestellte Gas wird in dem zuletzt gefüllten Zylinder entzündet, da hier die Abwesenheit von Luft (Sauerstoff) gewährleistet ist. Gemische von Äthen mit Luft oder Sauerstoff sind sehr explosiv!*
Was stellen Sie fest?

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 Kohlenstoff-

teilchen, die bei der hohen Temperatur aufglühen und eine leuchtende, schwach rußende Flamme erzeugen.

Versuch 10: *Ein Standzylinder wird mit Bromgas gefüllt, indem wir aus einer Bromflasche die (spezifisch schweren) 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 im Versuch 10 untersuchten Vorgang liegt folgende Reaktion zugrunde:



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.

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 Versuch 10 beobachtete Entfärbung ist ein einfacher Nachweis für Mehrfachbindungen. Ebenso sind auch die Reaktionen von Alkenen mit **Baeyers Reagenz** kennzeichnend für die Reaktionsfähigkeit der Mehrfachbindungen.

Versuch 11: *Wir stellen Baeyers Reagenz her, indem wir 10%ige Natriumcarbonatlösung 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 Reagenz verfärbt sich bei der Reaktion mit Äthen, und (braunes) Mangan(IV)-oxydhydrat 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).

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

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.

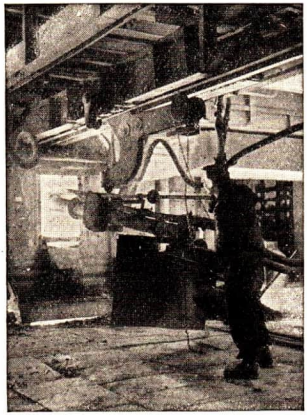
Die Namen für die einzelnen Alkine werden nach den Regeln für die wissenschaftlichen Bezeichnungen aus dem Wortstamm (Äth-, Prop-, But- usw.), der die Zahl der Kohlenstoffatome in der unverzweigten Kette ausdrückt, und der Endung „in" gebildet.

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

In Tabelle 3 sind die Bezeichnungen einiger niedrigmolekularer Alkine angeführt.

Tabelle 3. Alkine

Formel	wissenschaftliche Bezeichnung	ältere Bezeichnung
C_2H_2	Äthin	Acetylen
C_3H_4	Propin	Allylen oder Methylacetylen
C_4H_6	Butin	Äthylacetylen



2. Äthin (Acetylen). Der wichtigste Vertreter der Alkine ist das **Äthin CH ≡ CH,** das vielfach auch **Acetylen** genannt wird.

Bei der technischen Herstellung von Äthin geht man meist von **Calciumcarbid CaC_2** aus. Diese Verbindung wird aus Branntkalk (Calciumoxyd) und Koks erzeugt:

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

Für die Bildung von Calciumcarbid sind große Wärmemengen und sehr hohe Reaktionstemperaturen (etwa 2000°C) erforderlich, die im Carbidofen (Abb. 10) durch einen elektrischen Lichtbogen, aber auch durch die Widerstandserhitzung im geschmolzenen Reaktionsmaterial erreicht werden.

Abb. 10 Abstichöffnung eines Carbidofens im VEB Chemische Werke Buna Schkopau

Calciumcarbid wird aus Calciumoxyd und Koks im Carbidofen bei etwa 2000° C hergestellt.

Der Carbidofen besteht aus einem mit Schamotte ausgekleideten Eisenmantel. Der Boden ist mit Kohleplatten ausgelegt, die als Elektrode dienen. Den Gegenpol bilden drei stromführende eingehängte Kohlenelektroden, die so angeordnet sind, daß in der Ofenmitte ein örtlich begrenzter Schmelzherd entsteht, der die Ofenwände nicht gefährdet (Abb. 11).

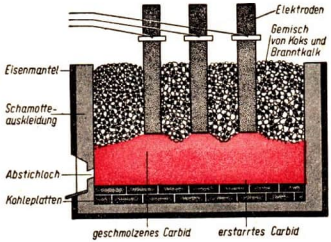


Abb. 11 Schematische Darstellung eines Carbidofens

Die Deutsche Demokratische Republik verfügt über bedeutende Carbidanlagen 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. Im Jahre 1958 entfielen 32% des Elektroenergie-

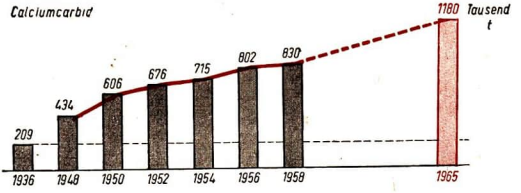


Abb. 12 Entwicklung der Carbiderzeugung in der Deutschen Demokratischen Republik

verbrauchs unserer Republik auf die chemische Industrie, davon fast ein Drittel auf die Carbiderzeugung.

Der VEB Chemische Werke Buna ist der größte Carbidproduzent der Deutschen Demokratischen Republik. In diesem Betrieb werden Kalk aus den Rübeländer Kalkwerken und Steinkohlenkoks aus der Sowjetunion und 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 Carbidherstellung hauptsächlich auf der Basis von BHT-Koks erfolgen. Bis 1965 wird die Carbidproduktion des VEB Chemische Werke Buna auf jährlich 800000 Tonnen ansteigen. Damit wird dieses Werk zur größten Carbidfabrik der Welt. Die Carbiderzeugung unserer Republik konnte in den vergangenen Jahren beträchtlich gesteigert werden. Sie betrug 1958 mit 831000 Tonnen bereits fast das Doppelte der des Jahres 1948. Unser Siebenjahrplan sieht für 1965 eine Produktion von 1180000 Tonnen Carbid vor (Abb. 12).

Reagiert Calciumcarbid mit Wasser, so entweicht unter starker Wärmeentwicklung Äthin:

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

Aus 1 kg Calciumcarbid werden etwa 300 l Äthin entwickelt. Das technisch hergestellte Calciumcarbid ist durch Kohlenstoff (graue Farbe des Carbids) 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.

Versuch 12: *Wir stellen die Versuchsanordnung nach Abbildung 13 (Seite 30) zusammen und lassen aus dem Tropftrichter Wasser auf das im Kolben befindliche Calciumcarbid 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.*

Industriell wird Äthin aus Calciumcarbid 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 Trocken-

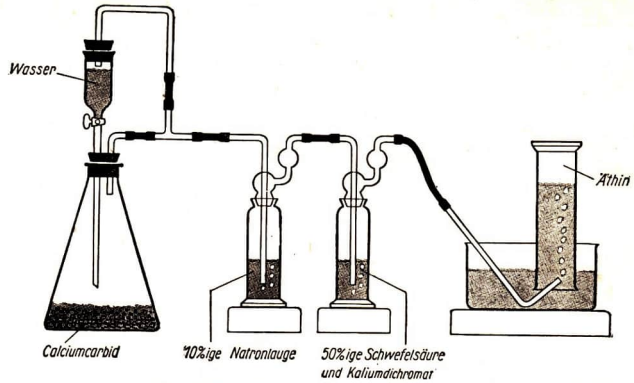


Abb. 13 Herstellung von Äthin aus Calciumcarbid

verfahren als Nebenprodukt anfallende Calciumhydroxyd wird unter der Handelsbezeichnung **Karbidkalkhydrat** (gewöhnlich **„Bunakalk"** genannt) als Düngemittel, für industrielle Zwecke (z. B. in Papierfabriken) und als Baukalk verwendet.

Wirkt Wasser auf Calciumcarbid ein, so entstehen Äthin und Calciumhydroxyd.

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

Versuch 13: *Das Äthin in dem bei Versuch 12 zuletzt gefüllten Standzylinder wird entzündet, da hier die völlige Abwesenheit von Luft gewährleistet ist. Beobachten Sie die Flamme!*

Äthin brennt mit leuchtender, stark rußender Flamme. Im Gemisch mit Luft oder reinem Sauerstoff ist es explosiv.

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

Versuch 14: *Wir untersuchen das Verhalten von Äthin gegenüber Brom entsprechend Versuch 10.*
Was stellen Sie fest?

Versuch 15: *Die Umsetzung von Äthin mit Baeyers Reagenz wird entsprechend Versuch 11 durchgeführt.*
Was beobachten Sie?

Versuch 16: *Wir geben in eine Porzellanschale etwas Propanon (Aceton), 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 14 und 15 ähnlich wie Äthen (Versuche 10 und 11). Wir können demnach auch mit Äthin Additionsreaktionen durchführen. Dies ist möglich, weil Äthin eine Mehrfachbindung (—C≡C—) besitzt.

Äthin hat durch seine Mehrfachbindung großes Additionsvermögen.

Äthin ist merklich in Wasser und sehr gut in Propanon (Aceton) 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 (Wolcrylon), Lösungsmitteln, Arzneimitteln, Äthanol und Äthansäure.

Fast 90 % der insgesamt rund 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 Calciumcarbid kann aber wegen des gewaltigen Verbrauches an elektrischer Energie nicht beliebig gesteigert werden. Unsere chemische Industrie wird deshalb bei der Erzeugung ungesättigter Kohlenwasserstoffe für die Großproduktion 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.

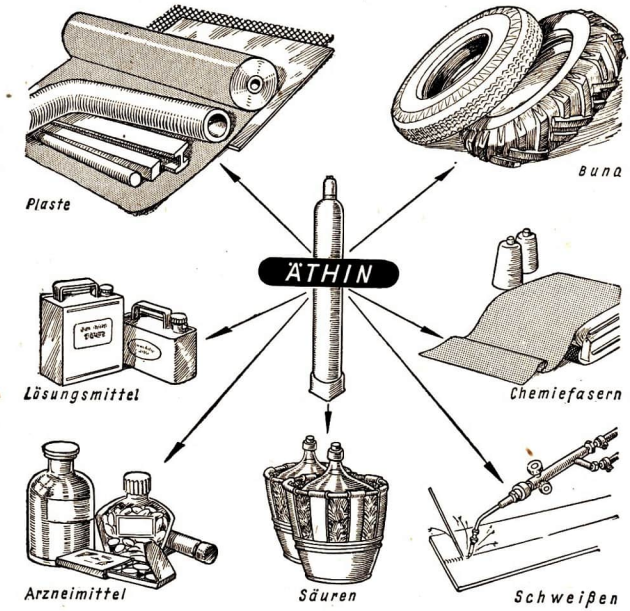


Abb. 14 Verwendung von Äthin

In Abbildung 14 ist die Verwendung von Äthin schematisch dargestellt.

Da Äthin aus Calciumcarbid 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 Prozesse ist.

Wiederholungsaufgaben und Aufgaben:

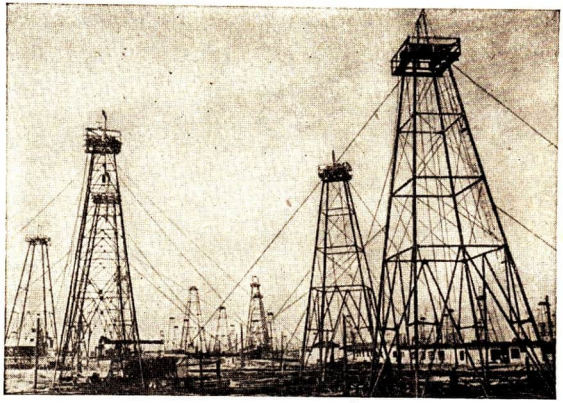
1. *Erklären Sie an Hand der Strukturformeln von Propan und Butan, warum Alkane als gesättigte Kohlenwasserstoffe bezeichnet werden!*
2. *Nennen Sie wichtige Eigenschaften und die Verwendungszwecke des Methans!*
3. *Nennen Sie Vorkommen von Methan in der Natur!*

4. *Wozu werden Äthan, Propan und Butan verwendet?*
5. *Nennen Sie Zusammensetzung, Eigenschaften und Verwendungszwecke von Paraffin!*
6. *Erläutern Sie den Begriff „homologe Reihe" am Beispiel der Alkane!*
7. *Erklären Sie den Begriff Isomerie!*
8. *Nach welchen Regeln werden die Namen der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe gebildet?*
9. *Stellen Sie die Strukturformel des 2-Methylpentans und die des 2,2-Dimethylhexans auf!*
10. *Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:*

$$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH \cdot CH_2 \cdot CH_3$$
$$\cdot$$
$$CH_2$$
$$\cdot$$
$$CH_3$$

$$CH_3 \cdot CH \cdot CH \cdot CH_3$$
$$\cdot \quad \cdot$$
$$CH_3 \; CH_3$$

11. *Ein Erdgasvorkommen besteht aus Methan und Stickstoff. Bei der Verbrennung liefern 67,2 l (Normalbedingungen) dieses Gases 88 g Kohlendioxyd. Wieviel % Methan enthält dieses Erdgas?*
12. *Welche Halogenderivate der Alkane sind Ihnen bekannt und welche Eigenschaften besitzen diese Verbindungen?*
13. *Wozu werden Halogenderivate der Alkane verwendet?*
14. *Erläutern Sie wichtige Eigenschaften des Äthens aus seiner Struktur!*
15. *Vergleichen Sie Einfach- und Mehrfachbindungen!*
16. *Welche chemischen Vorgänge werden als Addition bezeichnet? Nennen Sie Beispiele! Vergleichen Sie Addition und Substitution!*
17. *Erläutern Sie die technische Herstellung von Äthin!*
18. *Zeichnen Sie vereinfacht den Längsschnitt durch einen Carbidofen und erläutern Sie seine Arbeitsweise!*
19. *Wieviel Calciumcarbid bildet sich theoretisch im Carbidofen aus 10 t Calciumoxyd (Branntkalk)?*
20. *Erläutern Sie am Beispiel der Carbiderzeugung die Bedeutung der Elektroenergie für die chemische Industrie!*
21. *In welchen Werken der Deutschen Demokratischen Republik wird Carbid erzeugt?*
22. *Vergleichen Sie die Strukturformeln von Äthan und Äthin!*
23. *Berechnen Sie in Prozenten den Kohlenstoffgehalt von Propan, Propen und Propin!*
24. *Berichten Sie über die Eigenschaften des Äthins!*
25. *Erläutern Sie die volkswirtschaftliche Bedeutung des Äthins für unsere Republik!*



Erdölfeld in der Aserbaidshanischen SSR

Erdöl und Erdgas sind sehr wichtige Ausgangsstoffe zur Herstellung einer großen Anzahl von Produkten, die im wesentlichen aus Kohlenwasserstoffen bestehen. Aus Erdöl werden zum Beispiel Kraftstoffe, Heizöle, Schmierstoffe, Lösungsmittel, Asphalt usw. hergestellt. Auf Produkten aus Erdöl baut sich ferner ein ganzer Zweig unserer chemischen Industrie, die Petrolchemie, auf. Durch die Entwicklung der Petrolchemie wird die chemische Industrie unserer Republik in den nächsten Jahren einen gewaltigen Aufschwung, besonders in der Erzeugung von Plasten, synthetischem Kautschuk, Chemiefasern, Waschmitteln und anderen Erzeugnissen, erfahren.

3. KAPITEL

Technische Gewinnung und Herstellung von Kohlenwasserstoffen aus Erdöl und Erdgas

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}, sogenannte **Naphthene,** auf. In geringen Mengen sind im Erdöl auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe sowie organische Sauerstoff-, Stickstoff- und Schwefelverbindungen

enthalten. Da die Zahl 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 entstehenden Verbindungen unter der Bezeichnung **Bitumen** zusammen.

Wir können für die Erdölbildung folgende Stufen annehmen:

Pflanzen- und Tierreste
↓
Faulschlamm
↓
Urbitumen
↓ ↓
Erdöl Erdgas

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 etwa 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, Kuweit, 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. Gewinnung. In den Erdölgebieten wird mit besonderen geophysikalischen Methoden die mögliche Lage des Erdöls ermittelt und dann mit den Bohrungen be-

gonnen. 20 bis 45 m hohe **Bohrtürme** (Abb. 15) tragen die Bohrausrüstungen. Anfänglich waren nur primitive Bohrverfahren bekannt. Um 1900 wurde in den USA das **Drehbohrverfahren** entwikkelt. 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 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.

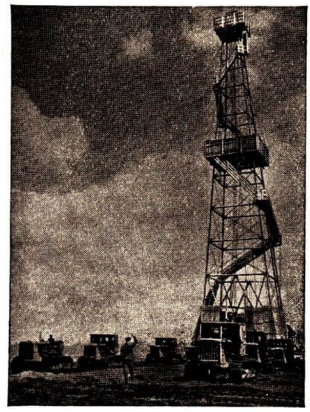


Abb. 15 Versetzen eines Bohrturmes in einem Erdölgewinnungsbetrieb der Tatarischen ASSR

Ist ein Öllager angebohrt, so genügt oft der herrschende Lagerstättendruck, um das Öl ausfließen zu lassen. Zuweilen steht das Öllager 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 Öllager. Man wendet zu diesem Zweck das Drehbohr- und das Turbinenbohrverfahren an.

5. Aufarbeitung. 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 Wichte 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 verschiedene 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.

Das Erdöl durchfließt dabei in einem **Röhrenofen** ein System von Stahlrohren, die durch Flammengase stark erhitzt werden (Abb. 16). Das erhitzte und zum Teil verdampfte Erdöl wird in einen Fraktionierturm geleitet.

Der **Fraktionierturm**[1]) (Abb. 17) 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. 18). 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.

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 des Rückstandes ohne chemische Zersetzung durch Destillation zu trennen.

Der Rückstand der Vakuumdestillation besteht überwiegend aus **Erdölpech** (Bitumen).

[1]) fractum (latein.) = unterbrochen.

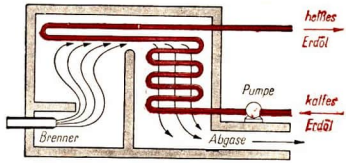


Abb. 16 Schematische Darstellung eines Röhrenofens

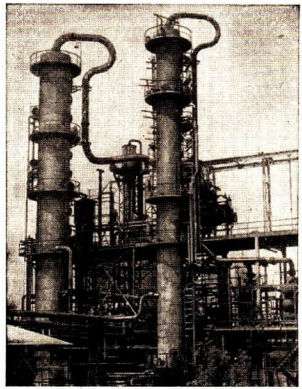


Abb. 17 Fraktioniertürme im VEB Mineralölwerk Lützkendorf

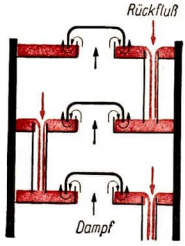


Abb. 18 Schematische Darstellung der Glockenböden eines Fraktionierturmes

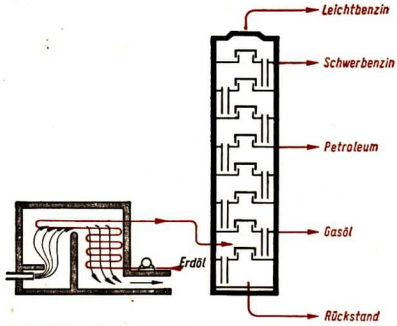


Abb. 19 Destillation des Erdöls (schematische Darstellung)

In Abbildung 19 ist die Destillation von Erdöl schematisch dargestellt.

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

6. Destillationsprodukte des Erdöls. Niedrigsiedende Destillate des Erdöls werden als leichte Fraktionen, hochsiedende als schwere Fraktionen bezeichnet, da mit steigendem Siedepunkt auch die Wichte 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.

Versuch 17: *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?

Benzin ist mit Wasser nicht mischbar und hat eine geringere Wichte 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.

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 Zähigkeit unterscheidet man die dünnflüssigen **Spindelöle** (z.B. Nähmaschinenöle), die dickflüssigen **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.



Abb. 20 Bedienungsraum der Hochdruckschmieranlage eines Eimerkettenbaggers

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. 20). Gereinigte Vaseline dient in der Arzneimittelindustrie als Salbengrundlage.

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, Leicht- und Schwerbenzin, Petroleum, Gasöl (Dieselöl) und Schmierstoffe.

7. Crackverfahren. 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 höhersiedenden Kohlenwasserstoffe unter einem Druck von 5 bis 80 at auf 300° bis 600°C, so werden die langen Molekülketten in kleinere Moleküle „aufgesprengt" und beträchtliche Mengen Benzin gebildet. Dieser Vorgang wird als **Crackvorgang**[1]) bezeichnet.

Beim Crackvorgang reicht der Wasserstoff der großen Moleküle nicht ganz zur Bildung kleinerer Alkanmoleküle aus. So kann z. B. ein Molekül $C_{24}H_{50}$ nicht drei Moleküle C_8H_{18} geben. Aus diesem Grunde bilden sich beim Cracken auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene). Außerdem scheidet sich Kohlenstoff, der sogenannte **Petrolkoks**, ab.

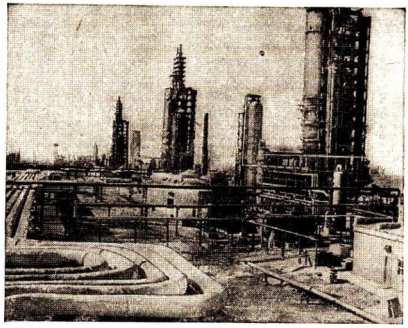


Abb. 21 Crackanlage des Erdölverarbeitungswerkes Nowokuibyschewsk in der Sowjetunion

Der Crackprozeß wird durch bestimmte Katalysatoren günstig beeinflußt. Bei der katalytischen Crackung 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 21 zeigt eine moderne Crackanlage.

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

8. Erdöl als Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Die bisher erwähnten Produkte der Erdölverarbeitung sind vor allem Lösungsmittel, Kraft- 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 Crackverfahren 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 Crackverfahren entwickelt, durch die diese Kohlenwasserstoffe in größeren Mengen hergestellt werden können.

[1]) to crack (engl.) = sprengen, aufbrechen

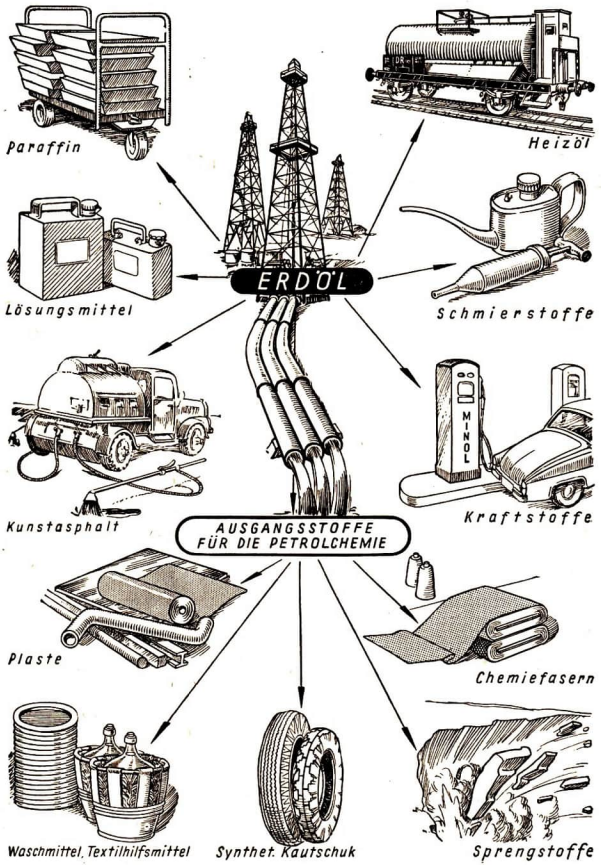


Abb. 22 Verwendung von Erdöl

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, Schmierstoffen, 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 großen Chemieprogramms unserer Republik. Durch die Petrolchemie wird unsere chemische Industrie einen gewaltigen Aufschwung erfahren.

Abbildung 22 (Seite 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 Kohlendioxyd 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, Rumänische Volksrepublik) ersetzt man vielfach Kohle und Heizöl durch Erdgas als Brennstoff. Auch die Deutsche Demokratische Republik verfügt über Vorkommen an Erdgas, die jedoch bisher nur wenig erschlossen wurden. Aus dem Vorkommen bei Mühlhausen wird bereits Erdgas gewonnen und über Ferngasleitungen nach Eisenach und Mühlhausen geleitet. Es dient als Zusatz zum Steinkohlengas der Gaswerke und ermöglicht so eine bessere Gasversorgung des westthüringischen Raumes.

Erdgas dient jedoch nicht nur als Heizgas, sondern auch als Ausgangsstoff für zahlreiche chemische Verfahren, z. B. 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.

[1]) Andere der Erde entströmende Gase, z. B. Helium oder Kohlendioxyd, werden im weiteren Sinne ebenfalls zu den Erdgasen gerechnet.

Die Erdöl- und Erdgasindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Erdöl und Erdgas spielen eine wichtige Rolle in der Volkswirtschaft der sozialistischen Länder. Dabei sind sowohl ihre Ausnutzung als Brenn- und Kraftstoff als auch ihre Verwendung als Ausgangsstoff 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 der Deutschen Demokratischen 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 irreführenden Theorien 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 geschaffen werden, der heute schon über mehr als 150 Bohranlagen verfügt. Mit diesen modernen Geräten können auch größere Tiefen erbohrt werden. Die Untersuchungen haben ergeben, daß man in Thüringen, Mecklenburg 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.



Abb. 23 Bau einer Erdölleitung in der Sowjetunion

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 1958 bereits 113 Millionen Tonnen. Die Förderung soll 1965 mehr als das Doppelte der des Jahres 1958 betragen. Die Deutsche Demokratische Republik erhielt in den vergangenen Jahren bereits erhebliche

Mengen Erdöl aus der Sowjetunion. 1957 betrugen die Erdöllieferungen aus der Sowjetunion über eine Million Tonnen, sie werden 1965 mit 4,8 Millionen Tonnen fast das Fünffache von 1957 erreichen.

Der Transport solcher gewaltigen Erdölmengen auf dem Schienenwege wäre verkehrstechnisch schwer zu bewältigen und mit hohen Kosten verbunden. Deshalb wird bis 1963 eine mehrere tausend Kilometer lange **Erdölleitung** von den sowjetischen Erdölgebieten in unsere Republik gelegt. Die neuesten Erkenntnisse der Wissenschaft und Technik werden bei der Verwirklichung dieses gigantischen Projekts ausgewertet. Zum Transport des Erdöls muß in jeweils 100 km Abstand eine Pumpstation errichtet werden. Die Verlegung der Rohrleitungen erfolgt nach hochmechanisierten Verfahren (Abb. 23). Die sowjetischen Montagebrigaden verlegen zur Zeit 1 km Rohrleitung je Schicht. Daneben wird auch der Transport auf dem Wasserwege eine Rolle spielen. Die Handelsflotte der Deutschen Demokratischen Republik hat in den letzten Jahren große, moderne **Tanker** erhalten. 1958 wurden vom VEB Deutsche Seereederei unsere ersten beiden Tanker „Leuna I" (Abb. 24) und „Leuna II", die auf der Leningrader Admiralitätswerft gebaut wurden, in Dienst gestellt. Weitere folgen in den nächsten Jahren.

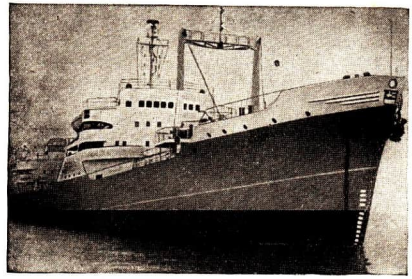


Abb. 24 11500-t-Tanker „Leuna I"

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 Verarbeitung 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. 25). Gegenwärtig wird Erdöl in der Deutschen Demokratischen Republik im **VEB Mineralölwerk Lützkendorf,** im **VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"** und im **VEB Synthesewerk Schwarzheide** verarbeitet. Seit 1956 ist in Lützkendorf 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 auf dem V. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands beschlossene Bau eines großen **Erdölverarbeitungswerkes bei Schwedt an der Oder.** Auf einer Fläche von 16 bis 20 km² wird dieses Werk mit riesigen Tanklagern (Abb. 26) und modernsten Verarbeitungsanlagen errichtet. Die Sowjetunion stellt für mehrere Teile des neuen Werkes Projektierungen kostenlos zur Verfügung, die mit geringfügigen Veränderungen verwendet werden können. Hier wird auch die große Erdölleitung enden, durch die 1965 in jeder Minute 8 Tonnen Erdöl aus der Sowjetunion fließen werden.

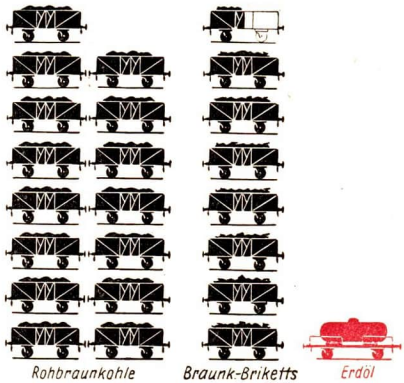


Abb. 25 Vergleich von Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts und Erdöl
Aus einer bestimmten Menge Erdöl kann man genausoviel Chemieprodukte herstellen wie aus der 7,5fachen Menge Braunkohlenbriketts oder der 15fachen Menge Rohbraunkohle

Das Erdölkombinat Schwedt wird neben Kraftstoffen, Heizöl, Schmierölen und anderen Produkten vor allem auch die Ausgangsstoffe für die Petrolchemie unserer Republik liefern. Dadurch werden wir zahlreiche bisher importierte chemisch-technische Erzeugnisse selbst herstellen und die Großproduktion von wichtigen, bisher in unserer Republik nicht erzeugten 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 Crackgasanlagen im Bau.

Die Entwicklung der Erdölchemie in der Deutschen Demokratischen Republik ist ein Schwerpunkt des großen Chemieprogramms im Rahmen unseres Siebenjahrplans. 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.

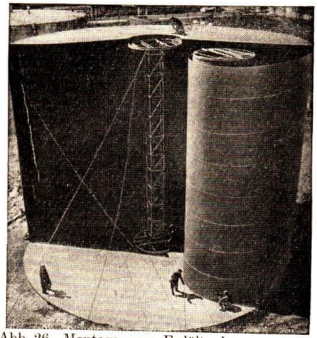


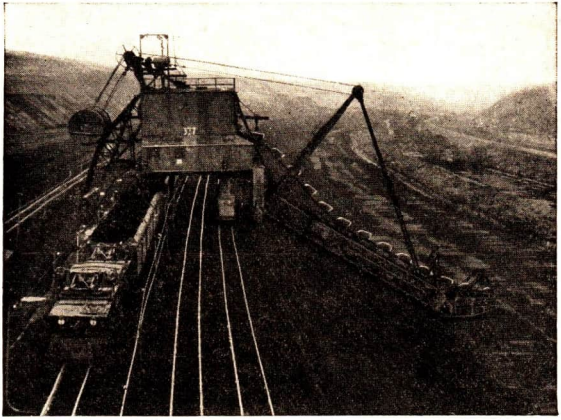
Abb. 26 Montage von Erdöltanks aus vorgefertigten Großteilen in der Sowjetunion

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 die Verfahren zur Gewinnung von Erdöl!*
5. *Zeichnen Sie das Schema eines Fraktionierturmes mit Glockenböden und erläutern Sie dessen Arbeitsweise!*
6. *Nennen Sie wichtige Destillationsprodukte des Erdöls!*
7. *Erläutern Sie das Prinzip des Crackverfahrens!*
8. *Bei der Crackung zerfällt z. B. Octadecan* $C_{18}H_{38}$ *nach folgender Gleichung*

$$C_{18}H_{38} \rightarrow C_9H_{20} + C_8H_{18} + C\,.$$

   Durch die Bildung von Kohlenstoff entsteht ein Verlust an Kohlenwasserstoffen. Berechnen Sie diesen Verlust in Prozenten!
9. *Was versteht man unter der Petrolchemie und welche Bedeutung hat sie?*
10. *Woraus besteht Erdgas und welche Bedeutung hat es?*
11. *Berichten Sie über die Erdöl- und Erdgasförderung in der Deutschen Demokratischen Republik!*
12. *Welche Bedeutung haben die Erdölimporte für unsere Republik?*
13. *Berichten Sie über den Transport des Erdöls aus der Sowjetunion in unsere Republik!*
14. *Geben Sie einen Überblick über die Erdölverarbeitungsindustrie der Deutschen Demokratischen Republik!*



Braunkohlenförderung in einem Braunkohlenwerk unserer Republik

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. Die Kohleveredlungsindustrie ist einer der bedeutendsten Zweige der chemischen Industrie unserer Republik.

4. KAPITEL

Erzeugung von Kohlenwasserstoffen aus Kohle

Kohleveredlung

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 geringem Grade ausgenutzt werden. Darüber hinaus hat die Kohlefeuerung 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.

Gasförmige und flüssige Brennstoffe 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. Die Erzeugung von Heizgasen, flüssigen Brennstoffen und Kraftstoffen erlangt daher immer größere Bedeutung.

In steigendem Maße werden feste Brennstoffe in flüssige und gasförmige umgewandelt. Die Kohle wird veredelt. Bei der Kohleveredlung fallen auch wertvolle Ausgangsstoffe für die chemische Industrie in beträchtlichen Mengen an. Im folgenden sollen wichtige Kohleveredlungsverfahren behandelt werden.

Die Umwandlung fester Brennstoffe in flüssige und gasförmige wird als Kohleveredlung bezeichnet. Bei der Kohleveredlung fallen außerdem wertvolle Bestandteile der Kohle an.

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-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.

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 und Mischgas. Diese Gase dienen als Heizgase und als Ausgangsstoffe für eine Reihe von großtechnischen Synthesen. In letzter Zeit hat auch die **Druckvergasung der Braunkohle** immer größere Bedeutung erlangt. Bei diesem Verfahren wird die Kohle bei 22 bis 24 at vergast. Als Vergasungsmittel dienen Sauerstoff und überhitzter Wasserdampf. Das erzeugte Gas hat durch seinen Gehalt an Methan einen wesentlich höheren Heizwert als Wassergas. Als Nebenprodukte fallen Teer, Benzin und Schwefelverbindungen an.

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

Schwelung der Braunkohle

Ein weiteres Verfahren der Kohleveredlung ist die Entgasung von Braunkohle bei 600°C. Braunkohlen sind oft bitumenreich, das heißt, sie enthalten größere Mengen

bestimmter 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.

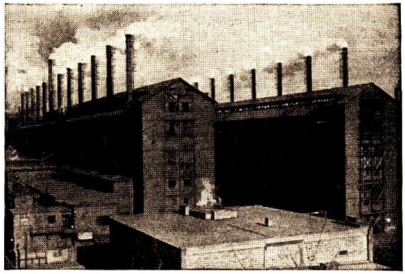


Abb. 27 Schwelofenanlage im VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen

Die Entgasung von Braunkohle bei 600° C heißt Schwelung. Meist wird bitumenreiche 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 verarbeiteten, sind die neueren Lurgiöfen (Abb. 27) für die Schwelung von Briketts oder stückiger Kohle eingerichtet.

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. 28). 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

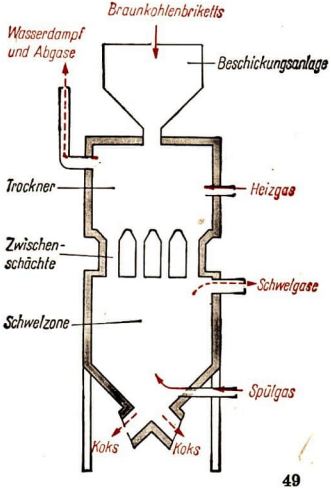


Abb. 28 Schematische Darstellung eines Schwelofens

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 der Grudekoks. Er wird am unteren Ende des Schwelofens abgezogen. Abbildung 29 gibt einen Überblick über das Lurgi-Spülgas-Schwelverfahren.

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

Als Produkte der Schwelung fallen an:

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

Der **Braunkohlenschwelteer** wird entweder durch katalytische Hydrierung (siehe Seite 52) 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 m^3 Schwelgas
180 l Schwelwasser.

Die Schwelung hat für die Wirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik große Bedeutung. Bedeutende Schwelanlagen sind zum Beispiel im VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen, im VEB Kombinat Espenhain und im VEB Kombinat Gölzau in Betrieb.

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

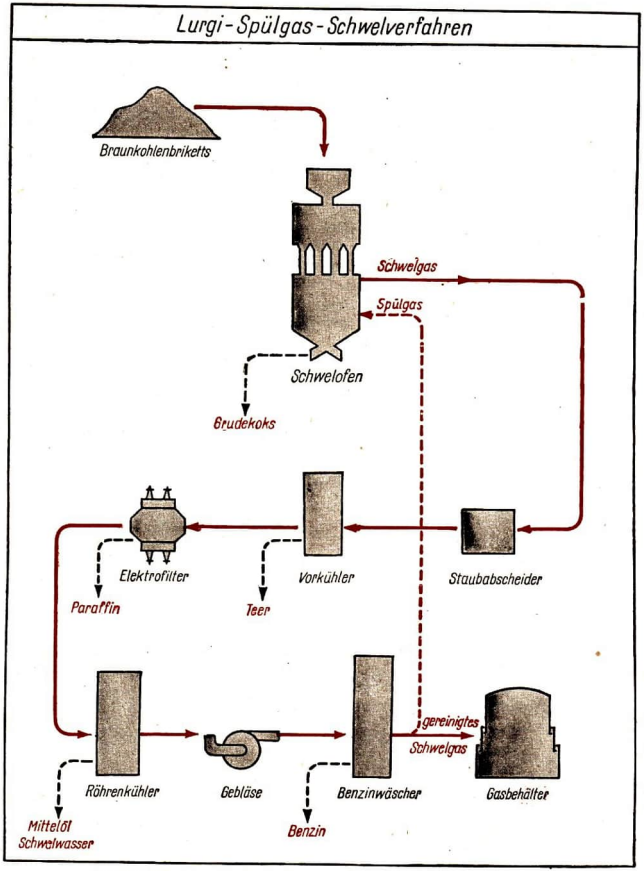


Abb. 29 Schematische Darstellung der Spülgasschwelung nach Lurgi

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 Mathias 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. Daneben kommen auch Braunkohlen, Steinkohlen, Kohlenextrakte, Torf und Rückstände der Erdöl- und Teerdestillation in Betracht. Der für das Verfahren in großen Mengen benötigte Wasserstoff wird aus Wassergas hergestellt.

Bei der Hochdruckhydrierung werden Teere, Kohlen, Torf, Pech und Erdölprodukte durch Hitzespaltung und gleichzeitige Wasserstoffanlagerung in Benzin 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 in den Reaktionsofen (Abb. 30). 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

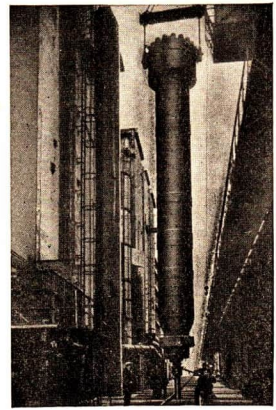


Abb. 30 Sumpfphasekontaktofen der Hydrieranlage im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

Schweröl vermischt als Abschlamm abgezogen. Die Dämpfe der Hydrierungsprodukte werden durch Kondensation in flüssige und gasförmige Anteile getrennt. Durch fraktionierte Destillation zerlegt man die flüssigen Stoffe in Benzin, Mittelöl und Schweröl (Abb. 31). Das hier anfallende Schweröl wird zusammen mit dem aus Abschlamm zurückgewonnenen Öl in den Prozeß zurückgeführt.

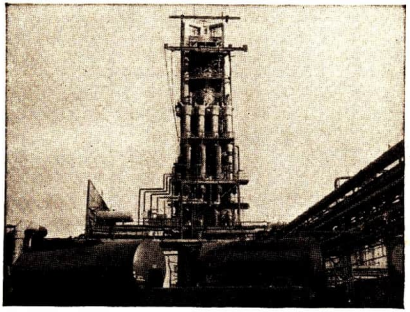


Abb. 31 Sumpfphasedestillationskolonne der Hydrieranlage im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

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 32 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. Die Deutsche Demokratische Republik verfügt über Hochdruckhydrieranlagen im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", im VEB Hydrierwerk Zeitz und im VEB Kombinat „Otto Grotewohl", Böhlen.

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 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 fallen auch gasförmige Kohlenwasserstoffe an.

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 Kohlenmonoxyd und Wasserstoff ausgeht. Bei diesem Verfahren ist hoher Druck nicht erforderlich.

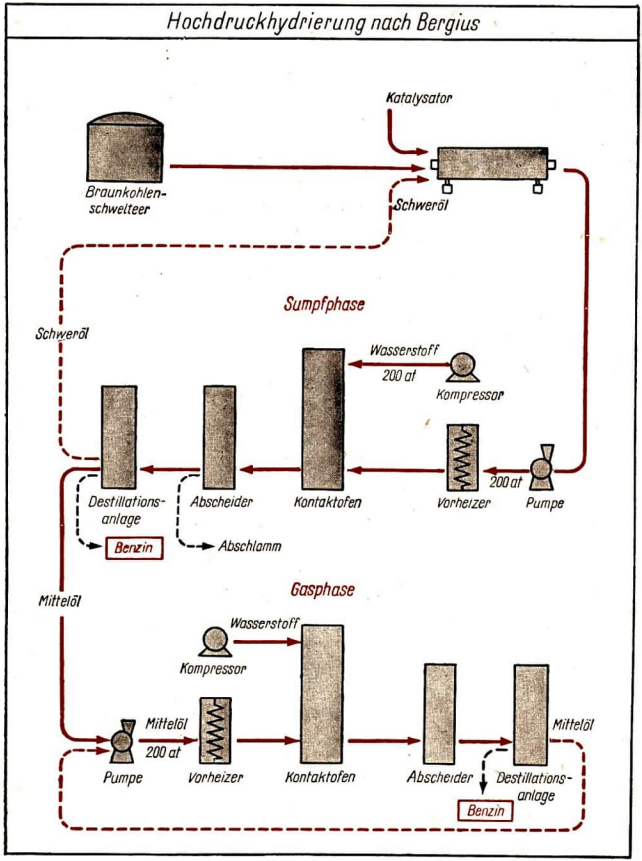


Abb. 32 Schematische Darstellung der Hochdruckhydrierung nach Bergius

Für die **Fischer-Tropsch-Synthese** können alle Ausgangsstoffe verwendet werden, die sich im Gasgenerator in das Synthesegas, ein Gemisch aus Kohlenmonoxyd und Wasserstoff, überführen lassen.

Aus Koks, Rohbraunkohlen oder Braunkohlenbriketts wird im Gasgenerator Wassergas ($CO + H_2$) hergestellt. Das Rohgas 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 würden. Das gereinigte Synthesegas gelangt nun in den Kontaktofen (Abb. 33). 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:

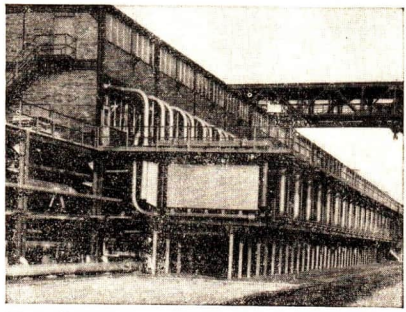


Abb. 33 Fischer-Tropsch-Ofenbatterie im VEB Synthesewerk Schwarzheide

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

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

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.

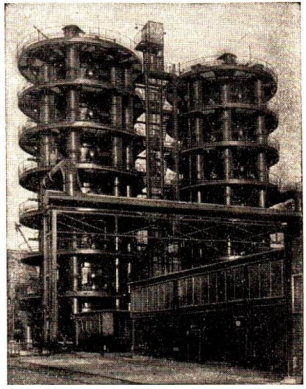


Abb. 34 Aktivkohleadsorber zur Benzingewinnung im VEB Synthesewerk Schwarzheide

Man lagert deshalb den Katalysator, der aus etwa 2 Teilen Kieselgur, 1 Teil Kobalt und aktivierenden Zusätzen besteht, auf wassergekühlte Rohre. 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. 34). Durch die FISCHER-TROPSCH-Synthese erhält man Flüssiggase, Benzine, Dieselöl, Paraffin und andere Kohlenwasserstoffgemische. Abbildung 35 gibt einen Gesamtüberblick über das Verfahren. Die Deutsche Demokratische Republik verfügt über große FISCHER-TROPSCH-Anlagen im VEB Synthesewerk Schwarzheide.

Beim FISCHER-TROPSCH-Verfahren werden aus Kohlenmonoxyd 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 Kohlenmonoxyd 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 Zimmertemperatur 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 Prozesse (z. B. Fettsäuresynthese) darstellen. Neben Paraffin liefert die Mitteldrucksynthese auch Benzin, Diesel- und Heizöl.

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

Kraftstoffe

Als Kraftstoffe bezeichnet man alle brennbaren Stoffe, die zum Betrieb von Verbrennungsmotoren dienen. Sie gelangen zusammen 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 günstig, 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

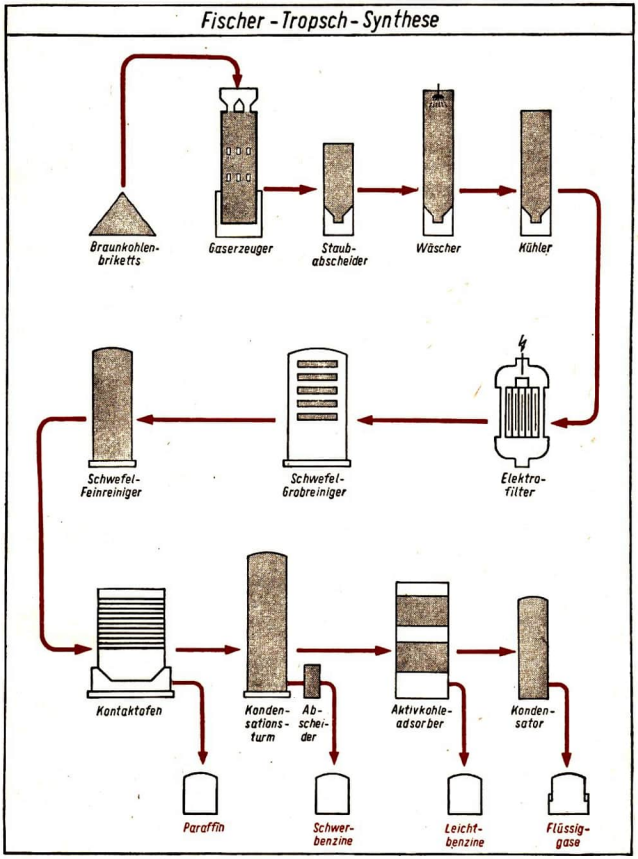


Abb. 35 Schematische Darstellung des FISCHER-TROPSCH-Verfahrens

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, Motorschiffen, Dieselschienenfahrzeugen, motorisierten Maschinen und stationären Anlagen.



Abb. 36 Tanken eines Flugzeugs der Deutschen Lufthansa auf dem Flughafen in Prag

Die Verbrennungsmotoren werden unterschieden in **Ottomotoren** und **Dieselmotoren.** Ottomotoren dienen vor allem zum Antrieb von Personenkraftwagen, leichten Lastkraftwagen, Kleinomnibussen, Flugzeugen (Abb. 36), Motorrädern, Motorrollern, Mopeds und leichten motorisierten Maschinen. Schwere Lastkraftwagen und Omnibusse, Traktoren, Motorschiffe und Schienenfahrzeuge sind dagegen mit Dieselmotoren ausgerüstet (Abb. 37).

Für die Verbrennungsmotoren werden vor allem flüssige Kraftstoffe, wie Vergaserkraftstoff (Benzin), Dieselkraftstoff (Dieselöl) und gelegentlich als Beimengungen Alkohole 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.

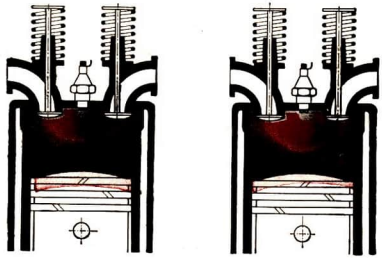
Vergaserkraftstoff (Benzin) ist eine klare, wasserhelle, leicht brennbare, sehr feuergefährliche Flüssigkeit. Er ist aus Alkanen mit 5 bis 12 Kohlenstoffatomen, Alkenen und ringförmigen Kohlenwasserstoffen zusammengesetzt. Sein Siedebereich liegt zwischen 50° und 200°C.

Wichtig für die Güte eines Vergaserkraftstoffs 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 gleich-



Abb. 37 Reparaturarbeiten am Dieselmotor eines Traktors in der MTS Kölleda

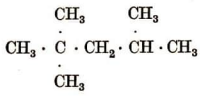
mäßig über den ganzen Zylinderraum ausbreiten (Abb. 38a). Bei Kraftstoffen mit geringer Klopffestigkeit entzünden sich durch die eintretende Druck- und Temperaturerhöhung einige Bestandteile vorzeitig und ungleichmäßig (Abb. 38b). Dabei entsteht ein Stoß, der den Motor stark beansprucht. Man sagt, der Motor „klopft". Klopferscheinungen erkennt man am Motorengeräusch. Sie reichen vom leisen Klingeln bis zum harten Stampfen. Wertmaßstab für die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes ist seine **Octanzahl.** Sie wird durch einen Prüfmotor ermittelt und ergibt sich durch Vergleich mit der Klopffestigkeit eines Isooctan-Heptan-Gemisches.



a *b*

Abb. 38 Verbrennung des Kraftstoffs im Zylinder eines Ottomotors (schematische Darstellung)
a) normale Verbrennung b) klopfende Verbrennung

Isooctan (2,2,4-Trimethylpentan)



ist ein sehr klopffester Stoff.

Ein Kraftstoff mit der Octanzahl 60 weist zum Beispiel dieselbe Klopffestigkeit auf wie ein Gemisch von 60% Isooctan 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. Alkohole und Benzol verbrennen fast klopffrei. Die Klopffestigkeit der Kraftstoffe wird durch Zugabe von Alkoholen 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 den sogenannten „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 Octanzahl angegeben. Durch Zusatz von Antiklopfmitteln kann die Klopffestigkeit erhöht werden.

Der in der Deutschen Demokratischen Republik verwendete **Vergaserkraftstoff „normal"** hat eine Octanzahl von mindestens 72. Diese Klopffestigkeit wird meist durch Zusatz geringer Mengen Bleitetraäthyl erreicht. Zur Unterscheidung ist der Kraftstoff mit Farbstoffen rot gefärbt. Wegen der Giftigkeit dürfen verbleite Benzine nicht zum Reinigen der Hände oder Kleidung, zum Abwaschen öliger Maschinenteile, für Lötlampen, Feuerzeuge usw. verwendet werden. Der **Vergaserkraftstoff „extra"** weist dagegen eine Octanzahl von mindestens 78 auf. Er ist gelb gefärbt.

Vorsicht beim Umgang mit verbleiten Benzinen (Vergaserkraftstoff „normal")! 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 Alkanen und ringförmigen 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 **Cetanzahl,** die entsprechend der Octanzahl bei Vergaserkraftstoffen durch Vergleich bestimmt wird. Ein Dieselkraftstoff, der ebenso schnell zündet wie reines Cetan (Hexadecan $C_{16}H_{34}$) hat die Cetanzahl 100. Die Cetanzahl der in der Deutschen Demokratischen Republik verwendeten Dieselkraftstoffe liegt zwischen 40 und 55.

Dieselkraftstoffe unterscheiden sich durch ihre Zündwilligkeit. Diese wird durch die Cetanzahl angegeben.

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 Kohleveredlungsindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Die Deutsche Demokratische 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 1958 mit rund 215 Millionen Tonnen bereits mehr als das Doppelte. Unsere Republik steht in der Braunkohlenförderung an erster Stelle in der Welt. Heute entfallen rund 35% der Weltförderung auf die Deutsche Demokratische Republik. Unser Siebenjahrplan sieht einen weiteren Anstieg der Förderung um jährlich etwa 9 Millionen Tonnen bis auf 278 Millionen Tonnen im Jahre 1965 vor (Abb. 39).

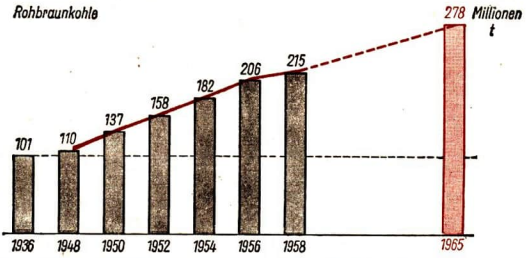


Abb. 39 Entwicklung der Braunkohlenförderung in der Deutschen Demokratischen Republik

Die Braunkohlenlagerstätten unserer Republik kann man zu zwei großen Hauptvorkommen zusammenfassen: das Gebiet um Halle und Leipzig und das Gebiet um Senftenberg und Cottbus. Auf der Grundlage der Braunkohle hat sich in diesen Gebieten, besonders im Gebiet Halle–Leipzig, eine ausgedehnte Kohleveredlungsindustrie entwickelt.

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

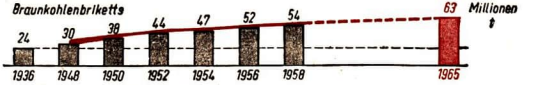


Abb. 40 Entwicklung der Braunkohlenbriketterzeugung in der Deutschen Demokratischen Republik

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/kp 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 Bedeutung der Brikettierung kommt auch in der ständig steigenden Briketterzeugung unserer Republik zum Ausdruck (Abb. 40). Die Produktion betrug 1958 bereits rund 230% der des Jahres 1936. Bis 1965 wird die Briketterzeugung auf 63 Millionen Tonnen gesteigert werden.

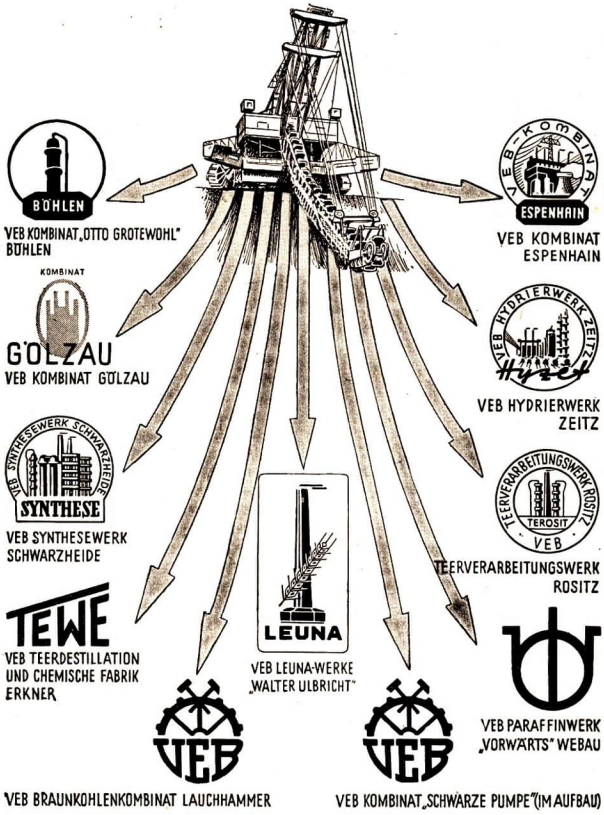


Abb. 41 Die wichtigsten Werke der Kohleveredlungsindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Ein großer Teil der Rohbraunkohle wird in den Kraftwerken unserer Republik zur **Elektroenergieerzeugung** ausgenutzt. 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 Kohlekraftwerke gebaut. Unsere bedeutendsten Großkraftwerke liegen in Nachterstedt, Harbke, Zschornewitz, Lauta, Hirschfelde, Vockerode, Vetschau, Trattendorf, Berzdorf, Groß-Kayna und im Kombinat „Schwarze Pumpe". Darüber hinaus befinden sich in den meisten Werken der Kohleveredlungsindustrie größere Kraftwerke. Weitere Werke, wie das Kraftwerk Lübbenau, das zu den größten Kohlekraftwerken Europas zählen wird, sind im Bau. Während im Jahre 1950 in unserer Republik 19466 Millionen kWh erzeugt wurden, betrug die Energieerzeugung 1958 schon 34874 Millionen kWh. Die Steigerung der Elektroenergieerzeugung ist eine wichtige Voraussetzung für die weitere Entwicklung unserer Volkswirtschaft. Für das Jahr 1965 sieht der Siebenjahrplan eine Elektroenergieerzeugung von 63000 Millionen kWh vor.

Von besonderer Bedeutung ist aber 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. 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 Carbidindustrie.

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. Bereits 1959 wurden das erste Kraftwerk und die erste Brikettfabrik in Betrieb genommen.

Ein weiteres bedeutendes Braunkohlenveredlungswerk ist der VEB Kombinat „Otto Grotewohl", Böhlen. Die wichtigsten Anlagen dieses Werkes sind eine Spülgasschwelanlage, eine Hydrieranlage (Bergiusverfahren) und eine Druckvergasungsanlage. Bis 1961 wird die Gasanlage des Kombinats noch wesentlich erweitert werden. Im VEB Kombinat Espenhain wird Braunkohle nach dem Spülgasverfahren verschwelt. Auch der VEB Kombinat Gölzau verfügt über eine Schwelanlage. Im VEB Hydrierwerk Zeitz wird Braunkohle nach dem Spülgasverfahren verschwelt und Braunkohlenteer nach dem Bergiusverfahren hydriert. Der VEB Leunawerke „Walter Ulbricht" verfügt über Vergasungsanlagen und eine bedeutende Hydrieranlage (Bergiusverfahren).

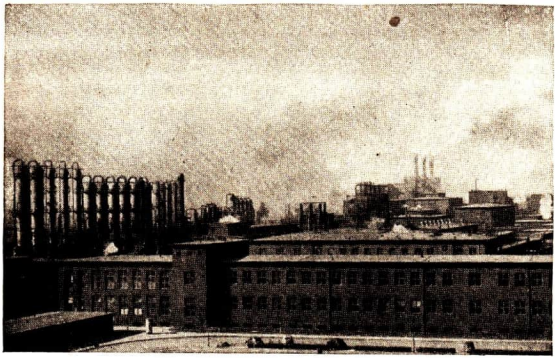
Von großer Bedeutung für unsere Wirtschaft ist auch die Fischer-Tropsch-Syntheseanlage im VEB Synthesewerk Schwarzheide. Dieser Betrieb ist das größte seiner Art in Europa.

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

In Abbildung 41 sind die wichtigsten Kohleveredlungswerke unserer Republik zusammengestellt. Unsere Kohleveredlungsindustrie 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.

Wiederholungsfragen und Aufgaben:

1. *Geben Sie einen Überblick über die Verfahren der Kohleveredlung!*
2. *Erläutern Sie die Schwelung der Braunkohle nach dem Lurgi-Spülgas-Verfahren!*
3. *Welche Produkte liefert die Schwelung der Braunkohle?*
4. *Vergleichen Sie die Hochtemperaturentgasung (Kokerei) mit der Verschwelung in bezug auf Ausgangsstoffe, Temperaturen und Endprodukte!*
5. *Welche Rohstoffe werden für die Druckhydrierung nach dem Bergiusverfahren verwendet?*
6. *Erläutern Sie die Durchführung der Druckhydrierung!*
7. *Zu welchen Zwecken wird die Entschwefelung von Industriegasen durchgeführt?*
8. *Erläutern Sie die Synthese nach Fischer-Tropsch, beginnend mit dem Vergasungsprozeß!*
9. *Vergleichen Sie die Synthese nach Fischer-Tropsch mit der Synthese nach Fischer-Pichler!*
10. *Fertigen Sie über die verschiedenen Verfahren der Kohleveredlung eine Übersichtstabelle an, die folgende Spalten enthält: Verfahren, Ausgangsstoffe, Hauptprodukte, Nebenprodukte, Reaktionsbedingungen (Temperatur, Druck, Katalysator)!*
11. *Was versteht man unter einem Kraftstoff?*
12. *Nennen Sie die wichtigsten Kraftstoffe und ihre Zusammensetzung!*
13. *Was versteht man unter der Klopffestigkeit der Vergaserkraftstoffe?*
14. *Welche Bedeutung haben die Octanzahl der Vergaserkraftstoffe und die Cetanzahl der Dieselkraftstoffe?*
15. *Erläutern Sie die Bedeutung der Braunkohlenveredlung!*
16. *Geben Sie einen Überblick über die wichtigsten Kohleveredlungswerke unserer Republik!*



Teilansicht des VEB Chemische Werke Buna, Schkopau

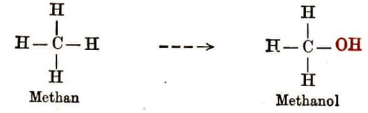
Die kettenförmigen Kohlenwasserstoffe bilden eine große Anzahl von Derivaten. Viele dieser Derivate sind wichtige Zwischenprodukte für die chemische Industrie. Sie werden in beträchtlichen Mengen in unseren großen Chemiewerken, wie dem VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, und dem VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", hergestellt.

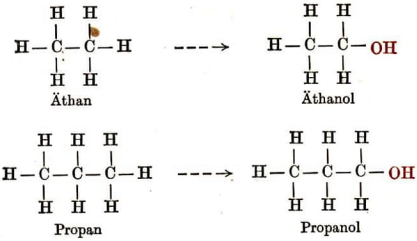
5. KAPITEL

Derivate der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe

Alkanole

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). Man kann sie 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

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:	$-CH_2OH$
sekundäre Alkanole:	$=CH(OH)$
tertiäre Alkanole:	$\equiv C(OH)$

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

2. 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. 42), geht von Wassergas aus. Man stellt wie beim Fischer-Tropsch-Verfahren ein Synthesegas aus Kohlenmonoxyd und Wasserstoff im Volumenverhältnis 1:2 her. Das Gasgemisch wird bei etwa 370° C und unter einem Druck von 200 at mit Hilfe von Mischkatalysatoren zu Methanol umgesetzt:

$$CO + 2\,H_2 \xrightarrow{\text{Kat.}} CH_3 \cdot OH$$

Im Gegensatz zur Benzinsynthese bestehen diese Katalysatoren jedoch meist aus einem Gemisch von Zinkoxyd und Chrom(III)-oxyd. Am Beispiel der Methanol- und Benzinherstellung erkennt man deutlich den Einfluß der Katalysatoren auf den Verlauf einer chemischen Reaktion. Benzin- und Methanolsynthese haben die gleichen Ausgangsstoffe. Während aber Eisen- oder Kobaltkatalysatoren die Entstehung von Kohlenwasserstoffen begünstigen, bildet sich bei Verwendung von Zinkoxyd-Chromoxydkatalysatoren überwiegend Methanol. Für die Methanolsynthese werden die gleichen Hochdrucksyntheseöfen wie bei der Hochdruckhydrierung (Bergiusverfahren) verwendet. Sie sind allerdings

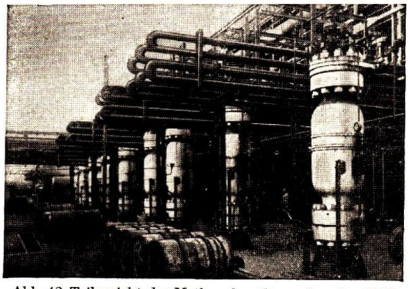


Abb. 42 Teilansicht der Methanolsyntheseanlage im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"

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 43 ist die Methanolsynthese schematisch dargestellt.

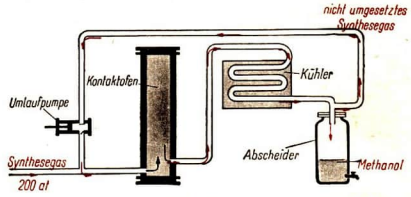


Abb. 43
Schematische Darstellung einer Methanolsyntheseanlage

Methanol CH_3OH wird vorwiegend durch Synthese aus Kohlenmonoxyd und Wasserstoff hergestellt.

Wir untersuchen nun einige Eigenschaften des Methanols:

Versuch 18: *Wir brennen etwas Methanol in einem Porzellanschälchen ab und halten ein kaltes, trockenes Becherglas mit der Öffnung nach unten über die Flamme. Welches Aussehen hat die Flamme? Was können Sie am Becherglas beobachten?*

Versuch 19: *Wir geben ein erbsengroßes Stück Harz (Kolophonium) in ein Reagenzglas, fügen etwa 5 ml Methanol hinzu und schütteln.*

Versuch 20: *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?*

Methanol ist eine farblose Flüssigkeit, die charakteristisch riecht, bei 65° C siedet und mit blaßblauer Flamme brennt. Das bei der Verbrennung entstehende Wasser zeigt uns, daß im Methanolmolekül Wasserstoff enthalten ist.

Methanol löst sich in Wasser und anderen Lösungsmitteln. Die wäßrige Lösung von Methanol reagiert neutral. Die Hydroxylgruppe der Alkanole weist also ein anderes Verhalten auf als die Hydroxylgruppe der Basen. Methanol löst Harze und verschiedene andere Stoffe.

Methanol ist sehr giftig; deshalb ist sein Zusatz zu Getränken streng 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.

3. 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 Glucose (Traubenzucker) $C_6H_{12}O_6$ für die Gärung geeignet. Sie wird durch den Gärprozeß größtenteils in Äthanol und Kohlendioxyd zerlegt:

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

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

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 von Zuckerlösungen wird durch die Zymase der Hefezellen bewirkt.

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 entstandenen 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.

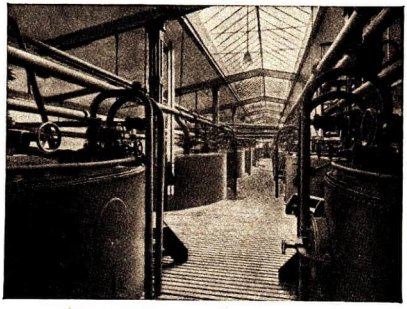


Abb. 44 Gärkessel zur Äthanolherstellung im VEB Gärungschemie Dessau

Nun folgt die Gärung. Sie wird nach Zusatz von Hefe in geschlossenen eisernen Gärkesseln (Abb. 44) bei 20° bis 30° C durchgeführt und dauert 2 bis 3 Tage. Aus der erhaltenen wäßrigen Lösung wird Äthanol durch wieder-

[1]) Denaturieren: für den menschlichen Genuß unbrauchbar machen

holte Destillation gewonnen (Abb. 45). Gärungsäthanol wird in der Deutschen Demokratischen Republik zum Beispiel im VEB Gärungschemie Dessau hergestellt.

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 zu 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 **Carbidsprit** bezeichnet.

Wir führen einige Versuche mit Äthanol durch.

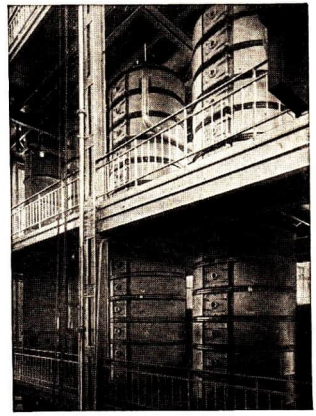


Abb. 45 Destillierkolonnen im VEB Gärungschemie Dessau

Versuch 21: *Wir brennen etwas Äthanol in einer kleinen Porzellanschale ab.*
Welches Aussehen hat die Flamme?

Versuch 22: *In eine trockene Bürette werden genau 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?

Versuch 23: *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?

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 (zum Beispiel 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:

Versuch 24: *Etwa 3 ml Äthanol, dem wir etwas Wasser zugesetzt haben, werden in einem Reagenzglas mit der gleichen Menge Benzol geschüttelt. Ent-*

hält das Äthanol mehr als 5% Wasser, so entsteht eine Trübung, da sich Wasser kaum in Benzol löst.

Versuch 25: *Etwas Äthanol wird in einem Reagenzglas mit einigen kleinen Kristallen Kaliumpermanganat versetzt, das sich in Wasser, jedoch nicht in Äthanol löst. Ist Wasser vorhanden, so entsteht beim Umschütteln eine Rosafärbung.*

Äthanol findet im Laboratorium und in der Industrie vielseitige Verwendung. Es dient als Lösungsmittel für Harze, Farbstoffe, Duftstoffe usw., 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, auch Rad- und Mopedfahrer. 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 solcher 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 verwandt werden, ist der Gebrauch von Brennspiritus und anderen denaturierten Äthanolpräparaten für den menschlichen Genuß streng verboten!

Vorsicht beim Umgang mit denaturiertem Alkohol! Er enthält stark giftige Vergällungsmittel!

Methanol und Äthanol sind die ersten Glieder einer **homologen Reihe:**

$CH_3 \cdot OH$	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
$C_4H_9 \cdot OH$ oder $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot OH$	Butanol usw.

Auch bei dieser homologen Reihe unterscheiden sich die einzelnen Glieder jeweils durch die Gruppe $-CH_2-$. Die Molekülvergrößerung vom Methanol $CH_3 \cdot OH$ zum

Äthanol C_2H_5OH 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 Zahl der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome in den Alkanolmolekülen, also quantitative Änderungen, haben qualitative Änderungen, also neue Eigenschaften zur Folge.

In Tabelle 4 sind einige Eigenschaften dieser Reihe zusammengefaßt.

Tabelle 4. Eigenschaften einiger primärer Alkanole

Formel	Löslichkeit in Wasser	Zustand bei Zimmertemperatur	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	
$C_8H_{17} \cdot OH$	wenig löslich	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

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 Dodecanol $C_{12}H_{25} \cdot OH$ ab sind die Alkanole bei Zimmertemperatur 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 Zahl 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.

Alkandiole und Alkantriole

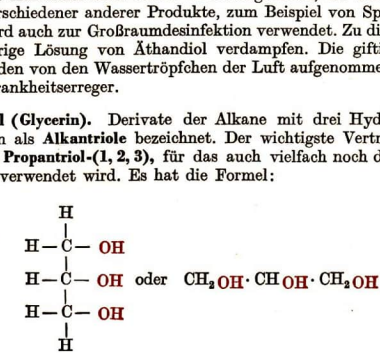
1. Äthandiol (Glykol). Äthandiol $CH_2OH \cdot CH_2OH$ ist ein Derivat des Äthans und enthält zwei Hydroxylgruppen. Alkanderivate mit zwei Hydroxylgruppen werden **Alkandiole** (Glykole, zweiwertige Alkohole) genannt.

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 (Glycerin). 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 **Glycerin** verwendet wird. Es hat die Formel:



Propantriol ist eine farblose, klare, ölige, geruchlose, süßschmeckende Flüssigkeit, die sich mit Wasser oder Äthanol in jedem Verhältnis mischt und Wasser anzieht. 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 wasseranziehenden 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 Hautcremen 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 („Nitroglycerin"), einem wichtigen Explosivstoff.

Äthandiol (Glykol) und Propantriol (Glycerin) sind Verbindungen mit mehreren Hydroxylgruppen. Sie sind farblose, ölige, wasseranziehende Flüssigkeiten mit sehr vielseitiger Verwendung.

Alkanale

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

Versuch 26: *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 Kupferoxydschicht bildet, und tauchen sie in den Methanoldampf. Prüfen Sie den Geruch der entstehenden Dämpfe!*

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

$$\underset{\text{Methanol}}{CH_3 \cdot OH} + CuO \rightarrow \underset{\text{Methanal}}{HCHO} + H_2O + Cu$$

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

$$CH_3 \cdot OH \xrightarrow{Cu} HCHO + H_2$$

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

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 Be-

zeichnung 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 der folgenden Tabelle werden einige Alkane und die entsprechenden Alkanale genannt:

Tabelle 5. 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	Acetaldehyd
Propan $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_3$	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CHO$	Propanal	Propionaldehyd

Alkanale sind kettenförmige Verbindungen mit der funktionellen Gruppe —CHO.

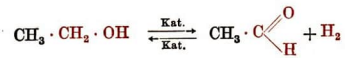
Durch Aufrichtung der Doppelbindung in der Gruppe —CHO können Atome oder Atomgruppen angelagert (addiert) werden. Wird Wasserstoff an Alkanale angelagert, so entstehen Alkanole:



Äthanal — Äthanol

Alkanale addieren Wasserstoff und werden dabei in Alkanole umgewandelt.

Diese Reaktion ist die Umkehrung der Dehydrierung von 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:

Versuch 27: *Wir füllen in ein Reagenzglas etwa 1 ml Äthanal, versetzen es mit 5 ml 50%iger Kali- oder Natronlauge und erwärmen. 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 Sauerstoffatom 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 Natriumhydroxyd in 100 ml Wasser gelöst.

Versuch 28: *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.*
Was beobachten Sie?

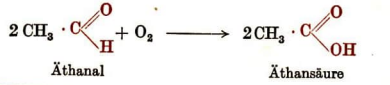
Versetzt man Fehlingsche Lösung mit Alkanallösungen, so tritt beim Erhitzen zunächst eine Verfärbung ein, dann fällt ein ziegelroter Niederschlag von Kupfer(I)-oxyd Cu_2O aus. Bei Verwendung von Methanal, das sehr stark reduziert, bildet sich elementares Kupfer, das sich am Glas als Kupferspiegel abscheidet.

Versuch 29: *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)-oxyd 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 der Reduktion zu einer organischen Säure oxydiert, zum Beispiel:



Äthanal — Äthansäure

Alkanale wirken reduzierend und bilden dabei organische Säuren.

Die Versuche 28 und 29 sind aber keine Reaktionen, mit denen wir Alkanale nachweisen können, da andere Reduktionsmittel ebenso reagieren. Mit **fuchsinschwefliger Säure (Schiffs Reagenz)** kann man dagegen Alkanale nachweisen.

Versuch 30: *5 ml fuchsinschweflige Säure (Schiffs Reagenz) 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.

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

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

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.

Versuch 31: *Wir stellen die Versuchsanordnung nach Abbildung 46 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 Eis) gefüllten Becherglas. In die zweite Waschflasche geben wir Schiffs Reagenz (fuchsinschweflige Säure). Wir erhitzen zunächst den*

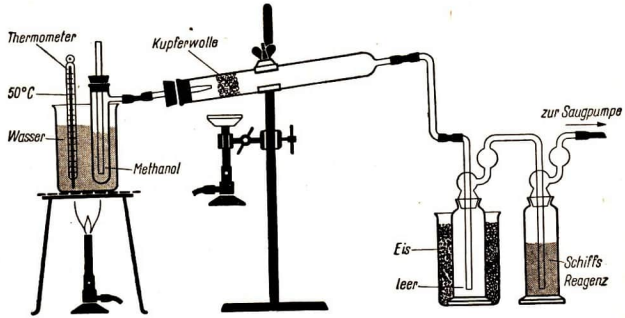


Abb. 46 Dehydrierung von Methanol zu Methanal

Kupferkatalysator und saugen 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 Reagenz!

Methanal wird aus Methanol durch katalytischen 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, der **Paraformaldehyd**, ab. Paraformaldehyd ist ein hochmolekularer Stoff. Er kann durch Erhitzen wieder in Methanal zerlegt werden.

Versuch 32: *Wir geben eine kleine Menge Paraformaldehyd in ein trockenes Reagenzglas und erhitzen.*
Prüfen Sie den Geruch des entstehenden Gases!

Versuch 33: *In ein Reagenzglas gießen wir etwa 5 ml Formalin und setzen etwas Weißei aus einem Hühnerei hinzu.*
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. Ein derartiges Präparat ist zum Beispiel **Siccoform,** das vom VEB Pharmazeutisches Werk Johannisthal hergestellt wird. Bei der Bekämpfung von Viehseuchen wendet man eine 1%ige wäßrige Methanallösung an. Da Methanal auch Fäulniserreger abtötet, dient es als 3%ige 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 verbraucht. Aus Milcheiweiß und Methanal entsteht das **Galalith.** Aus anderen Rohstoffen und Methanal werden die vielverwendeten **Phenoplaste** und **Aminoplaste** hergestellt.

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

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

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

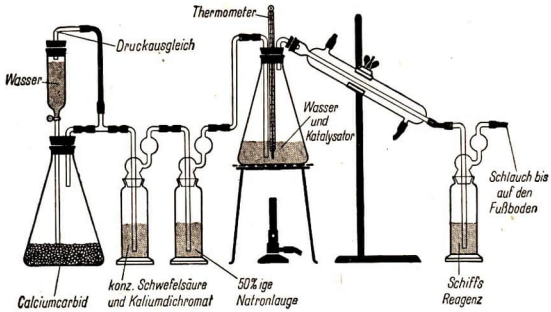


Abb. 47 Darstellung von Äthanal aus Äthin

Versuch 34: *Wir stellen die Versuchsanordnung nach Abbildung 47 zusammen. In den ersten Erlenmeyerkolben bringen wir eine etwa 1 cm hohe Schicht Calciumcarbid. In die erste sich anschließende Waschflasche füllen wir konzentrierte Schwefelsäure und Kaliumdichromat, in die zweite 50%ige Natronlauge. In den Weithals-Erlenmeyerkolben geben wir 50 ml Wasser, 30 ml konzentrierte Schwefelsäure, 0,5 g Quecksilber(II)-oxyd und (nach Abkühlung des Gemisches) 0,3 g Mangan(IV)-oxyd. In die dritte Waschflasche füllen wir Schiffs Reagenz. Wir lassen auf das Calciumcarbid Wasser tropfen, so daß die Apparatur von einem Äthinstrom durchspült wird. Wenn alle Luft aus der Apparatur verdrängt ist (Knallgasprobe!), erwärmen wir den Kolben auf 75° C, höchstens 80° C. Diese Temperatur muß während der gesamten Versuchsdauer genau eingehalten werden.*
Beobachten Sie die Färbung von Schiffs Reagenz!

Äthanal wird aus Äthin durch katalytische Wasseranlagerung hergestellt.

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:

Versuch 35: *Wir füllen in zwei Reagenzgläser je 3 ml fuchsinschweflige Säure und geben in das eine Glas einige Tropfen Methanallösung, in das andere etwas Äthanal hinzu. 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 unterscheiden. Die

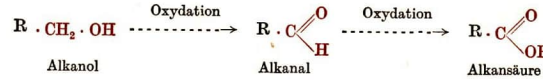
Probe mit Methanal färbt sich etwas dunkler, die Farbe der Äthanal enthaltenden Probe schlägt nach hellgelb um.

Äthanal ist ein in der chemischen Industrie vielseitig verwendetes Zwischenprodukt und dient zur Erzeugung von synthetischem 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 synthetischem Kautschuk, Farbstoffen, Arzneimitteln, Äthansäure und vielen anderen Stoffen.

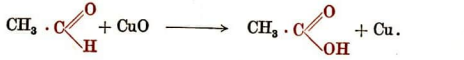
Alkansäuren

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:



Dabei kann **R** jeder beliebige Alkanrest oder Wasserstoff sein.

Die Alkansäuren sind also ebenfalls Oxydationsprodukte von primären Alkanolen. Die funktionelle Gruppe der Alkansäuren ist die **Carboxylgruppe —COOH.** Sie entsteht bei der Oxydation der Alkanale aus der Gruppe —CHO, zum Beispiel



Versuch 36: *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!

Versuch 37: *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?

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 Carboxylgruppe durch Metall ersetzt, zum Beispiel:

$$\underset{\text{Äthansäure}}{2\,CH_3 \cdot COOH} + Mg \rightarrow \underset{\text{Magnesiumacetat}}{(CH_3 \cdot COO)_2Mg} + H_2 \uparrow$$

Im Abschnitt „Ester" werden noch weitere Reaktionen der Alkansäuren behandelt, bei denen aus der Carboxylgruppe 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 (Carboxylgruppe).

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. $C_{18}H_{37}OH$) 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. Einige einfach aufgebaute Alkansäuren sind in Tabelle 6 genannt.

Tabelle 6. Niedrigmolekulare Alkansäuren

Formel	Wissenschaftliche Bezeichnung	Ältere Bezeichnung
$H \cdot COOH$	Methansäure	Ameisensäure
$CH_3 \cdot COOH$	Äthansäure	Essigsäure
$CH_3 \cdot CH_2 \cdot COOH$	Propansäure	Propionsäure
$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$	Butansäure	Buttersäure

Für die Alkansäuren wird vielfach auch die Bezeichnung **Carbonsäuren** 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. 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 Zahl 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 7 zusammengefaßt.

Tabelle 7. Einige Eigenschaften der Alkansäuren

Formel	Löslichkeit in Wasser	Zustand bei Zimmertemperatur	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
$C_5H_{11} \cdot COOH$	wenig löslich	leicht ölige Flüssigkeit	unangenehm
$C_6H_{13} \cdot COOH$	wenig löslich	ölige Flüssigkeit	unangenehmer Geruch, der mit steigendem Molekulargewicht schwächer wird
$C_7H_{15} \cdot COOH$	schlecht löslich	ölige Flüssigkeit	
$C_8H_{17} \cdot COOH$	schlecht löslich	ölige Flüssigkeit	
$C_9H_{19} \cdot COOH$	unlöslich	fest	geruchlos

Die ersten drei Säuren (HCOOH bis $C_2H_5 \cdot COOH$) sind bei Raumtemperatur leichtbewegliche, farblose Flüssigkeiten, die stechend sauer riechen und sich gut in Wasser lösen. Die Säuren $C_3H_7 \cdot COOH$ bis $C_8H_{17} \cdot COOH$ haben einen unangenehmen, schweißartigen Geruch und ölige Beschaffenheit, die mit wachsender Zahl der Kohlenstoffatome zunimmt. Gleichzeitig nimmt ihre Wasserlöslichkeit ab. Von der Decansäure ($C_9H_{19} \cdot COOH$) ab sind die Alkansäuren bei Zimmertemperatur feste, paraffinartige Stoffe, die geruchlos und wasserunlöslich sind.

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 Natriumhydroxyd und Kohlenmonoxyd hergestellt. Man läßt Generatorgas bei 110°C unter 6 bis 8 at Druck auf festes Natrium-

hydroxyd oder Natronlauge einwirken. Bei diesem Vorgang entsteht Natriumformiat, das Natriumsalz der Methansäure:

$$NaOH + CO \rightarrow HCOONa$$

Aus dem Natriumformiat bildet sich durch Einwirkung von Schwefelsäure die Methansäure:

$$2\,HCOONa + H_2SO_4 \rightarrow 2\,HCOOH + Na_2SO_4$$

Die verwendete Schwefelsäure ist mit Methansäure verdünnt, da konzentrierte Schwefelsäure Methansäure in Kohlenmonoxyd und Wasser zerlegt:

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

Versuch 38: *Wir gießen etwa 4 ml konzentrierte Schwefelsäure in ein Reagenzglas, geben 1 ml konzentrierte Methansäure dazu und erwärmen auf 75° C. Das entweichende Gas wird entzündet. Der Versuch ist unter dem Abzug durchzuführen!*

Methansäure wird durch Reaktion von Kohlenmonoxyd mit Natriumhydroxyd hergestellt; dabei bildet sich Natriumformiat, 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.

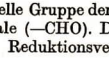
Versuch 39: *Wir gießen in drei Reagenzgläser je 5 ml 50%ige Methansäure und geben kleine Stücke von Magnesium, Zink und Eisen dazu. Was beobachten Sie?*

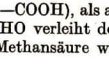
Methansäure reagiert mit unedlen Metallen, wobei Wasserstoff und Salze der Methansäure, die **Formiate**, entstehen:

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

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

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.

Versuch 40: *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 Kohlendioxyd und Wasser oxydiert:

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

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 daher 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 Calciumformiat $(HCOO)_2Ca$ und Natriumnitrit. Methansäure und Kofa-Salz sind besonders zur Einsäuerung von sehr eiweißreichen, schwer vergärbaren Futterpflanzen, wie Luzerne, Rieselgras und Wicken, geeignet. Je nach dem Eiweißgehalt werden 3 bis 4 kg Amisallösung beziehungsweise 0,15 bis 0,3 kg Kofa-Salz je Doppelzentner Grünmasse verwendet. 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 $CH_3 \cdot COOH$, vielfach 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. 48).

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

Äthin — Äthanal

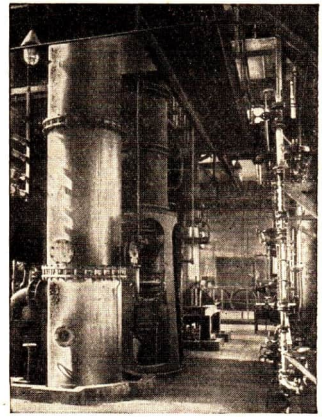
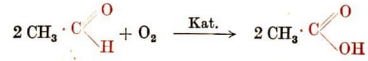


Abb. 48
Äthansäure-Kontaktanlage im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau



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.

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 günstigsten 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. 49).

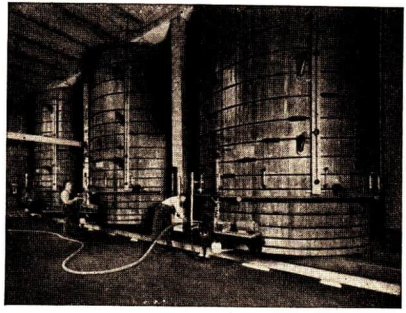


Abb. 49 Anlage zur Erzeugung von Gärungsessig in der Konsum-Essig- und Mostrichfabrik Berlin

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.

Versuch 41: *Wir wiederholen Versuch 39, setzen aber an Stelle von Methansäure etwa die gleiche Menge Äthansäure hinzu. Was beobachten Sie?*

Die Salze der Äthansäure heißen **Acetate.** Sie sind größtenteils in Wasser gut löslich. Erhitzt man wäßrige Lösungen von Eisen-, Chrom- und Aluminiumacetaten 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 Aluminiumhydroxyacetat $(CH_3 \cdot COO)_2Al(OH)$ 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 Kupferhydroxyacetaten, die man als **Grünspan** bezeichnet.



Abb. 50 Essigessenzflasche

Versuch 42: *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.*

Die Äthansäure ist ein wichtiges Zwischenprodukt der chemischen Industrie und dient zur Herstellung von Chemiefasern (Acetatkunstseide), 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.

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

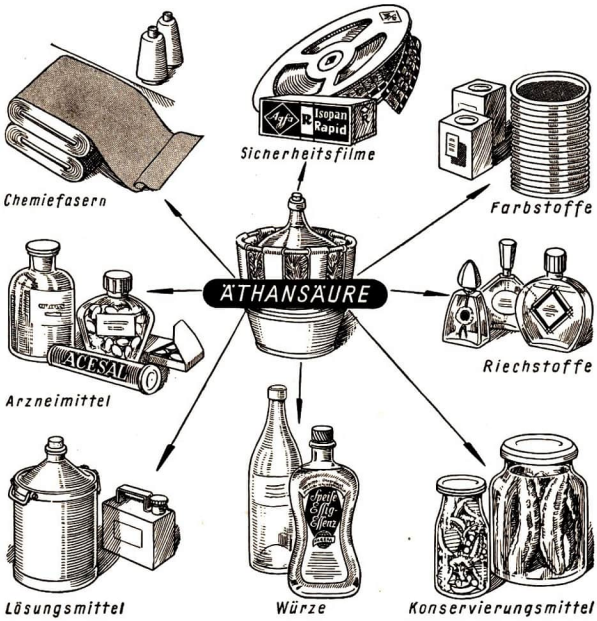


Abb. 51 Verwendung von Äthansäure

Fall genossen werden. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird Essigessenz in besonders geformten Flaschen in den Handel gebracht (Abb. 50). In Abbildung 51 ist die Verwendung der Äthansäure schematisch dargestellt.

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

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

$HOOC \cdot COOH$	**Äthandisäure (Oxalsäure),**
$HOOC \cdot CH_2 \cdot COOH$	**Propandisäure (Malonsäure)** und
$HOOC \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$	**Butandisäure (Bernsteinsäure).**

Alle Alkandisäuren sind feste Stoffe, die gut kristallisieren.

Äthandisäure

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ COOH \end{array}$$

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 Kohlendioxyd und Wasser oxydiert:

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

Die Salze der Äthandisäure werden als **Oxalate** bezeichnet. Die Oxalate der Alkalimetalle sind in Wasser leicht löslich, die Oxalate der Erdalkali- und Schwermetalle dagegen nahezu unlöslich. Die geringe Löslichkeit des Calciumoxalats

$$\begin{array}{l} COO \\ | \\ COO \end{array} \!\!> Ca$$

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

Versuch 43: *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 Natriumacetat. Zu der nun äthansauren Lösung geben wir 10%ige Ammoniumoxalatlösung.
Was beobachten Sie?

Durch Zugabe von Ammoniumoxalatlösung zu einer äthansauren Lösung von Calciumchlorid wird Calciumoxalat ausgefällt:

$$CaCl_2 + \begin{array}{l} COO \cdot NH_4 \\ | \\ COO \cdot NH_4 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} COO \\ | \\ COO \end{array} \!\!> Ca\downarrow + 2\,NH_4Cl$$

Aus den Mengen der entstandenen Niederschläge kann man auf den Kalkgehalt der untersuchten Böden schließen. Der Versuch 43 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 Calciumverbindungen des Blutes fällt und dadurch Veränderungen im Körper hervorruft, die lebensgefährlich sein können.

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 Oxalate, finden vielseitige Verwendung in der Industrie, im Haushalt und in der chemischen Analyse.

6. Hydroxysäuren (Oxysäuren). Als Hydroxysäuren werden organische Verbindungen bezeichnet, die sowohl Hydroxyl- als auch Carboxylgruppen 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:

$$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOH.$$

2-Hydroxypropansäure (Milchsäure) 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 Glucose (Traubenzucker).

Milchsäure wirkt schon bei einer Konzentration von 1% hemmend auf die Lebensvorgänge der Bakterien und ist deshalb ein gutes Konservierungsmittel für Gemüse (Weißkohl, Gurken, Bohnen) und für Futterpflanzen (Silomais, Rübenblätter, Kohlblätter, Markstammkohl, Sonnenblumen, Stoppelrüben mit Blatt, Futterroggen, Klee, Gras usw.).

Für die Silierung sind Hochsilos besonders günstig (Abb. 52). Häufig werden jedoch Mais und andere Futterpflanzen in Erdgruben oder in 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. von Fäulnisbakterien) begünstigt, wird der Silomais oder anderes zu silierendes Futter vorher zerkleinert und dann fest eingestampft. Auf diese Weise wird weitgehender Luftabschluß erreicht, so

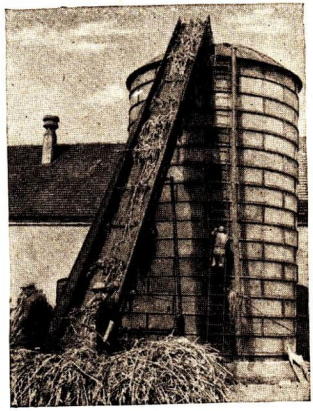


Abb. 52 Moderner Hochsilo

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.

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; ferner wird sie 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.

Ester

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

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

Dadurch unterscheidet sich die Esterbildung grundsätzlich von der Salzbildung aus Säure und Hydroxyd, die wir in der anorganischen Chemie kennengelernt haben. Das bei der Salzbildung gebildete Wasser entsteht aus der Hydroxylgruppe des Hydroxyds 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 Hydroxyd in sehr kurzer Zeit vor sich geht. Die hohe Geschwindigkeit der Salzbildung ist durch die Spaltung der anorganischen Säuren und Hydroxyde in Ionen bedingt, die in wäßriger Lösung sehr rasch miteinander reagieren.

Die Esterbildung ist eine Gleichgewichtsreaktion:

$$C_2H_5 \cdot OH + HOOC \cdot CH_3 \rightleftarrows C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3 + H_2O\,.$$

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Gleichgewicht einstellt, ist bei Zimmertemperatur 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 dynamische 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.

Versuch 44: *Wir verwenden zwei Rundkolben (100 ml) 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. Was beobachten Sie?*

Bei Versuch 44 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.

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

Die Namen der Ester aus anorganischen Säuren werden entsprechend den Namen der Salze dieser Säuren gebildet, wobei an Stelle des Metalls der Name des Alkanolrestes genannt wird, zum Beispiel

$(CH_3)_2\,SO_4$ Dimethylsulfat,
$C_2H_5NO_2$ Äthylnitrit.

Die Namen der Ester aus organischen Säuren werden aus dem Namen des Alkanolrestes und dem Namen der beteiligten Säure gebildet, wobei an Stelle des Wortes „-säure" die Endung „**-at**" tritt, zum Beispiel:

$CH_3 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3$ Methyläthanat,
$C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3$ Äthyläthanat,
$C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot C_2H_5$ Äthylpropanat.

2. Einige wichtige Ester. Die Ester anorganischer Säuren haben technische, biologische und medizinische Bedeutung. Besonders wichtig sind die **Ester der Salpetersäure** mit Propantriol, Äthandiol und Cellulose, 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 Lecithin. Die Erforschung dieser und anderer Verbindungen und ihrer Umsetzungen beweisen, 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.

Von den Estern der organischen Säuren sind drei Gruppen besonders wichtig: die Fruchtester, die Wachse und die Fette.

Fruchtester (auch Fruchtäther genannt) sind Ester aus niedrigmolekularen Alkanolen mit 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 unlöslich und besitzen angenehme, fruchtartige Gerüche. Man verwendet sie als Backaromen und zur Limonadenherstellung. Außerdem dienen Fruchtester als Lösungsmittel für Klebstoffe und Lacke.

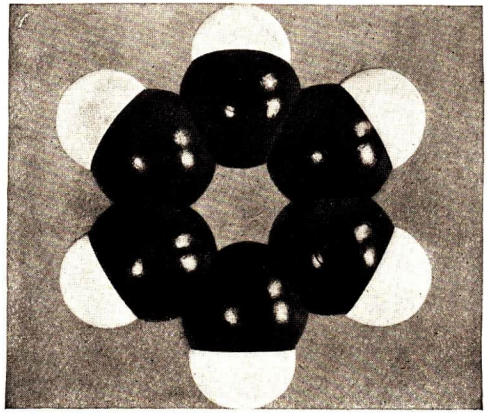
Wachse enthalten Ester aus hochmolekularen Alkanolen mit ebensolchen Alkansäuren. Es sind geruchlose, weiße bis gelbliche Stoffe, die wasserunlöslich sind. So enthält zum Beispiel das Bienenwachs den Ester $C_{31}H_{63} \cdot O \cdot OC \cdot C_{15}H_{31}$. Wichtige Wachse sind das Walrat, das aus den 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.

Fette sind Ester des Propantriols mit mittleren und höheren Carbonsäuren (Fettsäuren).

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. *Vergleichen Sie die Methanolsynthese mit der Fischer-Tropsch-Benzinsynthese!*
6. *Wieviel kg Wasserstoff werden theoretisch zur Synthese von 1 t Methanol benötigt?*
7. *Nennen Sie wichtige Eigenschaften des Methanols!*
8. *Erläutern Sie die Unterschiede zwischen anorganischen Hydroxylverbindungen (Hydroxyden) und organischen Hydroxylverbindungen (Alkanolen)!*
9. *Erläutern Sie die Verfahren zur Äthanolherstellung!*
10. *Nennen Sie Eigenschaften des Äthanols!*
11. *Wozu werden Methanol und Äthanol verwendet?*
12. *Schreiben Sie die Formeln von Äthandiol-(1,2) und Propantriol-(1,2,3) auf und nennen Sie Eigenschaften beider Verbindungen!*
13. *Wozu werden Äthandiol-(1,2) und Propantriol-(1,2,3) verwendet?*
14. *Stellen Sie die wissenschaftlichen Namen einiger wichtiger Alkanole den entsprechenden älteren Bezeichnungen gegenüber!*
15. *Erläutern Sie die Herstellung von Alkanalen aus Alkanolen!*
16. *Erklären Sie das chemische Verhalten der Alkanale aus der Struktur dieser Verbindungen!*

17. *Wie wird Methanal hergestellt?*
18. *Wozu wird Methanal verwendet?*
19. *Vergleichen Sie die Eigenschaften von Methanal und Äthanal!*
20. *Erläutern Sie die Synthese des Äthanals aus Kohle!*
21. *Wozu wird Äthanal verwendet?*
22. *Sprechen Sie über Aufbau und Benennung der Alkansäuren!*
23. *Vergleichen Sie die im Lehrbuch genannten homologen Reihen der Alkanole und Alkansäuren!*
24. *Erläutern Sie die Herstellung von Methansäure!*
25. *Welche Eigenschaften hat Methansäure?*
26. *Wozu wird Methansäure verwendet?*
27. *Beschreiben Sie die verschiedenen Herstellungsverfahren der Äthansäure!*
28. *Vergleichen Sie die alkoholische Gärung mit der Essiggärung!*
29. *Vergleichen Sie die Eigenschaften von Methansäure und Äthansäure! Stellen Sie Ähnlichkeiten und Unterschiede heraus!*
30. *Wozu dienen Äthansäure und ihre Salze?*
31. *Wieviel kg Äthansäure können theoretisch aus 33 600 l Äthin (unter Normalbedingungen) erzeugt werden?*
32. *Wo kommt Äthandisäure (Oxalsäure) vor und welche Eigenschaften hat diese Verbindung?*
33. *Wie entsteht 2-Hydroxypropansäure (Milchsäure) und wo kommt sie vor?*
34. *Nennen Sie wichtige Verwendungen der 2-Hydroxypropansäure!*
35. *Wodurch unterscheidet sich die Esterbildung von der Salzbildung?*
36. *Erläutern Sie die Besonderheiten einer Gleichgewichtsreaktion am Beispiel der Bildung von Äthyläthanat!*
37. *Geben Sie einen Überblick über einige wichtige Arten von Estern!*



Molekülmodell des Benzols

Eine wichtige Gruppe von organischen Verbindungen sind die ringförmigen Kohlenwasserstoffe, von denen besonders das Benzol und seine Derivate große Bedeutung für die chemische Industrie haben.

6. KAPITEL

Ringförmige Kohlenwasserstoffe

Benzol

1. Aufbau und Eigenschaften. Außer den kettenförmigen gibt es zahlreiche ringförmige organische Verbindungen. Eine wichtige Gruppe der ringförmigen Verbindungen 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 kennt man über 100000 verschiedene aromatische Verbindungen, darunter viele, die geruchlos sind oder unangenehm riechen.

Aromatische Verbindungen leiten sich von einem ringförmigen Kohlenwasserstoff, dem Benzol, ab.

Benzol ist eine leichtbewegliche, 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** hat die Summenformel 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.

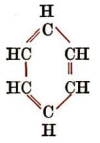
Versuch 45: *5 ml Benzol werden mit der gleichen Menge Bromwasser geschüttelt.*
Was beobachten Sie?

Der Versuch 45 zeigt, daß sich Brom leicht in Benzol löst. Da die braune Farbe dabei bestehenbleibt, kann man schließen, daß Brom bei Zimmertemperatur entweder nicht oder nur sehr langsam an Benzol angelagert (addiert) wird. Benzol enthält demnach keine aktiven Mehrfachbindungen wie zum Beispiel die Alkene.

Versuch 46: *Wir versetzen etwa 5 ml Benzol mit der gleichen Menge Baeyers Reagenz und schütteln.*
Was beobachten Sie?

Auch mit Baeyers Reagenz gibt Benzol keine Reaktion.

Der deutsche Chemiker August Kekulé von Stradonitz 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 Reagenz bewirken. Die Versuche 45 und 46 beweisen jedoch, daß dies nicht der Fall ist. Nach unseren heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen liegt im Benzolmolekül tatsächlich eine ringförmige 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

Das Benzolmolekül C_6H_6 enthält sechs ringförmig angeordnete CH-Gruppen, die untereinander auf besondere Art verbunden sind.

Wir untersuchen nun einige Eigenschaften des Benzols.

Versuch 47: *Wir gießen 2 ml Benzol in ein Reagenzglas, geben die doppelte Menge Wasser dazu und schütteln. Danach setzen wir das Reagenzglas ab. Was beobachten Sie?*

Benzol ist wasserunlöslich und hat eine geringere Dichte als Wasser.

Versuch 48: *Wir bringen einige Tropfen Benzol auf ein leicht angewärmtes Uhrglas und nähern diesem langsam einen brennenden Holzspan. Achten Sie auf den Zeitpunkt der Entzündung! Betrachten Sie die Flamme!*

Benzol bildet bei Zimmertemperatur 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 Kohlendioxydlöscher.

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!

Im Gegensatz zu den ungesättigten kettenförmigen Kohlenwasserstoffen addiert Benzol keine Säuren. Konzentrierte Schwefelsäure wirkt substituierend auf Benzol:

$$\underset{\text{Benzol}}{C_6H_5}\boxed{H + HO}\underset{\text{Schwefelsäure}}{SO_3H} \rightarrow \underset{\text{Benzolsulfonsäure}}{C_6H_5 \cdot SO_3H} + H_2O$$

Dabei entsteht eine wasserlösliche Säure, die **Benzolsulfonsäure:**

Dieser Vorgang wird als **Sulfonierung** bezeichnet. Bei Einwirkung von konzentrierter Salpetersäure auf Benzol bildet sich durch Substitution eine stickstoffhaltige Benzolverbindung, das **Nitrobenzol:**



Als Nebenprodukt entsteht Wasser.
Die Einführung von Nitrogruppen $-NO_2$ in organische Verbindungen nennt man **Nitrierung.** Sulfonierung und Nitrierung sind wichtige Reaktionen, die in der chemischen Industrie vor allem bei der Herstellung von Farbstoffen und Sprengstoffen angewandt werden.

Benzol läßt sich verhältnismäßig leicht sulfonieren oder nitrieren.

2. Gewinnung und Verwendung. Benzol hat große Bedeutung für die chemische Industrie. Es fällt in beträchtlichen Mengen bei der Entgasung der Steinkohlen an. In Kokereien und Gaswerken wird Benzol durch Auswaschen aus dem Rohgas gewonnen. Steinkohlenteer enthält etwa 1% Benzol. Benzol kann auch durch petrolchemische Verfahren aus Erdöl hergestellt werden.

Benzol ist ein wichtiges Lösungsmittel. Es dient ferner als Zusatz für Kraftstoffe. Benzol ist ein wichtiger Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Es dient zur Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Chemiefasern, Farbstoffen, Arzneimitteln, Waschmitteln, synthetischem Kautschuk und zahlreichen anderen Produkten.

Benzol wird bei der Entgasung der Steinkohlen gewonnen. Es dient als Lösungsmittel, Zusatz zu Kraftstoffen und als Ausgangsstoff für die chemische Industrie.

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 zum Beispiel das **Methylbenzol:**



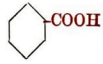
Methylbenzol wird vielfach auch **Toluol**[1]) genannt. Es kommt neben Benzol im Steinkohlenteer vor und wird durch Destillation gewonnen. Toluol ist eine wasserhelle Flüssigkeit, die benzolähnlich riecht und leicht entzündlich ist. Wir untersuchen weitere Eigenschaften dieses Stoffes.

[1]) Der Name Toluol ist von Tolubalsam abgeleitet, einem Stoff, aus dem Toluol erstmalig hergestellt wurde.

Versuch 49: *Wir geben etwas Toluol in eine Eisenschale und entzünden es. Welche Erscheinungen können Sie an der Flamme beobachten?*

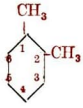
Versuch 50: *2 ml Toluol werden in einem Reagenzglas mit der gleichen Menge Baeyers Reagenz versetzt und unter dauerndem Schütteln erhitzt. Was beobachten Sie?*

Toluol brennt mit leuchtender, stark rußender Flamme. Gegenüber Baeyers Reagenz verhält sich Toluol anders als Benzol. Bei der Reaktion von Toluol mit Baeyers Reagenz verschwindet der violette Farbton der Lösung, und ein brauner Niederschlag flockt aus. Genauere Untersuchungen haben ergeben, daß dabei die Seitenkette ($-CH_3$) zu einer Carboxylgruppe $-COOH$ oxydiert wird. Es entsteht eine Säure, die **Benzolcarbonsäure,** die vielfach auch **Benzoesäure** genannt wird:

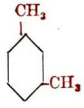


Toluol dient zur Herstellung von Farbstoffen, Sprengstoffen, Süßstoff, Arzneimitteln und anderen Stoffen. Es wird ferner als sehr klopffester Kraftstoff verwendet.

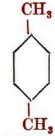
Treten in einem Benzolmolekül an die Stelle von zwei Wasserstoffatomen Methylgruppen, so erhält man die **Dimethylbenzole,** die auch **Xylole** genannt werden. Es gibt drei isomere Verbindungen der Formel $C_6H_4 \cdot (CH_3)_2$. Zur Kennzeichnung der Isomeren gibt man die Stellung der Substituenten 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. 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)

Diese Stellungsbezeichnungen werden auch bei allen anderen Disubstitutionsprodukten des Benzols angewandt.

Die Xylole sind farblose Flüssigkeiten, die in vielen Eigenschaften (z. B. Geruch, Brennbarkeit) dem Benzol ähnlich sind, in ihrem chemischen Reaktionsvermögen aber ein abweichendes Verhalten zeigen.

Xylole werden aus Steinkohlenteer durch fraktionierte Destillation gewonnen. Sie dienen als Lösungsmittel, als klopffeste Beimischungen zu Kraftstoffen (be-

sonders für Flugzeugmotoren) und werden ferner zur Herstellung von Farbstoffen und Riechstoffen verwendet.

Toluol und Xylole sind wichtige Homologe des Benzols. Sie dienen in der chemischen Industrie als Ausgangsstoffe für die Herstellung zahlreicher Produkte.

2. Phenole. Phenole sind aromatische Verbindungen, die unmittelbar an Kohlenstoffatome des Benzolringes gebundene Hydroxylgruppen enthalten. Der einfachste Vertreter dieser Verbindungen ist das **Phenol**



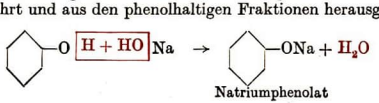
das nach der wissenschaftlichen Bezeichnungsweise **Hydroxybenzol** heißt.

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. Es unterscheidet sich in einigen chemischen Eigenschaften von den kettenförmigen Hydroxylverbindungen. Phenol bildet mit Laugen Salze, die **Phenolate**. Phenolate werden jedoch in wäßriger Lösung schon von schwachen Säuren, wie der Kohlensäure, zerlegt. Phenol ist stark giftig und wirkt ätzend auf die Haut.

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 **Carbolsäure** bezeichnet. In beträchtlichen Mengen kommt Phenol auch in den bei der Schwelung von Braunkohle anfallenden Produkten und insbesondere in den Abwässern der Schwelereien, Braunkohlenkokereien, Hydrierwerke, Gaswerke und Teerverarbeitungswerke vor.

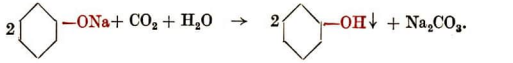
Phenolhaltige Abwässer wirken sich sehr schädlich aus, wenn sie in die Flußläufe abgeführt werden. Schon geringe Phenolgehalte im Flußwasser führen zu Störungen im Stoffwechsel der Fische, Abwanderung des Fischbestandes und zu einem übermäßigen Fischsterben. Außerdem werden die Frischwasserversorgung in den Flußgebieten und der Wassersport erheblich beeinträchtigt. Da Phenole andererseits sehr wichtige Ausgangsstoffe für die chemische Industrie sind, ist die **Entphenolung der Industrieabwässer** von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung. 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 aus dem Leichtöl und Mittelöl der Steinkohlenteer-Destillation gewonnen. Mit Natronlauge wird das Phenol in das gut wasserlösliche Natriumphenolat übergeführt und aus den phenolhaltigen Fraktionen herausgelöst:



Natriumphenolat

In die Phenolatlösung leitet man nach einer Konzentrierung in Vakuumverdampfern Kohlendioxyd ein, wodurch Phenol ausgefällt wird:



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 Destillation abgetrennt. Das gereinigte Lösungsmittel kehrt wieder in den Prozeß zurück.

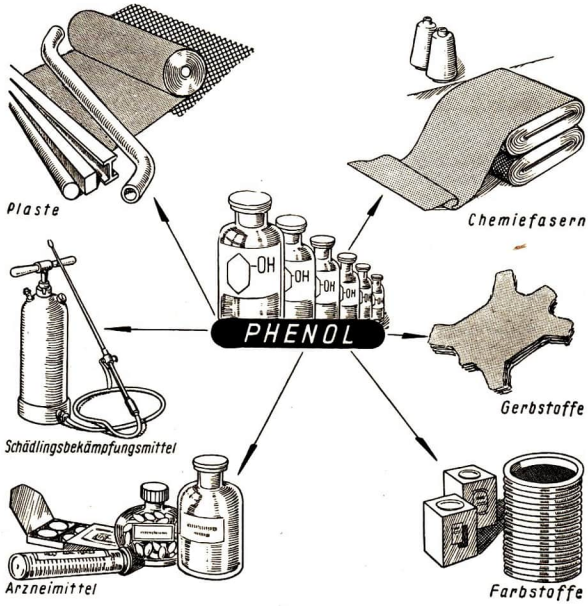


Abb. 53 Verwendung von Phenol

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 53 gibt einen Überblick über die Verwendung von Phenol.

Phenol C_6H_5OH wird in unserer Republik vor allem aus Braunkohlenprodukten und Abwässern der Kohleveredlungsindustrie gewonnen. Es ist ein wichtiger Ausgangsstoff für die chemische Industrie.

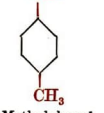
3. Die Homologen des Phenols. Außer Phenol kommen im Steinkohlenteer und anderen Teeren Homologe dieser Verbindung vor. Die wichtigsten Homologen des Phenols sind die **Kresole.** Kresole entstehen, wenn ein Wasserstoffatom des Phenolmoleküls durch eine Methylgruppe ersetzt wird. Als Disubstitutionsprodukte können sie in drei isomeren Formen auftreten:



2-Methylphenol
o-Kresol



3-Methylphenol
m-Kresol



4-Methylphenol
p-Kresol

Kresole dienen zur Herstellung von Plasten, Farbstoffen, Riechstoffen und Desinfektionsmitteln.

Die Kresole sind die wichtigsten Homologen des Phenols. Sie sind Ausgangsstoffe für die chemische Industrie.

4. Aminobenzol (Anilin). Aminobenzol ist ein Benzolderivat, bei dem ein Wasserstoffatom des Benzols durch die **Aminogruppe** $-NH_2$ substituiert ist. Es hat die Formel



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.

Aminobenzol ist ein wichtiges Zwischenprodukt der chemischen Industrie. Es wird vor allem zur Herstellung von Farbstoffen und Arzneimitteln verwendet.

Aminobenzol wurde 1826 erstmalig von dem deutschen Chemiker 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 großen russischen Chemiker NIKOLAI NIKOLAJEWITSCH SININ die erste Synthese

von Aminobenzol durch Reduktion von Nitrobenzol. Die Anilinsynthese von SININ hat in der Folgezeit große Bedeutung für die Herstellung von synthetischen Farbstoffen erlangt.

Aminobenzol (Anilin) ist ein Ausgangsstoff für die Herstellung von Farbstoffen und Arzneimitteln.

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. *Nennen Sie wichtige Homologen des Benzols; geben Sie ihre Strukturformel und ihre Verwendungszwecke an!*
5. *Erläutern Sie am Beispiel der Xylole die wissenschaftliche Benennung der Disubstitutionsprodukte des Benzols!*
6. *Sprechen Sie über Aufbau, Eigenschaften und Vorkommen des Phenols!*
7. *Welche Bedeutung hat die Entphenolung der Industrieabwässer?*
8. *Erläutern Sie die Gewinnung des Phenols und geben Sie wichtige Verwendungszwecke dieser Verbindung an!*
9. *Geben Sie Aufbau und Verwendungszwecke der Kresole an!*
10. *Erläutern Sie Aufbau, Eigenschaften und Verwendung des Aminobenzols!*



Speisefettangebot in einer Selbstbedienungsverkaufsstelle der HO Lebensmittel Berlin

Die Fette sind Gemische von Estern des Propantriols mit Carbonsäuren. Sie haben große Bedeutung für die menschliche Ernährung. Butter, Margarine, Speiseöl, Speisehartfett und Schlachtfette sind unsere wichtigsten Speisefette.

7. KAPITEL

Fette

Der Aufbau der Fette

1. Begriff. Eine besonders wichtige Gruppe von Verbindungen sind die Fette und fetten Öle. Sie sind Gemische von Estern des Propantriols mit mittleren und höheren Carbonsäuren (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.

2. Die Fettsäuren. Die wichtigsten in den Fetten vorkommenden Carbonsäuren sind:

Hexadecansäure (Palmitinsäure) $C_{15}H_{31} \cdot COOH$,

Octadecansäure (Stearinsäure)	$C_{17}H_{35} \cdot COOH$,
Octadecensäure (Ölsäure)	$C_{17}H_{33} \cdot COOH$.

Die Hexadecansäure und Octadecansäure sind gesättigte Verbindungen, die sich von Alkanen ableiten und daher zu den Alkansäuren gehören. Sie sind weiße, geruchlose, bei Zimmertemperatur feste Stoffe, die in Wasser unlöslich sind. Dagegen lösen sie sich gut in organischen Lösungsmitteln. Die Octadecensäure (Ölsäure), eine farblose, geruchlose, ölige, in Wasser unlösliche Flüssigkeit, ist eine ungesättigte Carbonsäure (Alkensäure). Sie hat die gleiche Anzahl von Kohlenstoffatomen (18) wie die Octadecansäure (Stearinsäure), weist aber zwei Wasserstoffatome weniger auf. Sie enthält eine Doppelbindung im Molekül, die durch Anlagerung von Brom aufgerichtet werden kann. Wir benutzten diese Tatsache, ähnlich wie bei Versuch 10, zum Nachweis der Doppelbindung.

Versuch 51: *In ein Reagenzglas geben wir eine Spatelspitze Octadecansäure (Stearinsäure), in ein anderes etwa 1 ml Octadecensäure (Ölsäure) oder Speiseöl (im Speiseöl liegt die Octadecensäure als Verbindung vor). Beide Stoffe werden in je 5 ml Tetrachlormethan gelöst. Dann fügen wir je 2 ml Bromwasser hinzu und schütteln kräftig.*
Was stellen Sie fest?

Während zwischen Brom und Octadecansäure keine Reaktion stattfindet, wird Brom von der Octadecensäure sehr leicht addiert.

Die wichtigsten in den Fetten vorkommenden Carbonsäuren sind die Hexadecansäure (Palmitinsäure), die Octadecansäure (Stearinsäure) und die Octadecensäure (Ölsäure).

Fettsäuren werden in beträchtlichen Mengen 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. Die Paraffinoxydation wird bei Temperaturen von 100° bis 120° C in hohen Zylindern aus Reinaluminium durchgeführt. 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.

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

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

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot O \cdot OC \cdot C_{15}H_{31} \quad \text{(Rest der Hexadecansäure)} \\ | \\ CH \cdot O \cdot OC \cdot C_{17}H_{35} \quad \text{(Rest der Octadecansäure)} \\ | \\ CH_2 \cdot O \cdot OC \cdot C_{17}H_{33} \quad \text{(Rest der Octadecensäure)} \end{array}$$

(Rest des Propantriols)

In den natürlichen Fetten und fetten Ölen liegen sehr verschiedenartige Gemische derartiger gemischter Ester vor.

Enthält ein Fett vorwiegend die Reste gesättigter Carbonsäuren, 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 Carbonsäuren aufgebaut. Die Pflanzenöle (z. B. Olivenöl, Erdnußöl, Rapsöl, Sojaöl) sowie Waltran und Fischöle enthalten dagegen überwiegend Reste ungesättigter Säuren.

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 geschmacksfrei. 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 werden unangenehm riechende und schmeckende Verbindungen gebildet.

Fette und fette Öle sind Gemische von Estern des Propantriols mit gesättigten und ungesättigten Carbonsäuren.

Gewinnung und Verwendung der Fette

1. Gewinnung der in der Natur vorkommenden Fette. 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

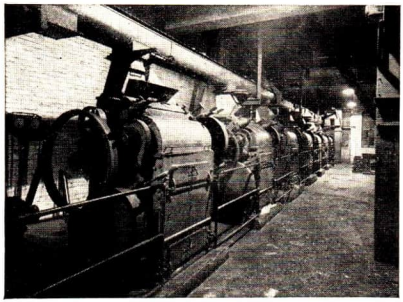


Abb. 54 Walzenstühle für Ölsaaten im VEB Öl- und Fettwerke „Hans Schellheimer" Magdeburg

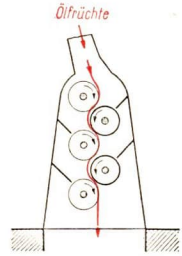


Abb. 55 Schematische Darstellung eines Walzenstuhles

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 Ver-

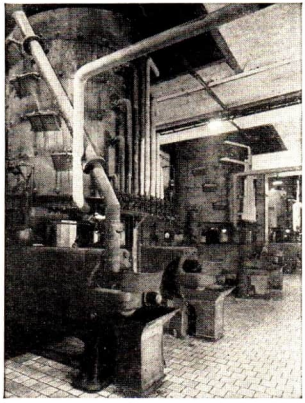


Abb. 56 Preßstation für Ölsaaten im VEB Öl- und Fettwerke „Hans Schellheimer" Magdeburg

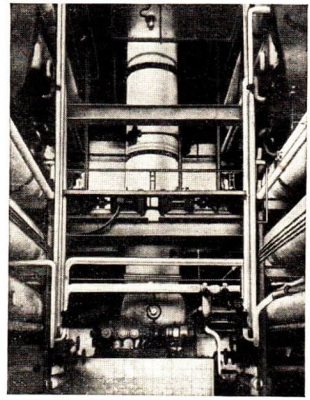


Abb. 57 Extraktionsanlage im VEB Öl- und Fettwerke „Hans Schellheimer" Magdeburg

fahren kombiniert zur Anwendung. Die Ölfrüchte (Sojabohnen, Oliven, Sonnenblumenkerne, Lein, Raps, Baumwollsaat, Erdnüsse, Mohn) werden zunächst gereinigt und dann in Walzenstühlen durch Walzen zerkleinert, die sich gegeneinander mit verschiedenen Geschwindigkeiten drehen (Abb. 54 und 55). Danach erwärmt man das Mahlgut, damit das Öl dünnflüssiger wird. In Schneckenpressen und hydraulischen Pressen (Abb. 56) 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. 57) 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 Nachbehandlungen vollständig geschmacksfrei und geruchlos gemacht, so daß sie für Speisezwecke geeignet sind.

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

Versuch 52: *Wir führen eine Extraktion fetthaltiger Stoffe im Soxhletapparat (Abb. 58) 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.*

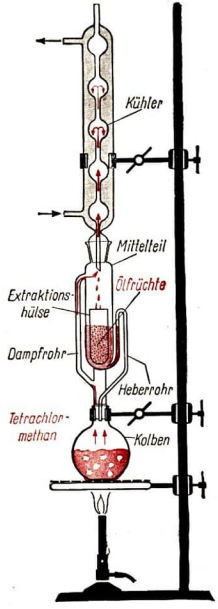


Abb. 58 Fettextraktion im Soxhletapparat

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

2. 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. 59), 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.

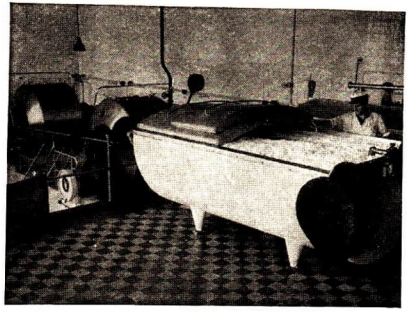


Abb. 59 Butterfertiger und Rahmreifer der Molkereigenossenschaft Kyritz

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.

Versuch 53: *Wir geben 4 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 ar-

[1]) Margarine ist nach dem Oleomargarin benannt, dem leicht schmelzenden Bestandteil des Rindertalges, der beim Auspressen von erwärmten Talg im Form glänzender Ölperlen abtropft. oleum (latein.) = Öl; margarites (griech.) = Perle.

beitende Maschinen abgewogen und verpackt (Abb. 60). 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, Lecithin und Vitaminen hergestellt. Sie ist ein leichtverdauliches Speisefett und besonders als Brotaufstrich geeignet. Die **Reformmargarine „Vita"** wird aus leichtverdaulichen Fetten, wie Palmkernfett und Erdnußöl sowie Eigelb, Lecithin und Vitaminen hergestellt. Sie ist salzfrei und als Brotaufstrich, besonders für Magen-, Gallen- und Nierenkranke, geeignet.

Zur Herstellung der **Tafelmargarine „Marina"** 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 Erzeugung von Butter und Margarine in unserer Republik ist in den letzten Jahren erheblich angestiegen (Abb. 61 und 62). Die Produktion von Butter betrug 1958 schon mehr als das Dreifache, die von Margarine mehr als das Zehnfache der des Jahres 1948.

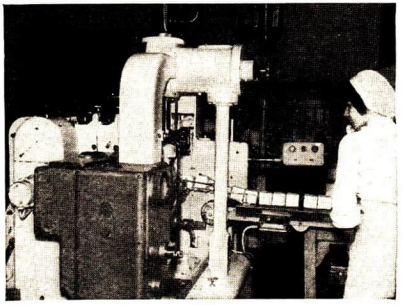


Abb. 60 Verpackungsmaschine für Margarine im VEB Berolina Margarinefabrik Berlin

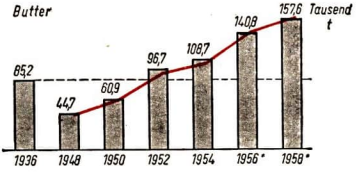


Abb. 61 Entwicklung der Buttererzeugung in der Deutschen Demokratischen Republik (* einschließlich Produktion für Selbstverbraucher)

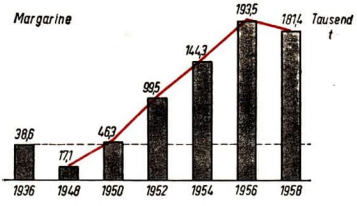


Abb. 62 Entwicklung der Margarineerzeugung in der Deutschen Demokratischen Republik

3. 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 Carbonsäuren vor. Diese ungesättigten Carbonsäuren 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.

4. 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 Glycerin und das Stearin für die Kerzenherstellung gewonnen. Kleinere Fettmengen werden auch zur

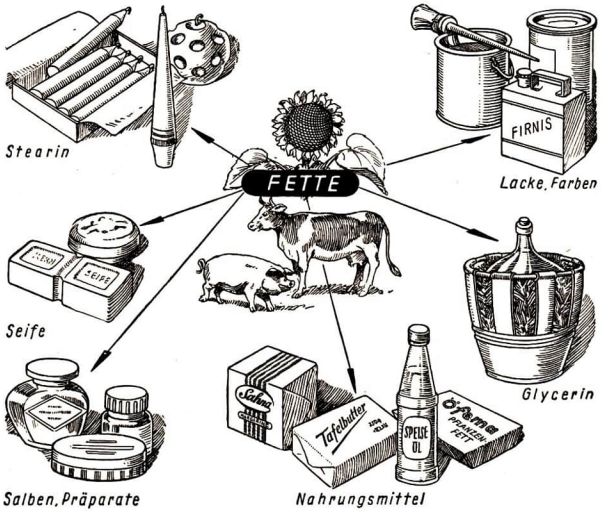


Abb. 63 Verwendung der Fette

Herstellung von kosmetischen Präparaten, Arzneimitteln u. a. Produkten benötigt. Abbildung 63 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. *Erläutern Sie die Struktur der Fette!*
2. *Nennen Sie die wichtigsten Fettsäuren und ihre Eigenschaften!*
3. *Erläutern Sie die Fettsäuresynthese!*
4. *Geben Sie einen Überblick über die wichtigsten Eigenschaften der Fette!*
5. *Sprechen Sie über die Gewinnung der natürlich vorkommenden Fette!*
6. *Aus 250 kg Ölsaat werden 85 kg fettes Öl gepreßt. Der Preßkuchen enthält noch 6% Fett. Wieviel Prozent Fett hatte die Ölsaat?*
7. *Erläutern Sie die Herstellung von Butter und Margarine!*
8. *Erklären Sie das Verfahren der Fetthärtung!*
9. *Geben Sie einen Überblick über die Verwendung der Fette!*



Werkeingang des VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt

Seifen und Neutralwaschmittel sind wichtige Erzeugnisse unserer chemischen Industrie. In unseren großen volkseigenen Werken, wie dem VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt und dem VEB Waschmittelwerk Genthin, werden zahlreiche Wasch- und Reinigungsmittel hergestellt und treten von hier aus ihren Weg in alle Teile unserer Republik an.

8. KAPITEL

Seifen und Neutralwaschmittel

Seifen

1. Zusammensetzung. Als **Seifen** bezeichnet man die Salze der mittleren und höheren Carbonsäuren (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 die Laugenverseifung und das Carbonatverfahren die wichtigsten sind.

Bei der **Laugenverseifung** werden Fette mit Natron- oder Kalilauge in **Siedekesseln** (Abb. 64 und 65) durch Wasserdampf zum Sieden erhitzt und in Bewegung gehalten. Es bildet sich eine Seifenlösung, die außerdem Propantriol enthält:

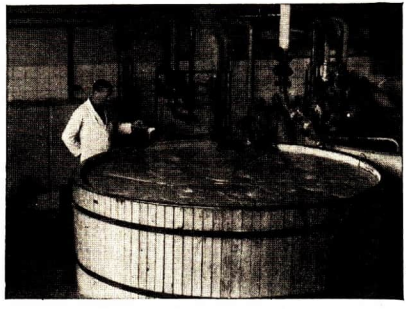


Abb. 64 Siedekessel zur Seifenherstellung im VEB Rosodont-Werk Waldheim

$$\begin{array}{l} CH_2 \cdot O \cdot OC \cdot C_{17}H_{35} \\ | \\ CH \cdot O \cdot OC \cdot C_{17}H_{35} \\ | \\ CH_2 \cdot O \cdot OC \cdot C_{15}H_{31} \end{array} + 3\,NaOH \rightarrow \begin{array}{l} CH_2 \cdot OH \\ | \\ CH \cdot OH \\ | \\ CH_2 \cdot OH \end{array} + \begin{array}{l} C_{17}H_{35} \cdot COONa \\ C_{17}H_{35} \cdot COONa \\ C_{15}H_{31} \cdot COONa \end{array}$$

Fett — Lauge — Propantriol — Seife

Beim **Carbonatverfahren** geht man von freien Carbonsäuren aus. Die als Ausgangsstoff dienenden Fette werden in einem besonderen Arbeitsgang zunächst durch Wasserdampf in Carbonsäuren und Propantriol gespalten. Das Propantriol läßt sich leicht abtrennen. Außer den durch Fettspaltung hergestellten Säuren werden in steigendem Maße beim Carbonatverfahren auch synthetische Carbonsäuren verwendet. Die zur Verarbeitung kommenden Carbonsäuregemische werden mit Natriumcarbonat zu Seife umgesetzt, zum Beispiel:

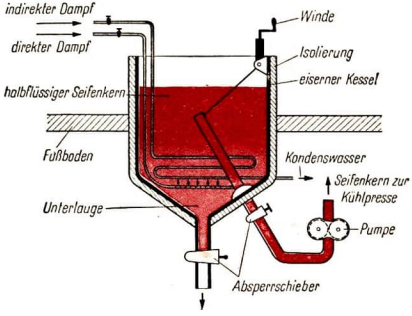


Abb. 65 Schematische Darstellung eines Siedekessels

$$2\,C_{17}H_{35} \cdot COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2\,C_{17}H_{35} \cdot COONa + CO_2 \uparrow + H_2O.$$

Fettsäure — Natriumcarbonat — Natriumstearat

Bei der technischen Durchführung des Carbonatverfahrens werden die Carbonsäuren geschmolzen und dann in siedende Natriumcarbonatlösung eingetragen. Unter starkem Aufschäumen entweicht Kohlendioxyd. Wenn die Reaktion beendet ist, wird Dampf durch die Flüssigkeit geblasen, um entstandenes Natriumhydrogencarbonat $NaHCO_3$ zu zersetzen. Gleichzeitig treibt der Dampf das restliche Kohlendioxyd aus dem Reaktionsgemisch. Werden Carbonsäuren 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 Carbonatverfahren.

Bei beiden 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.

Versuch 54: *In ein Becherglas (250 ml) geben wir 100 ml destilliertes Wasser, erhitzen es bis zum Sieden und lösen darin 7 g entwässertes Natriumcarbonat auf. Außerdem erhitzen wir in einer Porzellanschale 20 g technisches Carbonsäuregemisch auf etwa 110° C und lassen die geschmolzenen Carbonsäuren ganz langsam unter ständigem Rühren in die Natriumcarbonatlösung 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. 66), in denen er zu Seifenplatten erstarrt. Die Seifenplatten werden in besonderen Schneidevorrichtungen gegen straff gespannte Stahldrähte gepreßt und dadurch in Riegel und Stücke geschnitten (Abb. 67). Die Stücke durchlaufen eine **Trockenanlage** und werden dann geprägt. Damit ist die Herstellung der gewöhnlichen **Kernseife** (Waschseife) beendet.

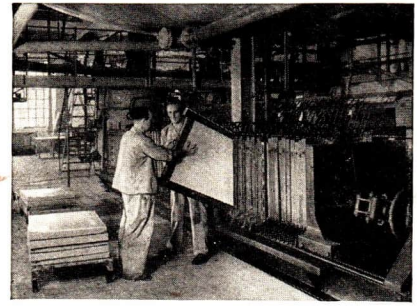


Abb. 66 Kühlpresse in der Konsum-Seifenfabrik Riesa

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 Duft- und Farbstoffen sowie anderen Zusätzen gemischt. Anschließend wird die Seifenmasse in der **Piliermaschine** (Abb. 68) 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. 69) zu einem Strang gepreßt, dann in gleich große Stücke geschnitten und in **Schlagpressen** (Abb. 70) zu verkaufsfertigen Stücken gepreßt.

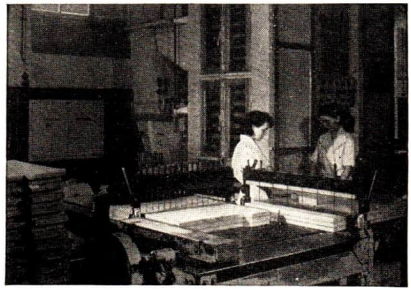


Abb. 67 Schneidevorrichtung für Seifenplatten im VEB Decenta-Werk Döbeln



Abb. 68 Piliermaschine im VEB Patina Seifen- und Parfümeriefabrik Halle

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).

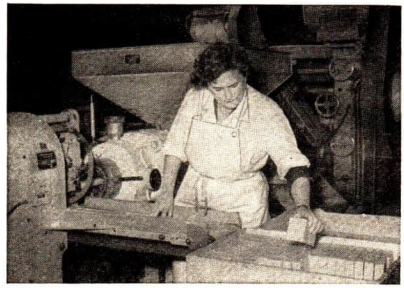


Abb. 69 Strangpresse im VEB (K) Steckenpferd Seifen- und Kosmetikwerk Radebeul

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 Trockensubstanz (Seife) fällt pulverförmig als **Seifenpulver** an. Seifenpulver besitzt eine sehr große Oberfläche und löst sich daher schnell im Wasser.

In Tabelle 8 sind die wichtigsten Seifenarten und ihre Kennzeichen zusammengestellt.

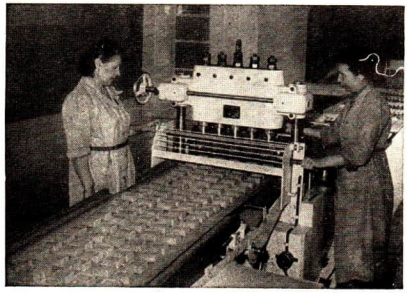


Abb. 70 Schlagpresse in der Konsum-Seifenfabrik Riesa

Tabelle 8. Einige Arten von Seifen

Name	Kennzeichen
Kernseifen	Erstarrter Seifenkern (durch Aussalzen hergestellt).
Leimseifen	Erstarrter Natriumseifenleim. Hoher Wassergehalt.
Schmierseifen	In Fässern abgefüllte, erkaltete Kaliumleimseifen.
Feinseifen (Toilettenseifen)	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:

Versuch 55: *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?

Versuch 56: *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 Alkalihydroxyden in wäßrigen Seifenlösungen ist eine Gleichgewichtsreaktion:

$$C_{17}H_{35} \cdot COONa + H_2O \rightleftarrows C_{17}H_{35} \cdot COOH + NaOH\,.$$

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.

Versuch 57: *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 Carbonsäuren ausgeschieden. Seifen sind säureempfindlich. Seifenlösungen können also nicht durch Zugabe von Säuren neutralisiert werden.

Von großer Bedeutung sind die Reaktionen von Seifenlösungen mit Calcium- und Magnesiumsalzen.

Versuch 58: *In drei Standzylinder geben wir je 50 ml 0,5%ige Seifenlösung. Die Lösung im ersten Zylinder versetzen wir mit 10 ml 10%iger Calciumchloridlösung, die Lösung im zweiten mit der gleichen Menge 10%iger Magnesiumchloridlösung.*
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 Calcium- und Magnesiumsalzen unlösliche Verbindungen, zum Beispiel:

$$\underset{\text{Natriumstearat (wasserlöslich)}}{2\ C_{17}H_{35} \cdot COONa} + CaCl_2 \rightarrow \underset{\text{Calciumstearat (in Wasser unlöslich)}}{(C_{17}H_{35} \cdot COO)_2Ca \downarrow} + 2\ NaCl$$

Durch diese Fällungen wird die Schaumkraft der Seifenlösungen zerstört. Außerdem besitzen die entstandenen (unlöslichen) Verbindungen keinerlei Waschwirkung.

Da mit Ausnahme des Regenwassers alle natürlichen Wässer Calcium- 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 Händewaschen, Baden und vor allem beim Wäschewaschen erhebliche Seifenverluste durch Bildung von unlöslichen Calcium- 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.

Versuch 59: *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, möglichst viel Schmutz aufnimmt und in der Schwebe hält.

Wir untersuchen, ob Seife diese Eigenschaften besitzt:

Versuch 60: *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?

Versuch 61: *Wir füllen ein Becherglas etwa 3 cm hoch mit Wasser, ein zweites mit der gleichen Menge Seifenlösung. Dann legen wir auf beide Flüssigkeiten vorsichtig zwei gleich große Stücke eines Textilgewebes, die die Gefäßwand nicht berühren dürfen.*
Beobachten Sie, welche Flüssigkeit das Gewebe schneller benetzt!

Versuch 62: *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!

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 dem vergangenen Jahre 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 Chemische Fabrik Buche	Bad Schmiedeberg
VEB Decenta-Werk	Döbeln/Sa.
VEB Fettchemie	Karl-Marx-Stadt
VEB Oderna Seifen- und Kerzenfabrik	Frankfurt (Oder)
VEB Patina Seifen- und Parfümeriefabrik	Halle (Saale)
VEB Rosodont-Werk	Waldheim/Sa.
VEB Rumbo-Seifenwerk	Freital/Sa.
VEB (K) Steckenpferd Seifen- und Kosmetikwerk	Radebeul/Sa.
VEB (K) Zeulenrodaer Seifenfabrik	Zeulenroda/Thüringen
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.** Für den Versand der Exporterzeugnisse dieses Werkes nach Übersee mußten bisher meist ausländische Schiffe verpflichtet werden. Das aber kostete Devisen. Für eine Überseefahrt mußten über 200000 DM Frachtgebühren in Devisen an ausländische Reedereien gezahlt werden. Die Werktätigen des VEB Steckenpferd stellten sich aus diesem Grunde die Aufgabe, zusätzliche Exportwaren zur Verfügung zu stellen. Für den Erlös sollte ein Handelsschiff für unsere eigene Handelsflotte angekauft werden.

Diese Selbstverpflichtung wurde von den Werktätigen in der ganzen Republik mit großer Begeisterung aufgenommen. Bis zum Ende des Jahres 1958 schlossen sich 1500 Betriebe der Steckenpferdbewegung an. Mit den auf diese Weise ermöglichten überplanmäßigen Exporten konnten 1958 nicht nur ein Frachtschiff, sondern eine ganze Flotte von 5 Schiffen angeschafft werden. Ein 10000-Tonnen-Frachtschiff dieser Flotte erhielt zu Ehren des Betriebes, von dem die Bewegung ausging, den Namen „Steckenpferd".

Von den Mitteln der Steckenpferdbewegung konnten allein im Jahre 1958 darüber hinaus größere Mengen hochwertiger technischer Bedarfsgüter, wie Personenkraftwagen, Motorräder, Fernsehgeräte, Rundfunkgeräte sowie Südfrüchte, Kakao und andere Produkte, eingekauft werden. Seit 1958 verpflichten sich in jedem Jahre zahlreiche Betriebe, Exportwaren zusätzlich im Rahmen der Steckenpferdbewegung zu liefern. Die Erfolge der Steckenpferdbewegung zeigen, mit welcher Kraft die Werktätigen unserer Republik an der Erfüllung unserer großen wirtschaftlichen Aufgaben arbeiten.

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 Calciumhydrogencarbonat $Ca(HCO_3)_2$, Magnesiumhydrogencarbonat $Mg(HCO_3)_2$ und Calciumsulfat $CaSO_4$, gelegentlich auch Eisen(II)-hydrogencarbonat $Fe(HCO_3)_2$ 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 Hydrogencarbonate. Diese Salze werden beim Sieden des Wassers als schwerlösliche Carbonate 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 Silicaten. 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 Calciumoxyd in einem Liter Wasser. Das heißt jedoch nicht, daß Calciumoxyd im Wasser gelöst ist. Man bestimmt durch Analysen die vorhandenen Härtebildner und rechnet die festgestellten Mengen von Calcium-, Magnesium- und anderen Salzen (Hydrogencarbonate, Sulfate, Chloride usw.) stöchiometrisch auf Calciumoxyd 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 Hydrogencarbonaten 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 gelöste 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 Calcium- und Magnesiumseifen, die nicht schäumen und keine Waschwirkung

besitzen. Abbildung 71 gibt über Seifenverluste bei verschiedener Härte des Wassers Aufschluß.

Die Herabsetzung und weitgehende Beseitigung der Wasserhärte ist eine der wichtigsten Aufgaben der Chemiker und Ingenieure in den 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. 72) und Büretten (Abb. 73). An der Bürette kann man unmittelbar die Gesamthärte in ° dH ablesen.

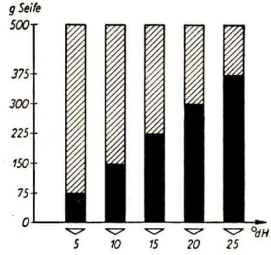


Abb. 71 Seifenverluste von 500 g Seife in 100 l Wasser bei verschiedener Härte

Versuch 63: *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.



Abb. 72 Schüttelzylinder zur Wasserhärtebestimmung nach Boutron und Boudet



Abb. 73 Bürette zur Wasserhärtebestimmung nach Boutron und Boudet

Bei hartem Wasser, das über 20° dH hat, wird die Bestimmung durch die ausgefällten Calcium- 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. Calciumhydroxyd und Natriumcarbonat) die Härtebildner ausfällt. Das am häufigsten angewendete Fällungsverfahren ist das **Kalk-Soda-Verfahren.** In der ersten Stufe des Verfahrens werden die Hydrogen-

carbonate, die die temporäre Härte des Wassers bilden, durch Zugabe von Calciumhydroxyd (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 Natriumcarbonat (Soda) beseitigt, zum Beispiel:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + Na_2SO_4.$$

Das Prinzip des Kalk-Soda-Verfahrens wird durch folgende Versuche veranschaulicht:

Versuch 64: *Wir geben einige ml Calciumhydrogencarbonatlösung in ein Reagenzglas und versetzen sie mit einer klaren Lösung von Calciumhydroxyd (Kalkwasser).*
Was beobachten Sie?

Versuch 65: *Wir geben zu einer gesättigten Lösung von Calciumsulfat etwas Natriumcarbonatlösung.*
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 Silicate, 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 Calcium- 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:

$$Ca^{++} + Na_2\text{-Wofatit} \rightarrow Ca\text{-Wofatit} + 2\,Na^+.$$

In der Industrie enthärtet man das Wasser gewöhnlich erst durch Zugabe von Kalkmilch auf etwa 10° dH und entfernt dann die Resthärte mit Permutit oder 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:

$$H_2\,SO_4 + (OH)_2 - \text{Wofatit} \rightarrow 2\,H_2O + SO_4 - \text{Wofatit}$$

Ist die Austauschfähigkeit der Ionenaustauscher erschöpft, so können diese leicht regeneriert werden. Zum Beispiel werden Kationenaustauscher wieder gebrauchsfähig, wenn man sie mit Natriumchloridlösung behandelt:

$$Ca - \text{Wofatit} + 2\,NaCl \rightarrow Na_2 - \text{Wofatit} + CaCl_2.$$

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 auch 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 Carbonsäuren verwendet, die man durch Paraffinoxydation oder Fettspaltung herstellt. Durch katalytische Hochdruckreduktion der Carbonsäuren erhält man bestimmte Alkanole. Diese Alkanole werden in ihre Schwefelsäureester umgewandelt, die man anschließend neutralisiert. Dabei entstehen Alkylsulfate.

Die Alkylsulfate werden in der Textilveredelung, in Wäschereien und im Haushalt verwendet. Sie kommen unter verschiedenen Namen (z. B. Fewa, Fit) in den Handel.

Die folgenden Versuche mit Fewa zeigen uns einige Eigenschaften der Alkylsulfate:

Versuch 66: *Wir lösen etwas Fewa in destilliertem warmem Wasser auf und untersuchen die Reaktion der wäßrigen Lösung mit Lackmus und Phenolphthalein.*
Wie reagiert eine Alkylsulfatlösung?

Versuch 67: *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 Calciumchloridlösung. Dann werden die drei Gläser verschlossen und kräftig in der Längsrichtung geschüttelt.*

Was beobachten Sie? Was können Sie aus dem Ergebnis des Versuches folgern?

Versuch 68: *Wir verbinden ein gebogenes Glasrohr, dessen kurzer Teil zu einer Kapillare ausgezogen ist, am langen Teil durch einen Schlauch mit einem kleinen Trichter (Abb. 74). 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 mit Hilfe eines Stativs das Rohr in einen großen Standzylinder, der mit Wasser von 35° C 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 geben wir eine klare Lösung von 10 g Fewa in 100 ml heißem destilliertem Wasser in einen zweiten Standzylinder und rühren um. 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.*

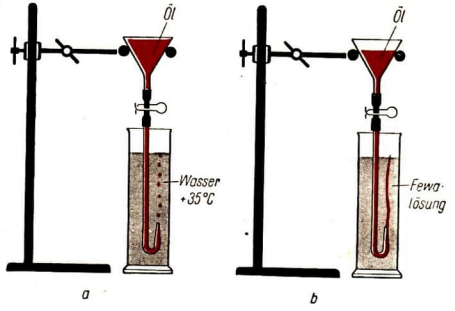


Abb. 74 Ausströmen von Öl in Wasser (a) und in Fewalösung (b)

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 Schwebe. Alkylsulfate sind aber auch säurebeständig und unempfindlich gegen hartes Wasser und Alkalichloride.

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, Duplex, 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 des Wassers voll wirksam werden, entfalten die Neutralwaschmittel (Feinwaschmittel) bereits in handwarmer Lösung, also unter 40° C ihr volles Waschver-

Tabelle 9. 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	
Filan	Spezialwaschmittel für PC-Faser (Vylanwäsche) auf Basis synthetischer Waschrohstoffe	
Fay	Schnellwaschmittel auf Basis neutraler Waschrohstoffe für Wolle, Dederon, Wolcrylon usw.	
Gentina	Kochwaschmittel für Weiß- und Buntwäsche auf Basis von Neutralwaschmitteln	VEB Waschmittelwerk Genthin
Duplex	wie Gentina, enthält jedoch die doppelte Menge waschaktiver Substanzen	
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	
Gemol rapid	Einweichmittel und Wasserenthärtungsmittel auf Basis von Natriumsilikat	
Imi	Abwasch-, Spül- und Reinigungsmittel auf Basis von Trinatriumphosphat	
Sil	Spülmittel für Wäsche auf Basis von Natriumsilikat mit Zusätzen von sauerstoffabspaltenden Verbindungen (Bleichmitteln)	
Ata fein	Scheuerpulver; enthält Quarzmehl mit Zusätzen von Netzmitteln und Alkali	

mögen. Sie eignen sich auf Grund ihrer Eigenschaften besonders für solche Textilwaren, die alkaliempfindlich sind oder die nicht heiß beziehungsweise kochend gewaschen werden dürfen, wie Wolle, Dederon (Perlon), Prelana, Wolcrylon, Lanon, Zellwollen und Kunstseiden. 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 Feinwasch-

mitteln haben ein auffallend großes Schaumvermögen. Beim Vermischen mit Seifenlösungen fällt der Schaum jedoch zusammen.

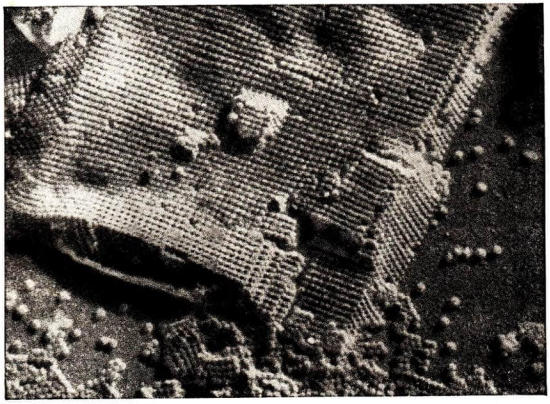
Für die Körperreinigung sind die modernen Neutralwaschmittel nicht geeignet, da sie infolge ihres großen Fettaufnahmevermögens die Haut zu stark entfetten würden.

Neutralwaschmittel (Feinwaschmittel) entfalten ihr volles Waschvermögen bereits in lauwarmen Lösungen und eignen sich daher vorzüglich zum Waschen empfindlicher Textilien.

In Tabelle 9 (Seite 125) sind einige bekannte Wasch- und Reinigungsmittel für den Haushalt zusammengestellt.

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 Kernseife mit 30% Wassergehalt erhält man aus 100 kg Octadecansäure (Stearinsäure)?*
7. *Welche Eigenschaften besitzen wäßrige Seifenlösungen?*
8. *Erläutern Sie, warum bestimmte Eigenschaften der Seife ungünstig sind!*
9. *Erklären Sie den Begriff „Härtebildner des Wassers"!*
10. *Was versteht man unter einem deutschen Härtegrad?*
11. *Erläutern Sie die Begriffe temporäre, permanente und Gesamthärte des Wassers!*
12. *Nennen Sie nachteilige Wirkungen des harten Wassers!*
13. *Erläutern Sie eine Methode, nach der die Gesamthärte des Wassers bestimmt werden kann!*
14. *Erklären Sie an Hand von Reaktionsgleichungen die Kalk-Soda-Enthärtung des Wassers!*
15. *Wie wird die Enthärtung des Wassers nach dem Ionenaustauschverfahren durchgeführt?*
16. *Nennen Sie wichtige Ionenaustauscher und beschreiben Sie deren Regenerierung!*
17. *Vergleichen Sie die Eigenschaften der wäßrigen Lösungen von Seifen und Feinwaschmitteln!*



Eiweißmoleküle eines Kristalls des Tabaknekrosevirus
unter dem Elektronenmikroskop

Die Eiweiße sind eine besonders wichtige Gruppe von organischen Verbindungen. Sie sind Bestandteil des Plasmas der pflanzlichen und tierischen Zellen. Alle Lebensvorgänge sind an Eiweiße gebunden. Menschlichem Forschergeist ist es gelungen, das Bauprinzip dieser kompliziert zusammengesetzten Stoffe aufzuklären und sogar Eiweißmoleküle unter dem Elektronenmikroskop sichtbar zu machen.

9. KAPITEL

Eiweiße

Aufbau und Eigenschaften der Eiweiße

1. Vorkommen und Zusammensetzung. Zu den wichtigsten stickstoffhaltigen organischen Verbindungen gehören die Eiweiße. Sie sind im Plasma aller pflanzlichen und tierischen Zellen als wichtigster Bestandteil enthalten. Eiweiße 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.

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

Die qualitative und ungefähre quantitative Zusammensetzung der Eiweiße geben 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 Verbindungen aufbauen, die **Aminosäuren** genannt werden. Dem deutschen Forscher EMIL FISCHER (Abb. 75) gelang es schließlich, aus dem komplizierten Gemisch, das bei der Eiweißspaltung entsteht, einzelne Aminosäuren zu isolieren. In der Folgezeit konnten etwa 27 verschiedene Aminosäuren als Bausteine der Eiweiße ermittelt werden.

2. Aminosäuren. Die Aminosäuren bilden eine Gruppe der Carbonsäurederivate. Sie enthalten als charakteristischen Bestandteil die **Aminogruppe** $-NH_2$. Je nach der Stellung dieser Gruppe im Rest der Carbonsäure unterscheidet man verschiedene Typen von Aminosäuren. In den Eiweißen sind solche Aminosäuren enthalten, bei denen die Aminogruppe an das der Carboxylgruppe benachbarte Kohlenstoffatom gebunden ist, zum Beispiel

$$\overset{3}{CH_3} \cdot \overset{2}{CH}(NH_2) \cdot \overset{1}{COOH}$$

2-Aminopropansäure

Dieses Kohlenstoffatom erhält die Ziffer 2. Deshalb nennt man die genannten Verbindungen **2-Aminosäuren** oder auch, nach der älteren Bezeichnungsart, **α-Aminosäuren.**

2-Aminosäuren sind die Bausteine der Eiweißstoffe.

In Tabelle 10 (Seite 129) sind einige wichtige 2-Aminosäuren und ihre Namen aufgeführt.

3. Die Polypeptide. Im Eiweißmolekül sind die Aminosäuren durch eine besondere Bindung miteinander verknüpft.

Reagiert die Aminogruppe eines Aminosäuremoleküls mit der Carboxylgruppe eines zweiten Aminosäuremoleküls unter Wasserabspaltung, so entsteht eine neue Verbindung: ein **Dipeptid,** zum Beispiel:

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

Man nennt diese Art der Bindung (—CO · NH—) **Peptidbindung** oder auch **Säureamidbindung.**

Tabelle 10. Einige wichtige 2-Aminosäuren

Formel	wissenschaftliche Bezeichnungen	ältere Bezeichnungen
$CH_2 \cdot COOH$ $\dot{N}H_2$	Aminoäthansäure	Glykokoll Glycin Aminoessigsäure
$CH_3 \cdot CH \cdot COOH$ $\dot{N}H_2$	2-Aminopropansäure	Alanin α-Aminopropionsäure
$CH_3 \cdot CH \cdot CH \cdot COOH$ $\dot{C}H_3\ \dot{N}H_2$	2-Amino-3-methyl-butansäure	Valin α-Amino-isovalerian-säure
$COOH$ $\dot{C}H_2$ $\dot{C}H_2$ $H_2N \cdot \dot{C}H$ $\dot{C}OOH$	2-Aminopentandisäure	Glutaminsäure α-Aminoglutarsäure

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.**

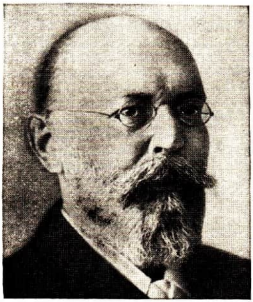


Abb. 75 Emil Fischer

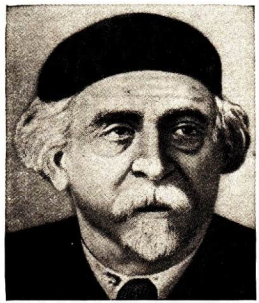


Abb. 76 Nikolai Dmitrijewitsch Selinski

Emil Fischer gelang es, ein Polypeptid aus 18 Aminosäuremolekülen aufzubauen. Da Fischer 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. 76) durchgeführt wurden, ergaben, daß außer Polypeptidketten auch cyclische Strukturen in den Eiweißen vorliegen müssen.

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:

Versuch 71: *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 stellen Sie fest?

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

Versuch 72: *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.

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).

Einteilung der Eiweiße

Nach ihrer Zusammensetzung teilt man die Eiweiße in zwei Hauptgruppen ein in die **einfachen Eiweiße** oder **Proteine** und die **zusammengesetzten Eiweiße** oder **Proteide.** Die Proteine bestehen nur aus 2-Aminosäuren. Die Proteide enthalten dagegen außer dem reinen Eiweißbestandteil noch andere chemische Verbindungen (z. B. Kohlenhydrate, Phosphorsäure), die mehr oder weniger fest mit dem Eiweißbestandteil verknüpft sind.

1. Einfache Eiweiße (Proteine). Die Proteine werden nach ihrem Verhalten gegenüber Wasser und Chemikalien in Gruppen eingeteilt:

[1]) xanthos (griech.) = gelb

Die **Albumine**[1]) sind in reinem Wasser gut löslich. Sie enthalten in verhältnismäßig großer Menge Schwefel und kristallisieren zum Teil gut. Wir finden Albumine zum Beispiel in der Milch (Lactalbumin), im Blut (Serumalbumin) und im Eiklar (Ovalbumin).

Die **Globuline** sind in reinem Wasser (im Gegensatz zu den Albuminen) unlöslich, jedoch gut löslich in verdünnten Salzlösungen. Zu den Globulinen gehören unter anderem das Lactoglobulin der Milch sowie die Pflanzenglobuline der Hülsenfrüchte.

Die **Skleroproteine**[2]) oder Gerüsteiweiße sind in Wasser und verdünnten Salzlösungen unlöslich und zeigen vor allem in der Kälte eine verhältnismäßig große Widerstandsfähigkeit gegen viele Chemikalien. Zu ihnen gehört das Keratin (Hornstoff), das den Hauptbestandteil der Haare, Wolle, Nägel, des Horns und der Epidermis bildet. Keratine sind reich an Schwefel und widerstandsfähig gegen verdünnte Säuren. Von verdünnten Laugen werden sie in der Kälte nur langsam angegriffen. Heiße Laugen lösen Keratine – wie alle Eiweißstoffe — rasch auf.

Da Schafwolle und andere Eiweißfasern unbeständig gegen Laugen sind, dürfen sie nicht mit basisch wirkenden Waschmitteln gereinigt werden. Selbst Seifenlösung schädigt diese Fasern.

2. Zusammengesetzte Eiweiße (Proteide). Zu den Proteiden, bei denen das Eiweiß mehr oder weniger fest mit Phosphorsäure, Nucleinsäuren[3]), Farbstoffen oder Kohlenhydraten und anderen Stoffen verbunden ist, zählen auch die Fermente. Die Proteide kommen in der Natur weit häufiger als die Proteine vor. Nach der Art der Stoffe, die mit den Eiweißen verknüpft sind, teilt man die Proteide in mehrere Untergruppen ein.

Phosphorproteide enthalten esterartig gebundene Phosphorsäure und sind in Wasser wenig, in Basen unter Salzbildung gut löslich. Die wichtigste Verbindung dieser Gruppe ist das Casein, das in der Kuhmilch als wasserlösliches Calciumsalz zu etwa 3% enthalten ist. Es wird durch Kochen nicht verändert, durch Säuren aber ausgefällt. Deshalb flockt Casein aus, wenn die Milch sauer wird.

Die **Nucleoproteide** bilden den Hauptbestandteil der Zellkerne, sie finden sich aber auch im Plasma der Tier- und Pflanzenzellen. Sie bestehen aus Eiweißen, die mit Nucleinsäuren verbunden sind, reagieren schwach sauer und lösen sich — ähnlich wie die Phosphorproteide — in Basen. Wichtige Vertreter dieser Gruppe sind eine Reihe von Virusarten, zum Beispiel das Tabakmosaikvirus.

Chromoproteide sind Verbindungen von Proteinen mit Farbstoffen. Hämoglobin ist das Chromoproteid des Wirbeltierblutes. Es enthält als Farbstoff eine Eisen(II)-verbindung, die als Häm bezeichnet wird.

Glykoproteide sind aus Eiweißen und Kohlenhydraten aufgebaut. Sie sind die am häufigsten vorkommenden Proteide. Zu ihnen gehören unter anderem die Schleimstoffe.

Die Eiweiße werden in zwei Hauptgruppen eingeteilt, die einfachen Eiweiße (Proteine) und die zusammengesetzten Eiweiße (Proteide).

[1]) albus (latein.) = weiß
[2]) sklerós (griech.) = hart
[3]) nucleus (latein.) = Kern

Der Eiweißstoffwechsel im Organismus

Bei den Lebensvorgängen werden ständig Eiweiße abgebaut und neue Eiweiße aufgebaut. Aber nur die Pflanzen bilden Eiweiß aus anorganischen Verbindungen. Menschen und Tiere nehmen Eiweiße pflanzlicher und tierischer Herkunft auf. In den Verdauungsorganen dieser Lebewesen werden die körperfremden Eiweiße durch fermentative Spaltung bis zu den einfachsten Bausteinen, den Aminosäuren, abgebaut. Die Aminosäuren werden von der Darmwand resorbiert und im Körper zu körpereigenen Proteinen und Proteiden umgewandelt.

Der menschliche Organismus benötigt zum Aufbau des körpereigenen Eiweißes eine Vielzahl von Aminosäuren. Nicht alle Aminosäuren besitzen aber den gleichen Wert für den Organismus. Das muß bei der Ernährung berücksichtigt werden. Eiweiße, die alle für den menschlichen Körper wichtigen Aminosäuren enthalten, bezeichnet man als **biologisch vollwertige Eiweiße.** Sie sind vor allem in unseren tierischen Nahrungsmitteln (Fleisch, Fisch, Eier, Milch) enthalten. Aber auch pflanzliche Nahrungsmittel (z. B. Erbsen, Bohnen, Linsen, Kartoffeln) enthalten vollwertiges Eiweiß.

Unsere tägliche Nahrung muß so zusammengesetzt sein, daß sie alle lebenswichtigen Eiweiße enthält. Es ist deshalb zweckmäßig, die Kost recht vielseitig und abwechslungsreich zu gestalten. Der tägliche Eiweißbedarf eines Erwachsenen beträgt bei mittelschwerer Beschäftigung etwa 70 g Eiweiß. Davon sollen etwa 30 g tierischen Nahrungsmitteln entstammen.

Eiweiße, die alle zum Aufbau des Organismus notwendigen Aminosäuren enthalten, nennt man biologisch vollwertige Eiweiße.

Wiederholungsfragen und Aufgaben:

1. *Welche Elemente sind in den Eiweißen enthalten?*
2. *Aus welchen Grundbausteinen sind die Eiweiße zusammengesetzt?*
3. *Erläutern Sie an einem Beispiel die Struktur der 2-Aminosäuren!*
4. *Stellen Sie durch eine Gleichung dar, wie die Aminosäuren in den Eiweißmolekülen miteinander verknüpft sind!*
5. *Nennen Sie wichtige Eigenschaften und Reaktionen der Eiweiße!*
6. *Welche erste Hilfe kann bei Metallsalzvergiftungen gegeben werden? Begründen Sie die Maßnahmen!*
7. *Geben Sie einen Überblick über die wichtigsten Arten der Eiweiße!*
8. *Erklären Sie den Begriff „biologisch vollwertiges Eiweiß"!*



Zuckerrübenernte auf den Feldern der LPG „Bördefrieden" Eichenbarleben

Saccharose, Stärke und Cellulose sind Verbindungen aus der Gruppe der Kohlenhydrate. Saccharose ist unser wichtiges Nahrungsmittel Zucker und wird bei uns aus dem Saft der Zuckerrüben gewonnen. Zuckerrüben gehören daher zu den wertvollsten landwirtschaftlichen Produkten. In unseren landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften und volkseigenen Gütern wird die Zuckerrübenernte mit modernen Vollerntemaschinen durchgeführt.

10. KAPITEL

Kohlenhydrate

Allgemeines über Kohlenhydrate

Die Kohlenhydrate sind eine große Gruppe von organischen Naturstoffen, zu der sehr wichtige Verbindungen, wie die verschiedenen Zuckerarten, die Stärke und die Cellulose, gehören. Alle Kohlenhydrate 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 (Hydrate) mit Kohlenstoff auf und gab ihnen den Namen Kohlenhydrate. Spätere Untersuchungen haben aber gezeigt, daß diese Annahme falsch ist und daß die Kohlenhydrate einen besonderen Molekülbau besitzen.

1. Glucose (Traubenzucker). Glucose $C_6H_{12}O_6$ kommt in den meisten süßen Früchten und in anderen Pflanzenteilen, ferner im Blut und im Honig vor. Glucose ist ferner der Grundbaustein hochmolekularer Kohlenhydrate, so zum Beispiel der Stärke und der Cellulose.

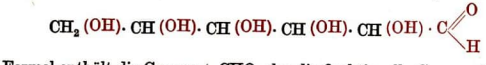
Wir stellen einige Eigenschaften der Glucose durch Versuche fest:

Versuch 73: *In ein Reagenzglas geben wir 5 g Glucose und 10 ml Wasser, in ein zweites Glas 1 g Glucose und 10 ml Äthanol und schütteln.*
Was beobachten Sie?

Versuch 74: *Einige Milliliter einer ammoniakalischen Silbersalzlösung (hergestellt wie bei Versuch 29) geben wir in ein sorgfältig gereinigtes Reagenzglas, fügen etwas Natronlauge und einige Milliliter 10%iger Glucoselösung 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?

Versuch 75: *Wir mischen gleiche Teile Fehlingscher Lösung I und II (zusammen etwa 4 ml), so daß eine klare, tiefblaue Lösung entsteht, fügen 2 ml 10%ige Glucoselösung hinzu und erhitzen zum Sieden.*
Was stellen Sie fest?
Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie aus den Versuchen 74 und 75?

Glucose ist ein weißes, geruchloses, süß schmeckendes Pulver, das sich leicht in Wasser, aber nur wenig in Äthanol löst. Die Versuche 74 und 75 zeigen, daß Glucose reduzierend wirkt. Dieses Verhalten steht im Einklang mit der Strukturformel, die bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts für die Glucose aufgestellt wurde:



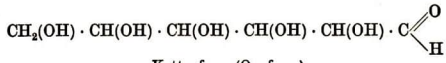
Die Formel enthält die Gruppe —CHO, also die funktionelle Gruppe der Alkanale. Wir haben bei Methanal und Äthanal ebenfalls Reduktionswirkung festgestellt, aber auch erkannt, daß diese Reaktion allein noch nicht die Anwesenheit der Gruppe —CHO beweist. Als spezieller Nachweis für Alkanale kann die Reaktion mit fuchsinschwefliger Säure (Schiffs Reagenz) dienen.

Versuch 76: *5 ml fuchsinschweflige Säure füllen wir in ein Reagenzglas, geben 1 ml 10%ige Glucoselösung dazu und schütteln.*
Was stellen Sie fest?

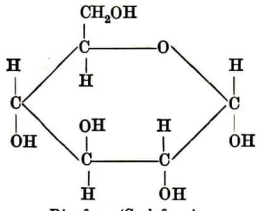
Der negative Ausfall der Farbreaktion und noch andere Eigenschaften der Glucose lassen darauf schließen, daß im Bau der Glucosemoleküle Besonderheiten vorliegen müssen.

Zur eindeutigen Bestimmung der Zusammensetzung und des Aufbaues einer Verbindung müssen mehrere Reaktionen durchgeführt werden. Eine Probe allein kann zu Fehlschlüssen führen.

Durch eingehende Untersuchungen haben die Chemiker festgestellt, daß es verschiedene Molekülformen der Glucose gibt, kettenförmige und ringförmige Glucosemoleküle:



Kettenform (Oxoform)



Ringform (Cycloform)

Die Umwandlung der Ketten- in die Ringform und umgekehrt erfolgt sehr leicht. In einer wäßrigen Glucoselösung liegt ein Gleichgewicht zwischen den Formen vor, das sehr stark nach der Seite der Ringform verschoben ist:

Kettenform ⇄ Ringform.

Damit wird auch das Verhalten von Glucose 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 Glucoselösung enthält meistens ringförmige Moleküle, die ebenso wie die Alkanale (jedoch aus anderen Gründen) reduzierend wirken; dieser Umstand erklärt die Ergebnisse von Versuch 74 und Versuch 75.

Glucose kommt in Ketten- und in Ringform vor.

Glucose 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 Glucose umwandeln. Die fermentative Spaltung der Stärke wird auch industriell durchgeführt. Man erhält dabei Zuckerlösungen, die meist zu Äthanol vergoren werden. Auch die Cellulose des Holzes kann durch Einwirkung von Schwefelsäure oder Salzsäure zu Glucose abgebaut werden (Holzverzuckerung). Die industriell aus Stärke hergestellte Glucose wird als Stärkezucker, in reiner Form als **Dextrose** oder **Dextropur** bezeichnet. Glucose kommt auch als dickflüssiger, meist farbloser **Stärkesirup** in den Handel. Glucose 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 Glucose dienen auch zur Herstellung von Zuckerfarbe. Durch Erhitzen auf 210° C erhält man aus Glucose eine schwarzbraune Masse, die bitter schmeckt und zum Färben von Bier, Essig, Tunken und anderem benutzt wird.

Versuch 77: *Wir erhitzen etwas Glucose 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.

Glucose (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. Fructose (Fruchtzucker). Fructose $C_6H_{12}O_6$ hat die gleiche Summenformel wie Glucose, aber einen anderen Molekülaufbau:

$$CH_2(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CO \cdot CH_2OH\,.$$

Fructose kommt fast immer neben Glucose in den meisten süßen Früchten und im Honig vor. Sie ist ein weißes, süß schmeckendes Pulver, das sich leicht in Wasser löst. Sie reduziert Fehlingsche Lösung oder ammoniakalische Silbersalzlösung und läßt sich, ebenso wie Glucose, durch Hefe zu Äthanol vergären. Der menschliche Organismus verwertet Fructose in der gleichen Weise wie Glucose.

Fructose (Fruchtzucker) $C_6H_{12}O_6$ besitzt ähnliche Eigenschaften wie Glucose. Fructose und Glucose kommen fast immer gemeinsam in Früchten und anderen Pflanzenteilen vor.

3. Saccharose (Rohrzucker). Saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$ ist als der „Zucker" des Haushalts bekannt. Sie ist im Pflanzenreich sehr verbreitet. Saccharose 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 Saccharose oder das Gewinnungsverfahren näher zu kennzeichnen.

Saccharose bildet entweder große farblose Kristalle, den **Kandiszucker**, oder ein weißes kristallines Pulver. Wir stellen einige Eigenschaften der Saccharose durch Versuche fest:

Versuch 78: *Wir geben 5 g Saccharose in ein Reagenzglas, gießen 5 ml Wasser dazu und schütteln. In ein zweites Glas geben wir 1 g Saccharose und 5 ml Äthanol.*
Welche Löslichkeiten beobachten Sie?

Versuch 79: *Wir geben etwas Saccharose 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!*

Versuch 80: *Wir mischen gleiche Teile Fehling I und II (zusammen etwa 4 ml) und setzen der entstandenen tiefblauen Flüssigkeit 1 ml 10%ige Saccharoselösung hinzu. Dann erhitzen wir zum Sieden.*
Was beobachten Sie?
Vergleichen Sie das Ergebnis dieses Versuches mit dem von Versuch 75!

Saccharose ist sehr leicht in Wasser, jedoch nur wenig in Äthanol löslich. Sie schmeckt sehr süß, viel süßer als Glucose oder Fructose. Ihre wäßrigen Lösungen reduzieren Fehlingsche Lösung nicht und zeigen auch sonst vielfach andere Reaktionen als Glucose und Fructose. Beim vorsichtigen Erhitzen bildet Saccharose eine braune, angenehm schmeckende Masse, den **Karamelzucker.**

Saccharose dient in erster Linie zur Ernährung, daneben werden kleinere Mengen als Ausgangsstoff für chemische Prozesse, in der Tabakindustrie und zu anderen Zwecken verwendet.

Versuch 81: *In ein Reagenzglas geben wir 5 ml 10%ige Saccharoselösung, 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 nach Versuch 80 durch.*
Was stellen Sie fest?

Saccharose wird durch verdünnte Säuren in einfacher gebaute Zucker zerlegt. Durch genaue Untersuchungen wurde ermittelt, daß ein Molekül Saccharose beim Sieden mit stark verdünnten Säuren unter gleichzeitiger Wasseraufnahme in ein Molekül Glucose und ein Molekül Fructose zerlegt wird:

$$\underset{\text{Saccharose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \rightarrow \underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fructose}}{C_6H_{12}O_6}\,.$$

Da die entstandenen Spaltprodukte Glucose und Fructose reduzierend wirken, konnten wir bei Versuch 81 die Bildung eines roten Niederschlages beobachten.

Die Spaltung von Saccharose durch Säuren wird auch industriell durchgeführt. Man stellt durch Auflösen von Saccharose 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 Glucose und Fructose (zusammen 80%) und etwa 20% Wasser. Es kommt unter der Bezeichnung **Kunsthonig** als hochwertiges Nahrungsmittel in den Handel.

Kunsthonig wird durch Spaltung von Saccharose mit Hilfe von Säuren hergestellt. Er enthält hauptsächlich Glucose, Fructose und Wasser.

Kunsthonig dient als Nahrungsmittel und wird ferner in der Gärungsindustrie als Zusatz zu zuckerarmen Mosten verwendet.

Saccharose (Rohrzucker, Rübenzucker) $C_{12}H_{22}O_{11}$ 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 vollautomatisch, zum Beispiel durch Kippen der Eisenbahnwaggons (Abb. 77), durch Herunterspülen von Lastkraftwagen durch einen 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.

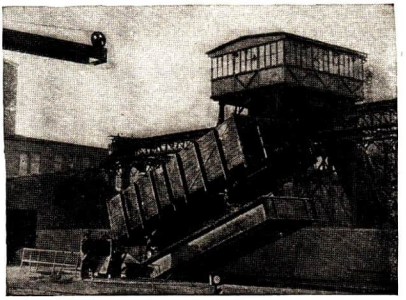


Abb. 77 Entladevorrichtung für Waggons im VEB Zuckerfabrik Delitzsch

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 m^3 Inhalt, die **Diffuseure,** gefüllt (Abb. 78) und mit heißem Wasser ausgelaugt. Beim Auslaugen diffundiert der Zucker 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.

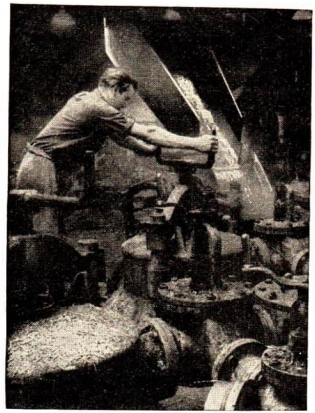


Abb. 78
Beschickung von Diffuseuren im VEB Zuckerfabrik Kleinwanzleben

Neuerdings hat man in den Zuckerfabriken anstelle der Diffusionsbatterien kontinuierlich arbeitende Apparate eingeführt. Der VEB Zuckerfabrik Delitzsch, der 1955 seine Arbeit aufnahm und der modernste Betrieb dieser Art in der Deutschen Demokratischen Republik ist, ist mit sogenannten **Heckapparaten** ausgerüstet. Diese Anlage besteht aus einer Reihe von je 25 m langen Doppeltrögen, die in Kammern eingeteilt sind; in ihnen befinden sich die Rübenschnitzel, denen der Zucker durch Berieselung entzogen wird.

Das Auslaugen der Rübenschnitzel geschieht in Diffusionsbatterien oder in kontinuierlich arbeitenden Heckapparaten bei 80° C. Die ausgelaugten Schnitzel dienen als Viehfutter.

3. Saftreinigung. Der noch sehr verdünnte Rohsaft (15% Zucker), der die Diffusionsbatterie oder die Heckapparate 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 Saccharose. Die Säuren (zum Beispiel Phosphorsäure und Äthandisäure) spalten den Zucker beim Sieden in Glucose und Fructose, die weniger süß schmecken und außerdem schlecht kristallisieren. Deshalb müssen Eiweiße und Säuren aus dem Rohsaft entfernt werden.

Zu diesem Zwecke wird dem Rohsaft Calciumoxyd (Branntkalk) oder Calciumhydroxyd (in Form von Kalkmilch) zugesetzt. Die Säuren reagieren mit dem Calciumhydroxyd unter Bildung schwerlöslicher Salze (zum Beispiel Calciumphosphat,

Calciumoxalat). Durch die nun basische Reaktion des Saftes treten weder Gärung noch Spaltung der Saccharose ein. Außerdem gerinnen die Eiweiße und werden dadurch ausgefällt. Die Behandlung des Rohsaftes mit Calciumoxyd beziehungsweise Calciumhydroxyd wird als **Scheidung** bezeichnet.

Da mit einem Überschuß von Calciumoxyd beziehungsweise Calciumhydroxyd gearbeitet wird, bilden sich Verbindungen des Calciums mit Saccharose, sogenannte Calciumsaccharate. Diese Saccharate würden die Ausbeute an Zucker verringern. Deshalb leitet man anschließend Kohlendioxyd in die heiße Lösung und fällt das Calcium aus den Saccharaten und dem überschüssigen Calciumhydroxyd als Carbonat aus. Die Ausfällung des Calciums aus den Saccharaten mit Kohlendioxyd nennt man **Saturation.**

In der Scheidung werden aus dem Rohsaft durch Calciumoxyd oder Calciumhydroxyd störende Verunreinigungen ausgefällt. Die Saturation bezweckt die Zerlegung der in der Scheidung entstandenen Calciumsaccharate und die Entfernung des überschüssigen Calciumhydroxyds.

Der große Bedarf an Branntkalk beziehungsweise Löschkalk und Kohlendioxyd 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 Saccharoselösung 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** oder **Trommelfiltern** filtriert. Der mit Schlamm angereicherte Saft läuft in einen Trog, in dem ein Rührwerk das Absetzen des Schlammes verhindert. In den Schlammsaft taucht eine sich drehende 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 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. 79),

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° C, 90° C, 76° C 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 80 verdeutlicht. Die Kessel werden indirekt durch eine Heizvorrichtung mit Dampf beheizt. Zur Heizung des Kessels 1 dient Frischdampf oder Abdampf vom Vorkocher. Die Kessel 2 und 3 werden jeweils mit dem Abdampf des vorhergehenden Kessels beheizt.

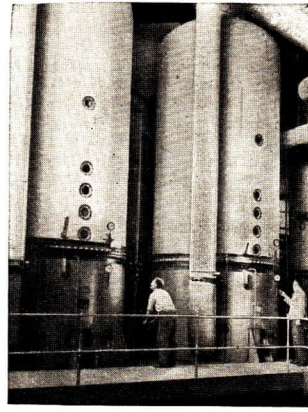


Abb. 79 Verdampferstation im VEB Zuckerfabrik Walschleben

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 m^3 Wasser verdampfen muß, bedeutet die Stufenverdampfung eine große Einsparung an Brennstoffen.

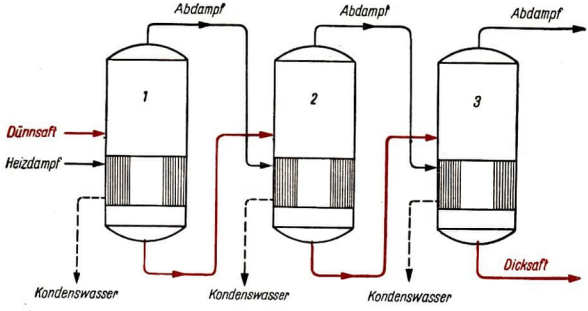


Abb. 80 Schematische Darstellung einer Verdampferstation

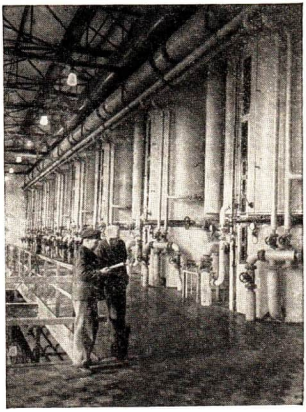


Abb. 81 Verkocherstation im VEB Zuckerfabrik Delitzsch

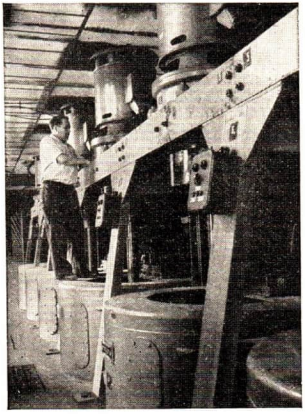


Abb. 82 Zentrifugenstation im VEB Zuckerraffinerie „Hermann Danz" Magdeburg

Die Zuckerlösung verläßt den letzten Verdampfer als klarer, hellbrauner Dicksaft, der in einem besonderen Kessel, dem **Verkocher** (Abb. 81), 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.**

Das Eindampfen des Dünnsaftes über Dicksaft zur Füllmasse geschieht in drei Stufen: Vorkochen, Verdampfen und Verkochen.

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 Saccharose stattfindet. Die Kristalle werden in **Zentrifugen** (Abb. 82) 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 entweder durch Gärung auf Hefe, Äthanol oder andere Stoffe verarbeitet oder zur Herstellung von Mischfuttermitteln verwendet.

Aus 100 kg Frischrüben erhält man 15 bis 16 kg Rohzucker mit bis zu 97% Saccharose und 1,5 bis 2,5 kg Melasse.

Abbildung 83 (Seite 144) gibt einen Gesamtüberblick über die Rohzuckergewinnung.

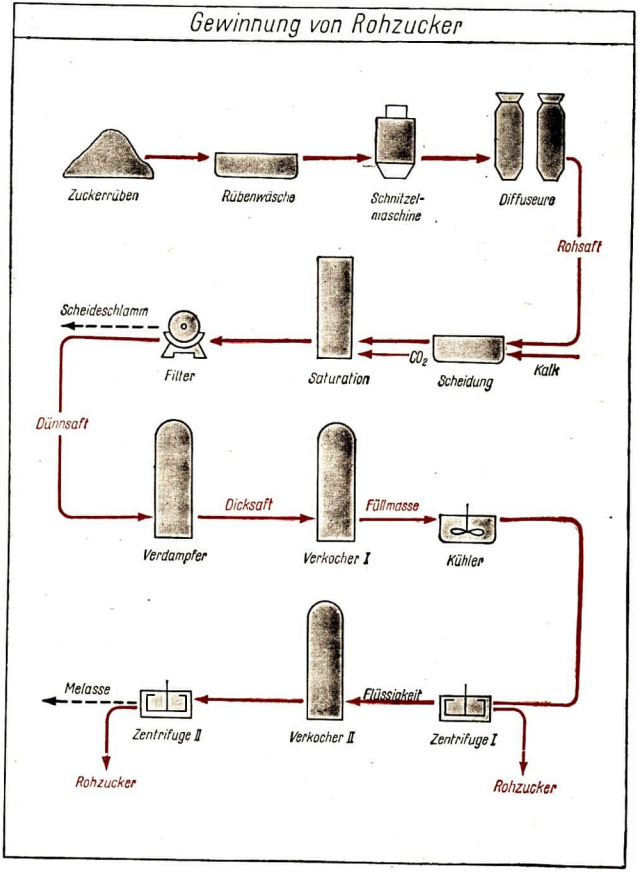


Abb. 83 Schematische Darstellung der Rohzuckergewinnung

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 Saccharosegehalt von über 99% Saccharose.

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 Kohlendioxyd 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.**

Versuch 82: *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.

Versuch 83: *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).*

Versuch 84: *Etwa 1 ml des bei Versuch 83 erhaltenen Stärkekleisters verdünnen wir mit Wasser auf 50 ml. Zu einigen Millilitern dieser Lösung geben wir einige Tropfen Jod-Kaliumjodid-Lösung.*
Was beobachten Sie?
Wir erhitzen die Lösung nach der Zugabe von Jod-Kaliumjodid kurz und lassen wieder abkühlen.
Was stellen Sie fest?

Versuch 85: *Wir mischen gleiche Teile Fehlingscher Lösung 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 geschmacksfreies 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.

Versuch 86: *Wir geben 30 ml Stärkekleister in ein kleines Becherglas, versetzen sie 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 85.*
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.

Versuch 87: *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 Glucose als Endprodukt entsteht:

$$\underset{\text{Stärke}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + n\,H_2O \rightarrow \underset{\text{Glucose}}{n\,C_6H_{12}O_6}$$

Diese Umwandlung ist eine Zerlegung der Stärkemoleküle unter Wasseraufnahme. Mit Hilfe dieser Reaktion wird in der Industrie Glucose 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 Glucose umgewandelt. So werden zum Beispiel in den „Augen" der Kartoffelknollen stärkeabbauende Enzyme gebildet, durch deren Wirkung während der Lagerung aus Stärke langsam Glucose entsteht. Diese Glucose 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% des Kartoffelgewichtes. 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 Glucose. Der süße Geschmack verschwindet.

Die Stärkemoleküle sind sehr groß. Es sind viele Gruppen $-C_6H_{10}O_5-$ 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 Glucosemolekülen abgebaut.

Stärke wird durch Sieden mit verdünnten Säuren oder durch bestimmte Enzyme unter Wasseraufnahme zu Glucose 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 abfließende 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.

Versuch 88: *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 (Glucose), Klebstoffen, medizinischen Präparaten und Pudern. Sie wird ferner zum Steifen von Wäsche, in der Textil-

industrie 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.

Cellulose

Beim Assimilationsprozeß der Pflanzen entsteht neben anderen Stoffen auch das wichtige Kohlenhydrat **Cellulose,** das die Bruttoformel $(C_6H_{10}O_5)_n$ aufweist. Die Zahl der Bausteine $-C_6H_{10}O_5-$, die zu einem Cellulosemolekül verbunden sind, beträgt in einigen Fällen bis zu 4000. Cellulosemoleküle sind Makromoleküle. Zwischen Stärke und Cellulose bestehen im Molekülbau erhebliche Unterschiede.

Cellulose bildet die **Gerüstsubstanz** der meisten Pflanzen. Besonders reich an Cellulose sind pflanzliche Gespinstfasern. Baumwolle ist nach Abtrennung aller Verunreinigungen fast reine Cellulose, aber auch bei Flachs, Hanf, Jute und anderen Pflanzenfasern bildet dieses Kohlenhydrat den Hauptbestandteil. Von großer Bedeutung ist die im Holz enthaltene Cellulose, die etwa 50% der wasserfreien Substanz des Holzes ausmacht.

Cellulose hat die Bruttoformel $(C_6H_{10}O_5)_n$. Sie bildet den Hauptbestandteil der pflanzlichen Gespinstfasern und des Holzes.

Wir untersuchen einige Eigenschaften der Cellulose.

Versuch 89: *Wir geben Cellulose (Watte, Filterpapier) in ein Reagenzglas, gießen Wasser dazu und erhitzen zum Sieden.*
Welche Löslichkeit stellen Sie fest?

Versuch 90: *In ein Reagenzglas gießen wir gleiche Teile Fehlingscher Lösung I und II, geben Cellulose hinzu und erhitzen zum Sieden.*
Was können Sie aus Ihrer Beobachtung schließen?

Versuch 91: *Wir übergießen Cellulose mit Wasser und fügen etwas Jod-Kaliumjodid-Lösung hinzu.*
Was können Sie aus Ihrer Beobachtung schließen?

Versuch 92: *Wir stellen uns Chlorzinkjodlösung her, indem wir 30 g wasserfreies Zinkchlorid, 5 g Kaliumjodid und 1 g Jod in 14 ml Wasser auflösen. Dieses Reagenz tropfen wir auf Cellulose.*
Was beobachten Sie?

Versuch 93: *Wir verreiben 0,2 g Cellulose 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!). Einen Teil der Flüssigkeit versetzen wir mit Fehlingscher Lösung und lassen wieder einige Minuten sieden.*
Was beobachten Sie?

Cellulose ist ein geruchloser und geschmacksfreier weißer, fester Stoff, der sogar in siedendem Wasser unlöslich ist. Mit Jodlösungen gibt Cellulose keine Blaufärbung, eine solche tritt nur mit Chlorzinkjodlösung auf. Chlorzinkjodlösung dient daher als Nachweismittel für Cellulose. Cellulose kann durch eine kombinierte Behandlung von konzentrierten und verdünnten anorganischen Säuren zu Glucose abgebaut werden.

Gegen verdünnte Laugen ist Cellulose beständig. Sie wird selbst von siedenden Laugen schwacher Konzentration in Abwesenheit von Sauerstoff nicht angegriffen. Textilgewebe aus Cellulose (zum Beispiel Baumwolle) können demnach mit basisch wirkenden Lösungen von Seife oder Natriumcarbonat gewaschen und sogar zum Sieden erhitzt werden.

Cellulose wird von siedenden Laugen schwacher Konzentration nicht angegriffen, dagegen durch eine kombinierte Behandlung mit konzentrierten und verdünnten anorganischen Säuren zu Glucose abgebaut.

Das Cellulosemolekül enthält eine große Anzahl von Hydroxylgruppen und reagiert deshalb mit konzentrierten, wasserfreien Säuren unter Esterbildung. Von technischer Bedeutung sind die Ester der Cellulose mit Salpetersäure und Äthansäure sowie die Cellulosexanthogenate. Die Salpetersäureester der Cellulose dienen zur Herstellung von Explosivstoffen und des Werkstoffs Celluloid. Die Äthansäureester der Cellulose werden zu hochwertigen Textilfasern (Acetatseide, Acetatzellwolle) und Plasten verarbeitet. Die Cellulosexanthogenate sind Salze einer besonderen Gruppe von Celluloseestern. Sie haben als Zwischenprodukte bei der Herstellung von Viscosekunstseide und -zellwolle große Bedeutung.

Celluloseester dienen zur Herstellung von Explosivstoffen, Plasten, Kunstseiden und Zellwollen.

Zellstoff

Zellstoff besteht aus fast reiner Cellulose. Er wird vor allem aus Holz, Schilf oder Stroh nach verschiedenen Verfahren hergestellt.

1. Herstellung nach dem Sulfitverfahren. Die größte Bedeutung für die Zellstoffherstellung 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 Cellulose durch Kochen mit einer **Kochsäure** entfernt werden. Die Kochsäure (in der Industrie fälschlich als „Kochlauge" bezeichnet) besteht aus einer Calciumhydrogensulfit-Lösung, die überschüssiges Schwefeldioxyd enthält. Zu ihrer Herstellung röstet man sulfidische Erze (z. B. Pyrit) ab oder verbrennt schwefelhaltige Gasreinigungsmasse unter ausreichender Luftzufuhr. Das entstehende Schwefeldioxyd 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 Calciumhydrogensulfit umgesetzt:

$$CaCO_3 + 2\ SO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HSO_3)_2 + CO_2\uparrow$$

Die entstandene Lösung wird in Vorratsbehälter gepumpt und dort mit weiterem Schwefeldioxyd 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 (Abb. 84) in große, stehende Kessel, die **Kocher** (Abb. 85). 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. 86).

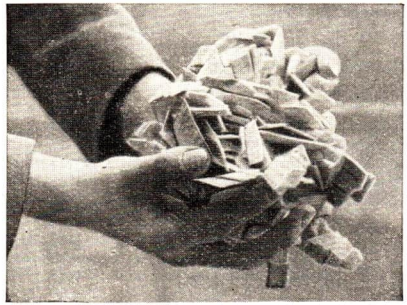


Abb. 84 Hackschnitzel

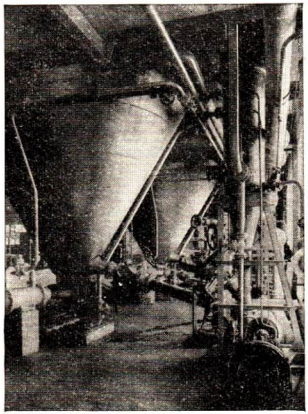


Abb. 85 Unterteil eines Zellstoffkochers im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen

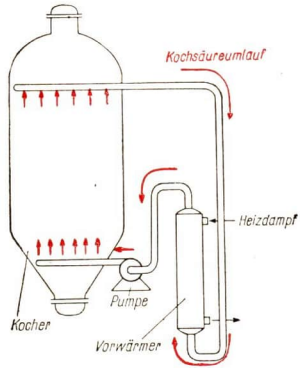


Abb. 86 Schematische Darstellung eines Zellstoffkochers

Die Dauer des Kochprozesses sowie die anzuwendenden Drücke und Temperaturen sind je nach 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 Schwefeldioxyd enthalten, ab, kühlt sie und verwendet sie wieder zur Herstellung von Kochsäure. Dann wird die unwirksam gewordene 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 in **Entwässerungsmaschinen** (Abb. 87) getrocknet. Am Ende des Prozesses liegt Zellstoff in Form dicker Pappen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 7 bis 15% vor. Die Pappen werden in Rollen oder zu Platten zerschnitten zur Weiterverarbeitung abtransportiert.

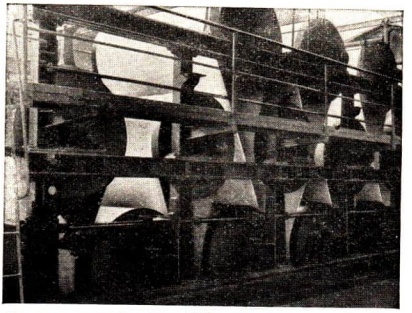


Abb. 87 Teilansicht einer Zellstoff-Entwässerungsmaschine im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen

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 Äthanol („Sulfitsprit") vergoren wird. Auch zur Erzeugung von Hefe wird der Zuckergehalt ausgenutzt. 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 Sulfitzellstoffherstellung fließt ungenutzt in Flüsse und Seen.

2. Herstellung nach dem Sulfatverfahren. Nach diesem Verfahren werden Holz, auch das sehr harzreiche Kiefernholz, und Stroh verarbeitet. Die zerkleinerten Rohstoffe werden in eisernen Kesseln mit basischen Lösungen mehrere Stunden unter Druck gekocht, 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 Calciumhydrogensulfitlösung oder mit Laugen gewonnen.

3. Verwendung. Zellstoff hat für unsere Republik große wirtschaftliche Bedeutung. Er ist ein wichtiges Halbfabrikat. Etwa ein Drittel unserer Zellstoffproduktion dient

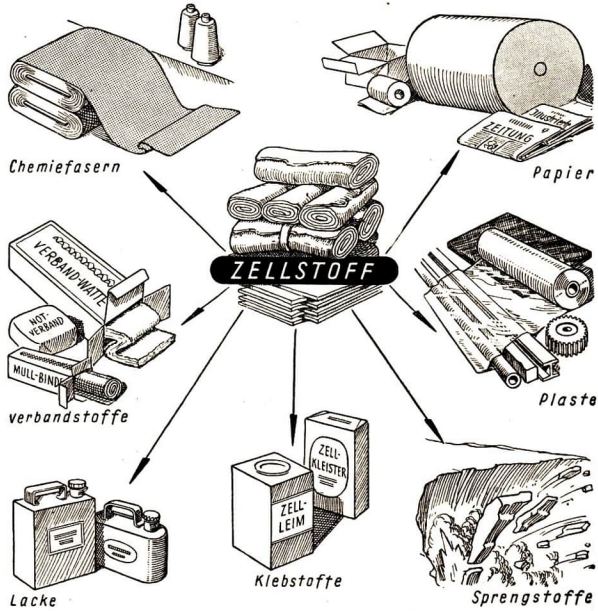


Abb. 88 Verwendung von Zellstoff

zur Herstellung von Kunstseiden und Zellwollen. Beträchtliche Mengen werden auch für die Papierfabrikation benötigt. Zellstoff dient ferner als Verbandmaterial und zur Erzeugung von Folien, Plasten, Kleb- und Appreturmitteln, Explosivstoffen und vielen anderen Produkten. In Abbildung 88 sind die wichtigsten Verwendungszwecke des Zellstoffs zusammengestellt.

Die Produktion von Zellstoff in unserer Republik wurde in den letzten Jahren erheblich gesteigert (Abb. 89). Wichtige Zellstoffwerke sind zum Beispiel der VEB Zellstoffwerk Pirna, der

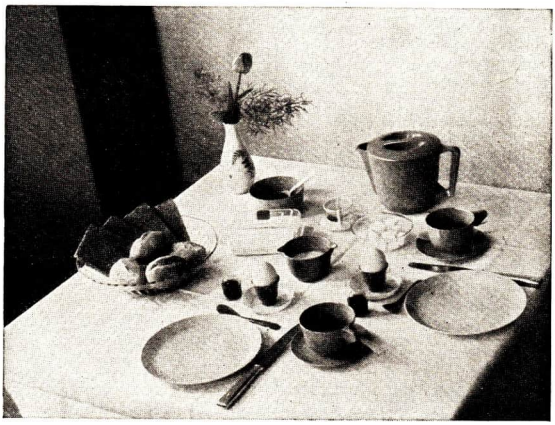


Abb. 89
Entwicklung der Zellstoffproduktion in der Deutschen Demokratischen Republik

VEB Filmfabrik Agfa Wolfen, der VEB Zellstoff- und Papierfabrik Crossen und der VEB Zellstoff- und Zellwollewerke Wittenberge. Der VEB Zellstoffwerk Pirna wird gegenwärtig durch den Neubau einer modernen Kocherei erweitert, die über die größten Zellstoffkocher der Deutschen Demokratischen Republik verfügen wird.

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 Glucose!*
3. *Welche Eigenschaften besitzen Glucose und Fructose?*
4. *Warum reagiert eine 10%ige Glucoselösung nicht mit Schiffs Reagenz?*
5. *Erläutern Sie die chemischen Grundlagen der Glucoseherstellung aus Stärke!*
6. *Wozu wird Glucose verwendet?*
7. *Nennen Sie Formel und Eigenschaften der Saccharose!*
8. *Erläutern Sie die Herstellung von Kunsthonig!*
9. *Schildern Sie die Vorbereitungsarbeiten in der Zuckerfabrik bis zum Schnitzeln der Rüben!*
10. *Begründen Sie die Notwendigkeit der Rohsaftreinigung!*
11. *Erläutern Sie die Durchführung von Scheidung und Saturation!*
12. *Schildern Sie die Arbeitsgänge, die sich an die Herstellung des Dicksaftes anschließen!*
13. *Wie wird das Raffinieren des Rohzuckers durchgeführt?*
14. *Nennen Sie die wichtigsten Apparate der Zuckergewinnung!*
15. *Nennen Sie wichtige Eigenschaften der Stärke!*
16. *Wie wird die industrielle Gewinnung von Kartoffelstärke durchgeführt?*
17. *Wozu wird Stärke verwendet?*
18. *Nennen Sie wichtige Vorkommen von Cellulose!*
19. *Vergleichen Sie die Eigenschaften von Stärke und Cellulose!*
20. *Wozu wird Cellulose verwendet?*
21. *Erläutern Sie die Herstellung des Zellstoffs nach dem Sulfitverfahren!*
22. *Welche Verwendung finden die Ablaugen der Sulfitzellstoffherstellung?*
23. *In einer Zellstoffabrik fallen täglich 100 t Ablaugen mit 2% Glucose an. Wir nehmen an, daß die Glucose durch Gärung verlustlos in Äthanol umgewandelt wird. Welche Gewichtsmenge Äthanol entsteht dann aus einer Tagesmenge Ablauge?*



Frühstückstisch mit Geschirr aus Plasten

Plaste sind hochwertige synthetische 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 alle Zweige der Elektrotechnik, Fahrzeugindustrie, Feinmechanik, Optik, chemischen Industrie, des Bauwesens, Schiffbaus, Bergbaus und für viele andere Gebiete unserer Volkswirtschaft. Daher kommt der Entwicklung und der Produktion dieser Erzeugnisse unserer chemischen Industrie ganz besondere Bedeutung zu.

11. KAPITEL

Plaste

Allgemeines über hochmolekulare synthetische Werkstoffe

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.

Bereits im Jahre 1865 wurde das Celluloid, ein wichtiger künstlicher Werkstoff, durch Umwandlung von Cellulose hergestellt. 1897 gelang es, durch Umwandlung des Caseins 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 Celluloid an Stelle des bisher gebräuchlichen Schildpatts, das aus den Panzern großer Schildkröten gewonnen wird, zur Herstellung von Kämmen und anderen Gebrauchsartikeln. Später wurden dann aus Celluloid auch viele andere Erzeugnisse hergestellt, wie zum Beispiel Spielwaren, Tischtennisbälle und fotografische Filme. Damit verlor das Celluloid den Charakter eines Ersatzstoffes.

In den letzten Jahrzehnten wurden sehr viele neue Plaste hergestellt und Verfahren zu ihrer industriellen Produktion entwickelt. Die Plaste sind hochwertige Werkstoffe, die in ihren Eigenschaften den Naturstoffen vielfach weit überlegen sind.

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.

Die Plaste sind aus dem Leben des Menschen nicht mehr wegzudenken. Eine fast unübersehbare Anzahl von Artikeln des täglichen Bedarfs besteht aus Plasten. Bauindustrie, Bergbau, chemische Industrie, Maschinenbau, Elektrotechnik, Fahrzeugindustrie, Schiffbau, Feinmechanik, Optik, Lebensmittelindustrie und alle anderen Zweige unserer Volkswirtschaft verwenden in zunehmendem Maße Plaste. Daher kommt der weiteren Erforschung dieser Stoffe und der Steigerung der Plastproduktion ganz besondere Bedeutung zu.

Plaste sind hochmolekulare Werkstoffe, die synthetisch (in wenigen Fällen auch durch Umwandlung von Naturprodukten) hergestellt werden.

Die hochmolekularen Verbindungen, die als Plaste verwendet werden, entstehen aus gleichen oder verschiedenartigen kleineren **Molekülen.** Die Herstellung der hochmolekularen Stoffe kann durch zwei Arten von Reaktionen erfolgen, durch Polymerisation oder durch Polykondensation.

Zur **Polymerisation** sind Moleküle mit Mehrfachbindung befähigt. Die Mehrfachbindungen werden bei der Polymerisation aufgerichtet. Dadurch entstehen reaktionsfähige Molekülreste, die sich über bestimmte Zwischenverbindungen zu Makromolekülen verknüpfen. Die Verknüpfungen verlaufen als **Kettenreaktionen.** Das soll am Beispiel der Polymerisation von Äthen veranschaulicht werden. Dabei werden zunächst einzelne Moleküle aktiviert:

$$CH_2 = CH_2 \rightarrow -CH_2-CH_2- .$$

Dieser Vorgang wird als **Startreaktion** bezeichnet. Die so entstandenen Molekülreste verbinden sich mit weiteren Molekülen, wobei immer größere Gruppen mit freien Wertigkeiten entstehen:

$$—CH_2—CH_2— + CH_2 = CH_2 \rightarrow —CH_2—CH_2—CH_2—CH_2— .$$

So werden fortlaufend weitere Einzelmoleküle angelagert. Dieser Vorgang heißt **Kettenwachstum**. Den Abschluß der Polymerisation bildet die **Abbruchreaktion**, bei der aus den entstandenen hochmolekularen Resten Makromoleküle gebildet werden. Häufig wird dieser Vorgang durch Platzwechsel eines Wasserstoffatoms verursacht:

$$—CH_2—CHH—CH_2—CH_2—\cdots—CH_2—CH_2— \rightarrow$$
$$CH_2 = CH—CH_2—CH_2—\cdots—CH_2—CH_3$$

Werden bei der Vereinigung von Grundmolekülen zu Makromolekülen gleichzeitig noch andere Stoffe, zum Beispiel Wasser, gebildet, so bezeichnet man diesen Vorgang als **Polykondensation**. Die Polykondensation ist im Gegensatz zur Polymerisation eine **Gleichgewichtsreaktion**. Zum Abbruch der Reaktion kommt es bei Einstellung des Gleichgewichts.

Zwischen Polymerisations- und Kondensationsreaktionen bestehen grundlegende Unterschiede. So entstehen zum Beispiel hochmolekulare Polymerisate auch in wäßriger Lösung. Dagegen muß bei der Polykondensation das Wasser weitgehend 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 Polymerisation werden einfach gebaute Moleküle ungesättigter Verbindungen unter Aufrichtung ihrer Mehrfachbindungen zu Makromolekülen verknüpft.

Bei der Polykondensation werden einfach gebaute Ausgangsstoffe zu Makromolekülen verknüpft, wobei andere Stoffe, zum Beispiel Wasser, als Nebenprodukte entstehen.

Die Plaste werden nach ihrem Verhalten 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 oder härtbare Plaste 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.

Die Plaste werden in Thermoplaste und Duroplaste eingeteilt.

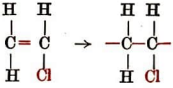
Thermoplaste

1. Polyvinylchlorid. Der zur Zeit wichtigste Vertreter aus der Gruppe der Thermoplaste ist das **Polyvinylchlorid**, kurz als **PVC** bezeichnet. Polyvinylchlorid entsteht durch Polymerisation von **Chloräthen** $CH_2 = CHCl$, einer bei Raumtemperatur gas-

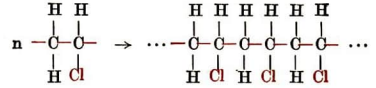
förmigen Verbindung. Für Chloräthen wird in der Industrie meist noch die ältere Bezeichnung **Vinylchlorid** verwendet.

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 Calciumcarbid hergestellt, das mit Wasser zu Äthin und Calciumhydroxyd umgesetzt wird. Äthin reagiert in Gegenwart von Katalysatoren mit Chlorwasserstoff unter Bildung von Vinylchlorid $CH_2 = CHCl$.

Vinylchlorid besitzt eine Doppelbindung, durch deren Aufrichtung eine Gruppe mit freien Wertigkeiten entsteht:



Diese Gruppen verbinden sich weiter zu Makromolekülen:



Die Polymerisation von Vinylchlorid zu Polyvinylchlorid kann auch durch folgende vereinfachte Gleichung wiedergegeben werden:

$$n\ CH_2 = CHCl \rightarrow (-CH_2-CHCl-)_n .$$

Polyvinylchlorid kann nach verschiedenen Verfahren hergestellt werden. In unserer Republik wird fast ausschließlich das **Emulsionsverfahren** angewendet.

In emaillierten oder vernickelten **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 $(-CH_2-CHCl-)_n$ 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 bildsam. 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. 90). Die so hergestellten Formteile bestehen aus reinem PVC. Sie sind bei Raumtemperatur hart und werden als **PVC-hart** bezeichnet.

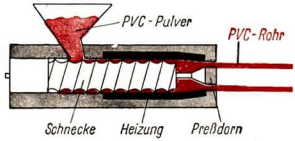


Abb. 90 Schematische Darstellung des Strangpressens von PVC-hart

PVC ist ein Thermoplast und wird bei 150° bis 200° C zu Halbzeug und Fertigfabrikaten geformt.

PVC-hart ist farblos bis hellbraun, geruchlos, geschmacksfrei, schwer entflammbar und in der Kälte in vielen Lösungsmitteln unlöslich. PVC-hart 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. 91). Auch Dachrinnen, Regenfallrohre, Abwasser- und Wasserleitungsrohre sowie Materialien für die sanitäre Installation werden aus PVC-hart hergestellt. PVC-hart ist ein guter elektrischer Isolator. Wegen dieser Eigenschaft ist es für elektrotechnische Zwecke innerhalb bestimmter Temperaturbereiche gut geeignet.

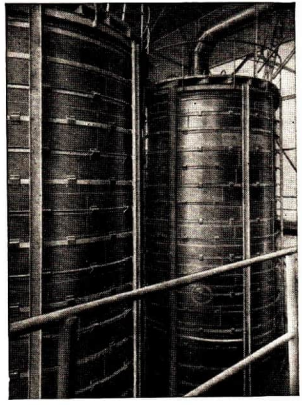


Abb. 91 Waschtürme aus PVC-hart-Platten in der Schwefelsäurefabrik des VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz

In der Nahrungs- und Genußmittelindustrie wird PVC zur Herstellung von Dosen, Behältern und anderen Verpackungsmaterialien, Verschlußstopfen für Flaschen, ferner in Form von Bier- und Milchleitungen seit vielen Jahren mit Erfolg angewendet.

PVC-hart 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 **PVC-weich** (früher Igelit) bekannt sind.

Zur Herstellung von PVC-weich wird das pulverförmige PVC mit den meist flüssigen Weichmachern (zum Beispiel bestimmten Estern) in heizbaren Knetmaschinen gemischt und dann auf Kalandern zu Folien ausgewalzt (Abb. 92 und 93).

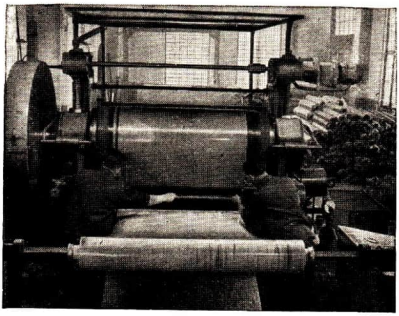


Abb. 92 Kalander zur Herstellung von PVC-Fußbodenbelag im VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld

PVC-weich kann in den verschiedensten Weichheitsgraden hergestellt werden und hat auf Grund seiner vorzüglichen mechanischen Eigenschaften vielseitige Anwendung gefunden. Aus PVC-weich werden Regenmäntel, Möbelbezüge, Fußbodenbeläge, Autoverdeckstoffe, Schürzen, Stiefel, Kabelisolierungen, Dichtungsmaterial, Schläuche, Schuhsohlen, Treibriemen, Gürtel, Täschnerwaren und viele andere Artikel angefertigt.

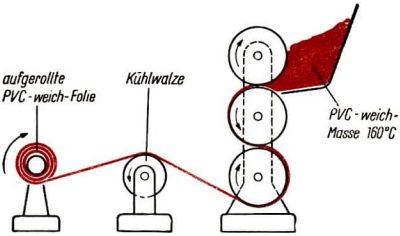


Abb. 93 Schematische Darstellung eines Kalanders

Preßt man PVC-weich 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 Arbeitsschutzbekleidung aus PVC-weich hergestellt.

PVC-weich wird aus pulverförmigem Polyvinylchlorid und Weichmachern in heizbaren Knetmaschinen hergestellt und vielseitig verwendet.

PVC-hart und PVC-weich 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.

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 Wichte (kleiner als die des Korkes).

Zell-PVC-hart 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.

Zell-PVC-weich ist ein weiches, elastisches Plattenmaterial, das für Polsterzwecke, als Dichtungsmaterial und zur Herstellung von Hausschuhen verwendet wird.

Zell-PVC besitzt eine geringe Wichte und wird deshalb als Isoliermaterial im Fahrzeug- und Schiffbau und zu anderen Zwecken verwendet.

In Abbildung 94 ist die Verwendung von PVC schematisch dargestellt.

PVC beziehungsweise PVC-Erzeugnisse werden in unserer Republik im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, im VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld und im VEB Eilenburger Celluloid-Werk hergestellt. In Tabelle 11 sind die wichtigsten PVC-Handelsprodukte unserer volkseigenen Industrie zusammengestellt.

Tabelle 11. PVC-Handelsprodukte

Produkt	Handelsbezeichnung	Hersteller
PVC-hart	**PVC-Schkopau**	VEB Chemische Werke Buna, Schkopau
	Ekadur	VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld
	Decelith H	VEB Eilenburger Celluloid-Werk
PVC-weich	**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

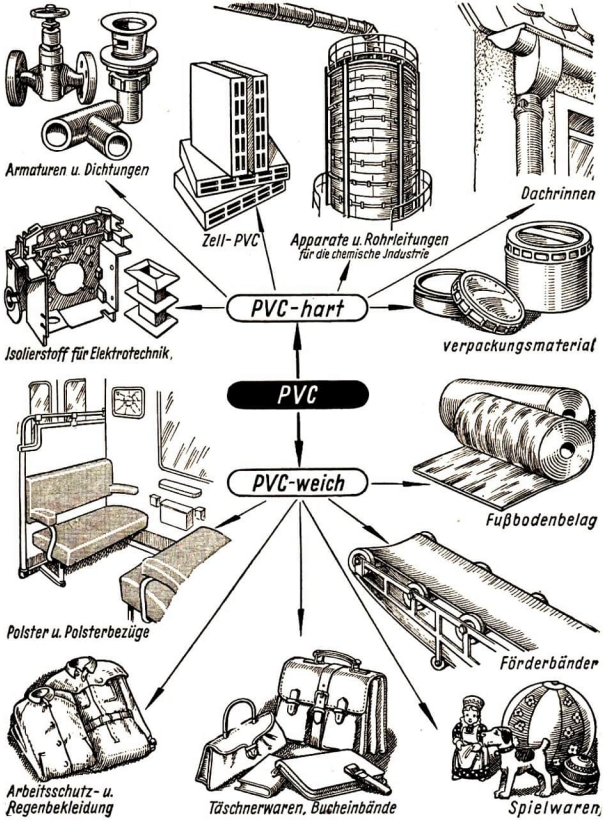
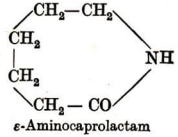


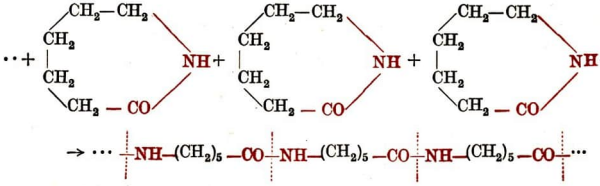
Abb. 94 Verwendung von PVC

2. Polyamide. Die Polyamide sind stickstoffhaltige, hochmolekulare Werkstoffe. Das vom VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" unter der Bezeichnung **„Miramid"** in den Handel gebrachte Polyamid und die **„Igamid-Schnitzel"** des VEB Filmfabrik Agfa Wolfen sind Polymerisationsprodukte einer ringförmigen Verbindung, des **ε-Aminocaprolactams:**



ε-Aminocaprolactam

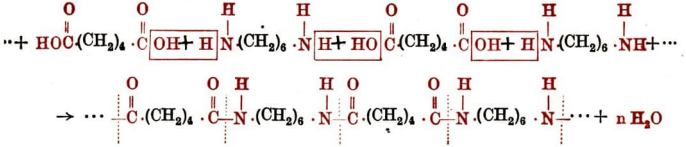
Dieser Stoff wird über mehrere Zwischenverbindungen aus Phenol hergestellt. Die Herstellung des Polyaminocaprolactams ist eine besondere Form der Polymerisation, die auf der Aufspaltung von Ringsystemen beruht. Das ε-Aminocaprolactam wird geschmolzen und in Autoklaven unter Druck polymerisiert. Dabei werden die Ringe aufgebrochen und kettenförmig zu Makromolekülen verknüpft.



Die Formel des entstandenen Polyamids kann auch vereinfacht dargestellt werden:

$$[-NH-(CH_2)_5-CO-]_n .$$

Das im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, hergestellte Polyamid entsteht durch Polykondensation von **Hexandisäure (Adipinsäure)** $HOOC \cdot (CH_2)_4 \cdot COOH$ und **1,6-Diaminohexan (Hexamethylendiamin)** $H_2N \cdot (CH_2)_6 \cdot NH_2$:



Nach seinen Ausgangsstoffen **A**dipinsäure und **H**examethylendiamin wird dieses Polyamid auch als **AH-Salz** bezeichnet. Seine Formel kann vereinfacht dargestellt werden:

$$[-NH \cdot (CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4 \cdot CO-]_n$$

Das **Polyamid AH Schkopau** aus dem VEB Chemische Werke Buna weist ähnliche hervorragende Eigenschaften wie die Polymerisationsprodukte des ε-Aminocaprolactams 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, geschmacksfrei und gute elektrische Isolatoren. Sie erweichen bei etwa 170° C und sind dauerwärmebeständig bis 100° C.

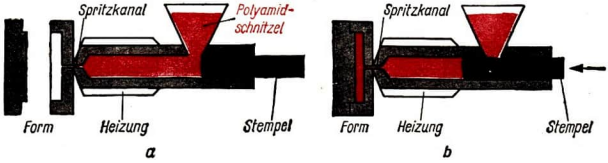


Abb. 95 Schematische Darstellung des Spritzgußverfahrens

Formteile aus Polyamiden werden vielfach durch **Spritzguß** hergestellt. Eine 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. 95).

Polyamide werden zu Formteilen für die Industrie und zu Gegenständen des Massenbedarfes verarbeitet, zum Beispiel zu Möbelbeschlägen, Wasserhähnen (Abb. 96), Haushaltgeräten, Kämmen, Borsten, Wäscheleinen, Spielwaren, Verschlußstopfen für Flaschen, Dichtungen, Sieben, Maschendraht, Wursthäuten, Maschinenteilen, Angelschnuren, Seilen, Brillen usw.

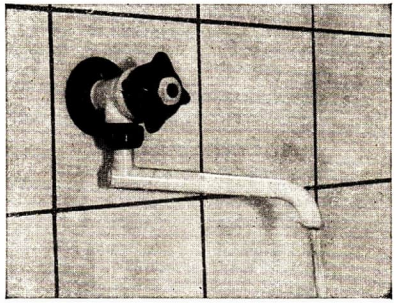
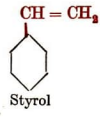


Abb. 96 Wasserleitungsschwenkhahn aus Polyamid

Aber auch glasklare Folien für Verpackungszwecke **(Perfol)** und Textilfasern **(Dederon, Trelon)** werden aus Polyamiden hergestellt.

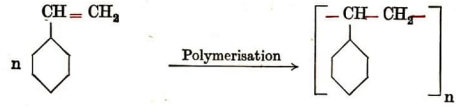
Polyamide sind Thermoplaste mit hoher mechanischer Festigkeit. Sie werden zu Formteilen, Folien und Textilfasern verarbeitet und vielseitig verwendet.

3. Polystyrol. Ausgangsstoffe für die Herstellung von Polystyrol sind Benzol und Äthen. Aus diesen beiden Verbindungen erzeugt man zunächst **Styrol,**



Styrol

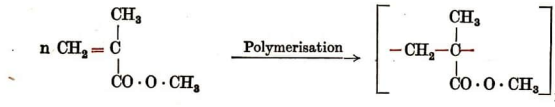
das durch Polymerisation zu **Polystyrol** umgewandelt wird:



Polystyrol ist eine glasklare, farblose bis hellfarbige Masse. Es ist geruchlos, geschmacksfrei, 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 Massenbedarfes, zum Beispiel Becher, Kämme, Brillengestelle, Spielwaren und Haushaltgeräte. Polystyrol beziehungsweise Polystyrolteile werden bei uns im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, und im VEB Eilenburger Celluloid-Werk hergestellt.

Polystyrol ist ein Thermoplast, der vor allem durch Spritzguß verformt und zu Formteilen für die Industrie und Erzeugnissen des Massenbedarfes verarbeitet wird.

4. Polymethacrylsäuremethylester. Dieser Plast ist eine durchsichtige, farblose Masse, die wie Glas aussieht und daher auch als **organisches Glas** bezeichnet wird. Polymethacrylsäuremethylester entsteht durch Polymerisation:



Polymethacrylsäuremethylester wird im VEB Stickstoffwerk Piesteritz hergestellt und kommt unter der Bezeichnung **Piacryl P** in den Handel.

Piacryl P wird farblos oder farbig, glasklar oder milchglasähnlich, in Platten und verschiedenen Profilen geliefert (Abb. 97). Es hat eine wesentlich kleinere Wichte als Silicatglas. Sie beträgt nur 1,18 p/cm³. Piacryl P ist völlig splittersicher und kann

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.

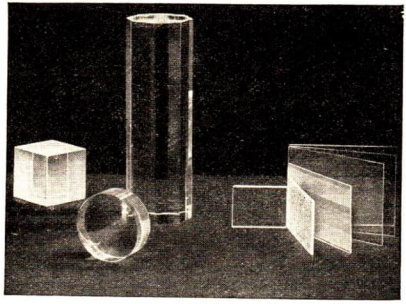


Abb. 97
Platten und Profile aus Piacryl P

Polymethacrylsäuremethylester (Piacryl) ist ein leicht verformbarer Plast, der als „organisches Glas" und als Material für die Zahnmedizin verwendet wird.

5. 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 ist kältebeständig bis $-60°$ C. Sein Schmelzpunkt liegt bei etwa 115° C. Es ist beständig gegen Laugen, Säuren, Lösungsmittel und andere Chemikalien. Polyäthylen ist ferner ein sehr guter Isolator für Wärme und Elektrizität.

Aus Polyäthylen werden zum Beispiel Haushaltgeräte (Abb. 98), Folien und Behälter für Verpackungszwecke, unzerbrechliche Flaschen (für Chemikalien, Lacke, Arzneimittel, Kosmetika und Lebensmittel) hergestellt. Der besondere



Abb. 98 Herstellung von Eimern aus Polyäthylen im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau

Vorteil des Polyäthylen-Verpackungsmaterials liegt darin, daß es unzerbrechlich ist und sich auf Grund seiner hervorragenden Elastizität als Leergut auf kleinen Raum zusammendrücken läßt. Verpackungsmaterial, das in gefülltem Zustand den Waggonraum eines ganzen Güterzuges beansprucht, kann als Leergut in ein bis zwei Waggons zurückbefördert werden. Polyäthylen-Rohre lassen sich wie Kabel auf eine Trommel aufwickeln. Polyäthylen hat ferner als Isolierstoff für die Elektrotechnik große Bedeutung.

Polyäthylen wird gegenwärtig im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" erst in einer Versuchsanlage erzeugt. Mit der Entwicklung der Petrolchemie in unserer Republik in den nächsten Jahren wird es jedoch möglich sein, auch die Großproduktion von Polyäthylen aufzunehmen, so daß dann dieser Werkstoff in beträchtlichen Mengen eingesetzt werden kann.

Polyäthylen ist ein sehr widerstandsfähiger Plast, der vor allem als Verpackungsmaterial und als Isolierstoff für die Elektrotechnik eingesetzt wird.

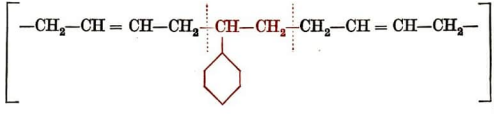
6. Polybutadiene. Eine besondere Gruppe von synthetischen Werkstoffen wird wegen ihrer elastischen Eigenschaften als **Elaste** bezeichnet. Zu den Elasten gehört der synthetische Kautschuk **Polybutadien,** der die Handelsbezeichnung **Buna** trägt und in unserer Republik im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, erzeugt wird.

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:

$$\underset{\text{Butadien}}{n\,CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2} \xrightarrow[Na]{\text{Polymerisation}} \underset{\text{Polybutadien}}{(-CH_2-CH{=}CH-CH_2-)_n}.$$

Dieses Verfahren wird in gewissem Umfang auch heute noch angewendet. Bei den neueren Bunasynthesen werden jedoch außer Butadien, das aus Äthin hergestellt wird, 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.

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 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.

Aus Gummi werden Reifen für Fahrzeuge aller Art erzeugt (Abb. 99). Die Kraftfahrzeugindustrie verbraucht etwa 80% der gesamten Kautschukproduktion. Gummi dient ferner zur Herstellung von Regenmänteln, Schutzkleidung, Schläuchen, Stoßdämpfern für Maschinen, Treibriemen, Fäden für elastische Gewebe, Spielwaren, Badeartikeln und vielen anderen Waren.

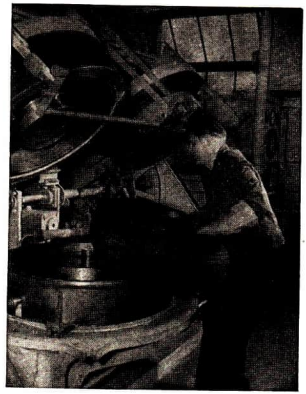
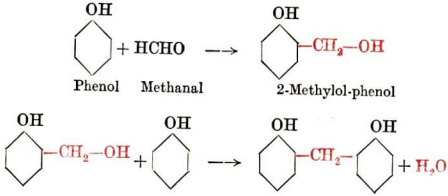


Abb. 99
Vulkanisierkessel für Flugzeugreifen im VEB Reifenwerk Fürstenwalde

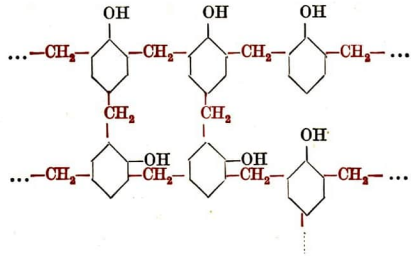
Der synthetische Kautschuk Buna wird aus Butadien und anderen Verbindungen durch Polymerisation hergestellt. Aus Buna erhält man durch Vulkanisation Gummi, der vielseitig verwendet wird.

Duroplaste

1. Phenoplaste. Die Phenoplaste sind die zur Zeit am häufigsten verwendeten Duroplaste. Sie werden durch Polykondensation von Phenol und seinen Derivaten (zum Beispiel m-Kresol) und Methanal hergestellt, wobei Wasser abgespalten wird. Aus Phenol und Methanal entsteht unter bestimmten Bedingungen zunächst ein Zwischenprodukt, das mit Phenol weiterreagiert:



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 m-Kresol oder andere Phenolderivate treten.

Versuch 94: *Wir geben etwa 2 g Phenol in ein Reagenzglas, versetzen es mit 3 ml 40%iger Methanallösung und erwärmen, bis es sich gelöst hat. Dann fügen wir einige Tropfen konzentrierte Salzsäure hinzu und vermischen durch Schütteln. Es bildet sich ein Phenoplast. Vorsicht! Die Phenoplastbildung verläuft manchmal sehr heftig, so daß Teile des Gemisches herausspritzen.*

Phenoplaste werden aus Phenolen oder Phenolhomologen und Methanal durch Erhitzen 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. Diese Phenolharze werden (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 werden für die verschiedensten Zwecke verwendet. 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. 100). Dabei wird die Masse durch Weiterführung des Kondensationsvorganges gehärtet. Das ausgehärtete Material wird

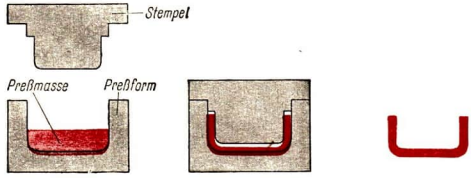


Abb. 100 Schematische Darstellung der Verarbeitung von Preßmassen

dann als **Preßstoff** bezeichnet. 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 des Kupfers) und haben trotzdem nur eine geringe Wichte (etwa 1,25 p/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 geschmacksfrei. Aus Phenoplast-Preßmassen, die in unserer Republik vor allem unter der Bezeichnung **Plastadur-Preßmassen** in den Handel kommen, werden zahlreiche Teile hergestellt, so zum Beispiel Elektroinstallationsmaterial, Fernsprechapparateteile (Abb. 101), Möbelbeschläge, Material für die sanitäre Installation, Fahrzeugausstattungsteile, Maschinenteile, Haushaltgeräte, Bürobedarf, Radiogehäuse, Spielwaren, Dosen und Schachteln für Verpackungszwecke. Bei den im VEB Sachsenring

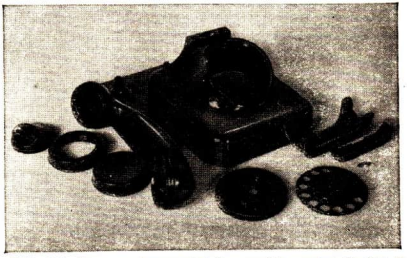


Abb. 101 Fernsprechapparateteile aus Phenoplast-Preßstoff



Abb. 102 Personenkraftwagen vom Typ „Trabant" aus dem VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau

Automobilwerke Zwickau hergestellten Kleinwagen „Trabant“ (Abb. 102) 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 Wichte, 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 103 ist die Verwendung der Phenoplaste schematisch dargestellt.

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 gehören zur Gruppe der Duroplaste. Sie besitzen sehr gute physikalische und chemische Eigenschaften und werden zu Formteilen für die Industrie und zu Gegenständen des Massenbedarfes verarbeitet.

2. Aminoplaste. Eine andere, ebenfalls wichtige Gruppe von Duroplasten sind die **Aminoplaste.** Sie werden aus verschiedenen **Aminen** und **Methanal** durch Polykondensation hergestellt. Amine sind Verbindungen mit der funktionellen Gruppe $-NH_2$, der Aminogruppe. Diese Gruppe reagiert mit Methanal unter Wasserabspaltung:

$$n\ R \cdot NH_2 + n\ HCHO \xrightarrow{\text{Katalysator}} NH(R)-CH_2-N(R)-CH_2-N(R)-CH_2-\cdots + n\ H_2O$$

Amin — Methanal — Aminoplast

In den angegebenen Formeln stellt R verschiedene Molekülreste dar. Diese Polykondensation wird zum Beispiel in Gegenwart von Säuren durchgeführt.

Versuch 95: *Wir geben etwa 3 g Harnstoff* $CO(NH_2)_2$ *in ein Reagenzglas, versetzen ihn mit so viel 30 bis 40%iger Methanallösung, daß der Harnstoff eben von Flüssigkeit bedeckt ist, und erwärmen unter Schütteln, bis sich eine klare Lösung gebildet hat. Nun fügen wir einige Tropfen konzentrierte Salzsäure hinzu, schütteln und stellen das Glas in einen Reagenzglasständer. Gewöhnlich setzt die Polykondensation (die Aminoplastbildung) schon nach einigen Sekunden ein. Vorsicht! Die Reaktion verläuft meist sehr heftig. Sollte sich der Beginn der Reaktion verzögern, so erwärmen wir das Glas mit dem Reaktionsgemisch vorsichtig über einer kleinen Flamme.*

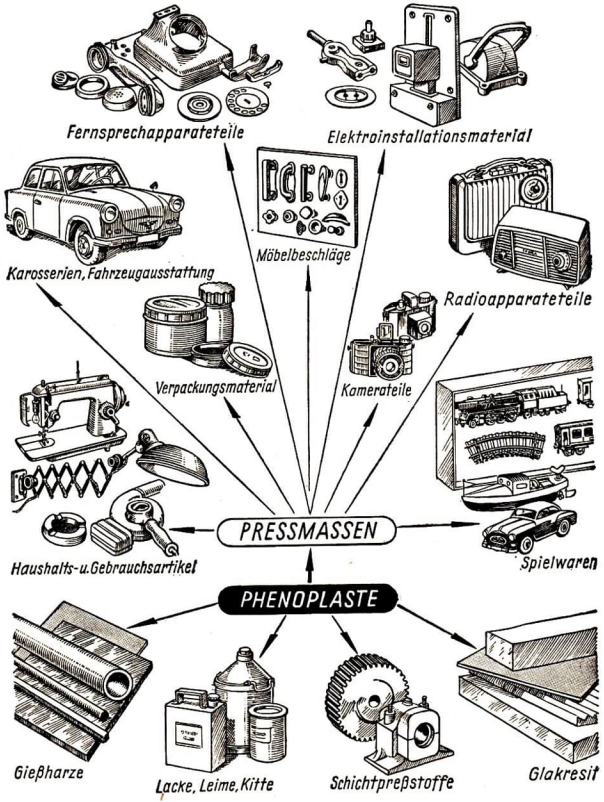


Abb. 103 Verwendung von Phenoplasten

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.

Aminoplaste werden durch Polykondensation aus Aminoverbindungen und Methanal durch Erwärmung in Gegenwart von Katalysatoren (zum Beispiel Säuren) hergestellt.

Die Aminoplaste sind farblose, weiße oder hellfarbige Massen. Sie sind geruchlos und geschmacksfrei, wetter- und wasserbeständig. Als Duroplaste sind die Aminoplaste unschmelzbar und unlöslich. Sie besitzen eine geringe Wichte (etwa 1,5 p/cm³), 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: Dicyandiamid) und als Isolierschaumstoff **Piatherm** (Ausgangsstoff: Harnstoff) in den Handel.

Aus Meladur stellt man zum Beispiel 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. 104). Er dient ferner als Wärmeschutz und als schalldämpfende Masse für Wohn-, Kultur- und Industriebauten.

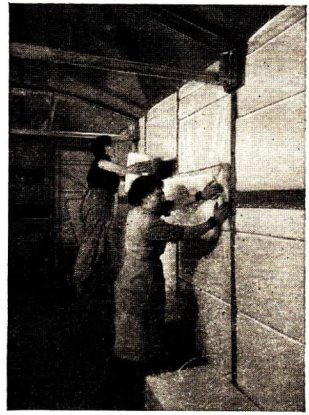


Abb. 104 Auskleiden eines Kühlwagens mit Piatherm im VEB Waggonbau Dessau
Zum Schutz gegen Feuchtigkeit sind die Piathermplatten mit Perfol eingeschlagen.

Aminoplaste werden als völlig geruchs- und geschmacksfreie Stoffe für Lebensmittelbehältnisse, Formteile für die Industrie und Gegenstände des Massenbedarfs verwendet. Ein besonderes Erzeugnis aus Aminoplasten ist der Isolierschaumstoff Piatherm.

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

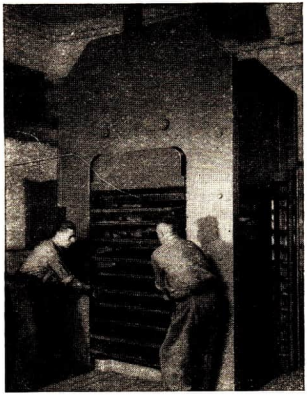


Abb. 105 Etagenpresse zur Herstellung von Schichtpreßstoffen im VEB Plasta Preßstoffwerk Köppelsdorf

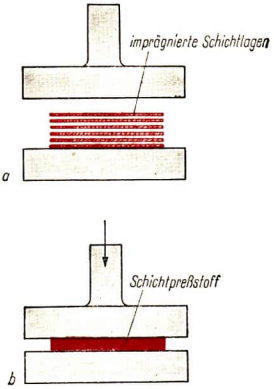


Abb. 106
Schematische Darstellung der Schichtpreßstoffherstellung

vorbehandelten Materialien. Anschließend werden die imprägnierten Stoffe in mehreren Lagen aufeinandergeschichtet und unter Erwärmung stark gepreßt (Abb. 105 und 106). 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 Fahrzeug-, Flugzeug- und Schiffbau. Schichtpreßstoffe werden auch für Dichtungen, Wandverkleidungen und zu anderen Zwecken verwendet.

In unserer Republik werden Schichtpreßstoffe im VEB 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 **Melacart** in den Handel.

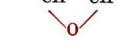
Schichtpreßstoffe bestehen aus Papier oder Geweben und Phenoplasten oder Aminoplasten. Sie sind besonders widerstandsfähige und daher vielseitig verwendete Werkstoffe.

4. 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 Wichte. Besondere Festigkeit weisen **glasfaserverstärkte Polyesterharze** auf.

Polyester werden in den nächsten Jahren in unserer Republik in großen Mengen hergestellt werden, da durch die Entwicklung der Petrolchemie genügend Ausgangsstoffe erzeugt werden können. Bereits im Jahre 1957 wurde im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, 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 geringes Gewicht aus. Das im VEB Jachtwerft Berlin probeweise aus glasfaserverstärktem Polyesterharz hergestellte Paddelboot „Juwel" wiegt zum Beispiel nur halb soviel wie das gleiche Boot aus Mahagoniholz und kann zu einem wesentlich niedrigeren Preis verkauft werden.

Aus Polyester G Schkopau werden auch Klebemittel für Metalle und eine große Zahl anderer Werkstoffe hergestellt. In Neubauten können zum Beispiel elektrische Leitungen unter Verwendung solcher Kleber ohne Dübeln und Verschrauben auf das Mauerwerk geklebt werden.

5. 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 kommen unter dem Namen **Epilox** in den Handel. Leuna-Epilox wird durch Gießen (mit und ohne Füllstoffe) zu Lagerschalen, Ventilen, Rohrleitungen, Bremsbelägen, Flugzeugteilen, Spülbecken und anderen Gegenständen verformt. Anschließend wird das Material durch mehrstündige Härtung bei 130° C zum Duroplast umgewandelt.

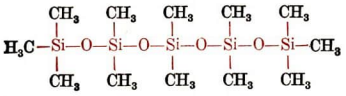
Epoxydharze sind korrosionsbeständig und besitzen hohe mechanische Festigkeiten. Besonders günstig wirkt sich auch ihre geringe Wichte (1,2 bis 1,6 p/cm³) aus.

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 und 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.

6. Siliconharze. Die **Silicone,** die eine Mittelstellung zwischen anorganischen und organischen Verbindungen einnehmen, werden auch als **siliciumorganische 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 Silicium und Sauerstoff ab; die übrigen Wertigkeiten des Siliciums sind durch (organische) Kohlenwasserstoffreste (schwarz) abgesättigt:



Die Herstellung der Silicone ist nach verschiedenen Verfahren möglich. Zum Beispiel kann man von Kohlenstoff, Siliciumdioxyd, Alkanolen und Chlorwasserstoff ausgehen und über Zwischenprodukte zu Siliconen gelangen.

Je nach ihrer Struktur liegen diese neuartigen Stoffe als Siliconöle, Siliconfette, Siliconkautschuk, Siliconlacke oder Siliconharze vor. Die Siliconharze 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 Siliconharzen getränkte Glasfasergewebe als Isoliermaterialien verwendet.

Siliconharze und -lacke sind stark wasserabweisend und werden daher zum Imprägnieren von Textilien, Papier, Mauerwerk, Dachziegeln usw. verwendet. Anstriche auf Siliconbasis sind für hitzebeanspruchte Gegenstände besonders geeignet, da sie Dauerbeanspruchungen bis 260° C aushalten, kurzfristig sogar Temperaturen bis 500° C. Silicone werden ferner als Schmiermittel, als Flugzeuglack, als Zusatzstoffe zu verschiedenen Plasten und zu anderen Zwecken verwendet. Silicone werden in unserer Republik im VEB Chemiewerk Nünchritz hergestellt.

Silicone sind Plaste, die eine Mittelstellung zwischen anorganischen und organischen Stoffen einnehmen. Sie besitzen ausgezeichnetes Isoliervermögen und sehr gute Wärmebeständigkeit. Außerdem sind sie stark wasserabweisend. Silicone werden vielseitig verwendet.

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. 1957 lag die Deutsche Demokratische Republik mit einer Pro-Kopf-Produktion von 6,5 kg Plasten an vierter Stelle in der Welt. Unsere chemische Industrie verfügt heute über Produktionsanlagen für die wichtigsten Plasttypen. In Abbildung 107 (Seite 176) sind die wichtigsten Werke unserer Plastindustrie zusammengestellt.

Auf dem V. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands und auf der Chemiekonferenz im Jahre 1958 wurden wichtige Maßnahmen für die weitere Entwicklung unserer Plastindustrie festgelegt. Ihr wird die große Aufgabe gestellt, die

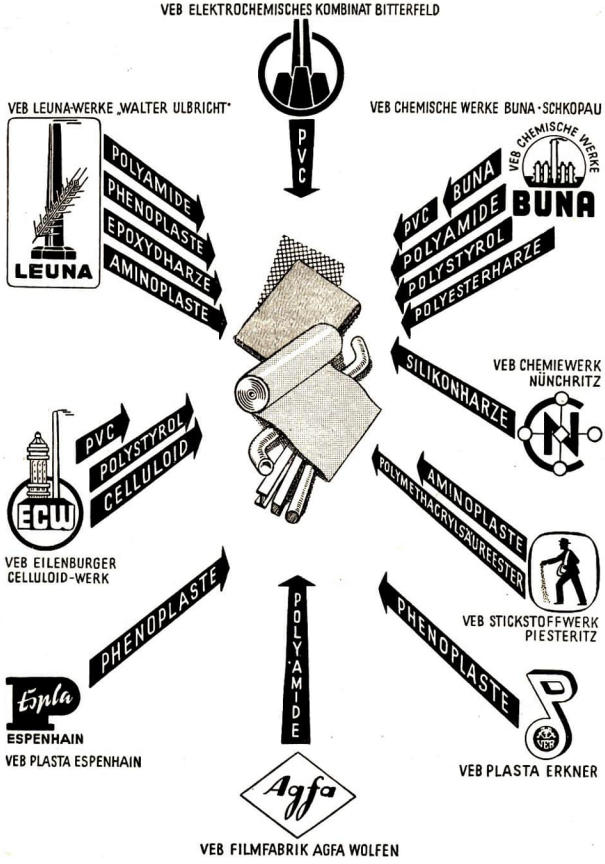


Abb. 107 Die wichtigsten Betriebe der Plastindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Werkstoffgrundlage unserer Industrie, vor allem der Leichtindustrie und damit der Produktion von Massenbedarfsgütern, erheblich zu erweitern. Der Siebenjahrplan sieht für 1961 eine Plastproduktion von 153 000 Tonnen und für 1965 von 311 000 Tonnen vor (Abb. 108). Die Plasterzeugung wird 1965 mehr als das Dreifache der des Jahres 1958 betragen. Damit wird die Pro-Kopf-Erzeugung von 6,6 kg im Jahre 1958 auf etwa 16 kg im Jahre 1965 ansteigen.

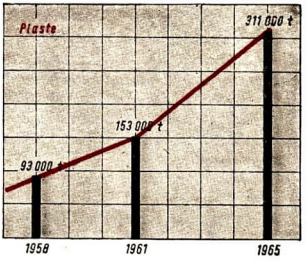


Abb. 108 Entwicklung der Produktion von Plasten in der Deutschen Demokratischen Republik bis 1965

Unsere wichtigste Rohstoffquelle für die Plastindustrie ist gegenwärtig noch die Braunkohle. Aus BHT-Koks wird Calciumcarbid und daraus einer der wichtigsten Ausgangsstoffe für die Plasterzeugung, das Äthin, hergestellt. Aus Äthin stellt man PVC, Polymethacrylsäureester, Polyäthylen und Polybutadiene her. Die als Ausgangsstoffe für Polyamide, Polystyrol und Phenoplaste wichtigen Phenole werden aus Braunkohlenprodukten gewonnen. Braunkohle ist auch der Ausgangsstoff für die Synthese von Methanal, das zur Herstellung von Phenoplasten und Aminoplasten erforderlich ist.

Mit der großzügigen Entwicklung der Petrolchemie in unserer Republik bis 1965 werden wir auf der Basis von Erdöl Ausgangsstoffe für Polyäthylen, Polystyrol, Polyester, Polyamide, Phenoplaste und andere Plasttypen in großen Mengen und sehr billig erzeugen können. Durch die Erweiterung der Erdölimporte aus der Sowjetunion erhalten wir eine neue, sehr vorteilhafte Rohstoffbasis für die Plastindustrie.

Für die Erweiterung der Produktion von Aminoplasten wird besonders die Synthese des Harnstoffs aus Ammoniak und Kohlendioxyd von Bedeutung sein. Die Ausgangsstoffe für dieses Verfahren können in unserer Republik in ausreichender Menge hergestellt werden.

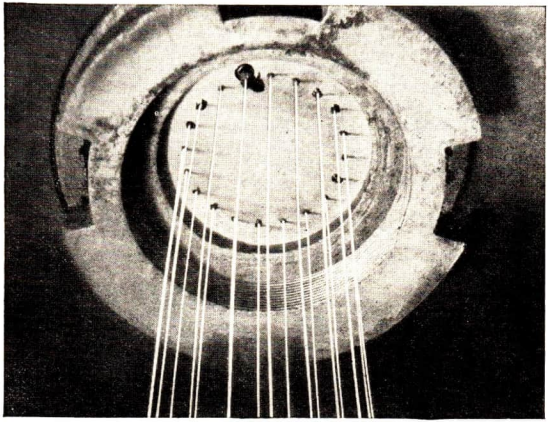
Im Verlauf des Siebenjahrplanes wird zunächst die Produktion der fünf wichtigsten Plasttypen (PVC, Polystyrol, Polyamide, Phenoplaste, Aminoplaste) erweitert. Die Erzeugung von PVC wird zum Beispiel von 54 200 Tonnen im Jahre 1958 auf 126 000 Tonnen im Jahre 1965, die von Polystyrol im gleichen Zeitraum von 3700 Tonnen auf 20 000 Tonnen ansteigen.

Darüber hinaus wird die Produktion anderer Typen erweitert und die Großproduktion von Polyäthylen, Epoxydharzen, Polyesterharzen und anderen aufgenommen.

Bei der Verwirklichung dieses großen Programms unserer Plastindustrie hat die chemische Forschung große Aufgaben zu erfüllen. Eine Reihe von Instituten in unserer Republik hat speziell die Aufgabe der weiteren Entwicklung und Erforschung der Plaste. Das Institut für Kunststoffe der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin in Berlin-Adlershof beschäftigt sich besonders mit der Entwicklung der Polyesterharze und Epoxydharze. Das Institut für Chemie und Technologie der Plaste in Leipzig hat dagegen die Entwicklung der Thermoplaste sowie der Phenoplaste und Aminoplaste zur Aufgabe. In einem dritten Institut in Radebeul bei Dresden werden vor allem die Silicone erforscht.

Wiederholungsfragen und Aufgaben:

1. *Was versteht man unter Plasten?*
2. *Erläutern Sie die Begriffe Polymerisation und Polykondensation an Beispielen!*
3. *Nennen Sie – ohne auf die Art der Plaste einzugehen – Gegenstände aus Plasten, die Ihnen aus der Wohnung, der Schule, den Verkehrsmitteln usw. bekannt sind!*
4. *Erläutern Sie den Unterschied zwischen Thermoplasten und Duroplasten!*
5. *Welche chemischen Reaktionen sind notwendig, um vom Koks zum Polyvinylchlorid zu gelangen?*
6. *Schildern Sie die Herstellung von PVC aus Chloräthen nach dem Emulsionsverfahren!*
7. *Wie erfolgt die Verarbeitung von PVC-Pulver zu Platten?*
8. *Welche Eigenschaften hat PVC?*
9. *Nennen Sie Anwendungsgebiete für PVC-hart!*
10. *Schildern Sie Herstellung und Verwendung von PVC-weich!*
11. *Wie wird Zell-PVC erzeugt?*
12. *Welche Eigenschaften hat Zell-PVC und wozu wird es verwendet?*
13. *Nennen Sie einige Handelsbezeichnungen für PVC-Produkte unserer Industrie!*
14. *Wie werden Polyamide hergestellt?*
15. *Welche Eigenschaften haben die Polyamide und wozu werden diese Plaste verwendet?*
16. *Erläutern Sie Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Polystyrol!*
17. *Was ist Piacryl P und wozu wird es verwendet?*
18. *Erläutern Sie Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Polyäthylen!*
19. *Warum wird der in unserer Republik erzeugte synthetische Kautschuk Buna genannt?*
20. *Wie wird Gummi hergestellt? Nennen Sie Verwendungen dieses Werkstoffes!*
21. *Aus zwei Mol Äthin entsteht (über mehrere Zwischenstufen) ein Mol Butadien. Welche Menge 90%iges Calciumcarbid wird zur Herstellung von einer Tonne Butadien benötigt?*
22. *Erläutern Sie Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Phenoplasten!*
23. *Was versteht man unter Gießharzen und unter Preßmassen?*
24. *Was ist Glakresit und wozu wird es verwendet?*
25. *Vergleichen Sie die Eigenschaften von Phenoplasten und Aminoplasten!*
26. *Nennen Sie Verwendungen und Handelsbezeichnungen von Aminoplasten!*
27. *Erläutern Sie die Herstellung von Schichtpreßstoffen!*
28. *Wozu werden Polyesterharze verwendet und welche Eigenschaften besitzen diese Stoffe?*
29. *Nennen Sie Eigenschaften und Anwendungsgebiete von Epoxydharzen!*
30. *Erläutern Sie an einem Beispiel die Struktur der Silicone!*
31. *Nennen Sie wichtige Anwendungsgebiete der Silicone!*
32. *Berichten Sie über die Entwicklung unserer Plastindustrie in den nächsten Jahren!*
33. *Nennen Sie die wichtigsten Werke unserer volkseigenen Plastindustrie!*
34. *Welche Rohstoffquellen sind für unsere Plastindustrie von Bedeutung?*



Aus einer Spinndüse austretende Dederonfäden

Die Chemiefaserindustrie ist ein wichtiger Zweig der chemischen Industrie unserer Republik. Chemiefasern auf Cellulosebasis und vor allem vollsynthetische Chemiefasern weisen hervorragende Eigenschaften auf und werden in großen Mengen in der Bekleidungsindustrie und zur Herstellung technischer Gewebe verwendet. Das Chemieprogramm der Deutschen Demokratischen Republik sieht eine großzügige Erweiterung der Chemiefaserproduktion in den nächsten Jahren vor. Damit wird die Versorgung der Bevölkerung mit Textilwaren besser und reichhaltiger werden.

12. KAPITEL

Chemiefasern

In der Textilindustrie spielen heute künstlich hergestellte Fasern eine bedeutende Rolle. Diese Fasern werden als **Chemiefasern** bezeichnet. Man unterscheidet endlose Fäden, die **Chemiefäden,** die zur Herstellung seidenartiger Textilwaren dienen, und auf bestimmte Längen geschnittene Fasern, die **Chemiespinnfasern,** die zu baumwoll- und wollähnlichen Produkten verarbeitet werden. Chemiefasern werden aus natürlichen Ausgangsstoffen, wie Cellulose 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 Cellulosefasern.

Chemiefasern auf Cellulosebasis

In der Entwicklung der Chemie waren Chemiefasern auf Cellulosebasis die ersten künstlich hergestellten Fasern. Bereits 1665 kam Robert Hooke, der Entdecker des Zellenaufbaus 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 Cellulose. Nach diesem Verfahren wurden die ersten Kunstseiden hergestellt. De Chardonnet gilt daher als der Erfinder der Kunstseiden und damit der Chemiefasern.

Chemiefäden auf Cellulosebasis werden nach verschiedenen Verfahren hergestellt. Man bezeichnet sie allgemein als **Kunstseiden.** Chemiespinnfasern auf Cellulosebasis werden unter der Bezeichnung **Zellwollen** zusammengefaßt.

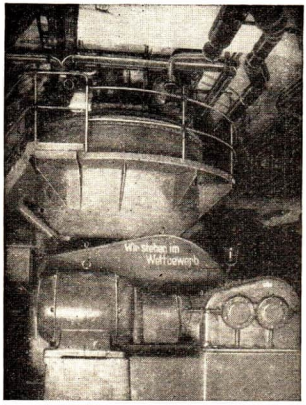


Abb.109 Xanthogenatkneter im VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza

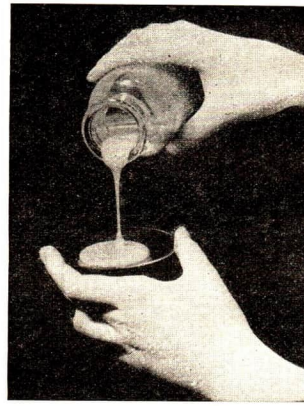


Abb. 110 Viscose

1. Viscosekunstseide. Als Ausgangsstoff für die Herstellung von Viscosekunstseide dient **Zellstoff.** Die Zellstoffpappen werden mit 18%iger Natronlauge getränkt. Dabei bildet sich **Natroncellulose.** Gleichzeitig werden unerwünschte Begleitstoffe der Cellulose 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 Cellulosemoleküle etwas verkürzt. Man bezeichnet diesen Prozeß, durch den das Material bessere Eigenschaften für die Weiterverarbeitung erhält, als **Vorreife.**

Die gereifte Masse wird in großen **Drehtrommeln** beziehungsweise **Knetmaschinen** (Abb. 109) mit Kohlendisulfid (Schwefelkohlenstoff) CS_2 bei 20° bis 25° C zur Reaktion gebracht. Im Verlauf von zwei bis drei Stunden bildet sich eine gelbrote Verbindung, das **Natriumcellulosexanthogenat**[1]), in der Industrie kurz als **Xanthogenat** bezeichnet. Das Xanthogenat wird nun in 4%iger Natronlauge gelöst. Die Xanthogenatlösung ist zähflüssig und wird deshalb **Viscose**[2]) (Abb. 110) genannt. Sie wird zur Abtrennung der nicht umgewandelten Cellulose filtriert und dann im Vakuum „entlüftet". Dabei werden die in der Lösung enthaltenen Luftbläschen entfernt. Diese Bläschen würden den Spinnprozeß stören.

Durch Behandlung mit starker Natronlauge und Kohlendisulfid CS_2 entsteht aus Zellstoff das lösliche Xanthogenat. Die Lösung dieser Verbindung in schwacher Natronlauge heißt Viscose.

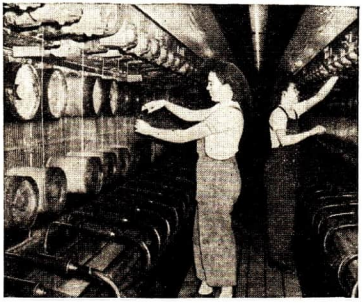


Abb. 111 Zentrifugenspinnmaschine im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz

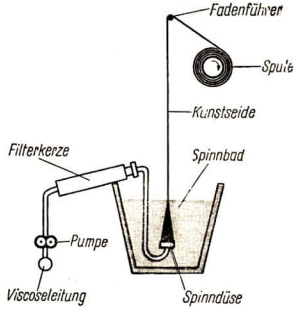


Abb. 112 Spinnen von Viscosefäden (schematische Darstellung)

Nun lagert man die Viscose etwa drei bis vier Tage in großen Behältern. Dabei laufen bestimmte chemische Reaktionen ab, wobei die Zähflüssigkeit der Viscose zunimmt. Dieser Vorgang wird als **Nachreife** bezeichnet. Jetzt erst ist die Viscose spinnfertig. Sie gelangt 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 Viscose die feinen Öffnungen der Spinndüsen verläßt und in das

[1]) xanthos (griech.) = gelb
[2]) viscum (latein.) = Mistel
Aus Mistelbeeren wurde früher ein zäher Leim hergestellt. Daher bezeichnet man heute alle zähflüssigen Lösungen als viscose Lösungen.

saure Spinnbad gelangt, wird das Xanthogenat zerlegt und Cellulose als Faden ausgeschieden (Abb. 111 und 112). Dieses Verfahren wird als **Naßspinnverfahren** bezeichnet. Die Spinnbäder enthalten Schwefelsäure und besondere Zusätze.

Die Lösung der Celluloseverbindung (Viscose) wird durch die feinen Öffnungen der Düsen in ein Fällbad gepreßt. Dabei wird Cellulose 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 und dadurch ein Arbeitsgang eingespart. In Abbildung 113 ist die Herstellung von Viscosekunstseide schematisch dargestellt.

Viscosekunstseide wird in unserer Republik im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz, im VEB Sächsisches Kunstseidenwerk „Siegfried Rädel" Pirna, im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen und im VEB Kunstseidenwerk „Clara Zetkin" Elsterberg hergestellt.

2. Kupferkunstseide. Zur Herstellung dieser Kunstseidenart löst man hochwertigen **Zellstoff** (Edelzellstoff) oder gebleichte **Baumwoll-Linters**[1]) in Schweizers Reagens, das aus Kupfer(II)-hydroxyd 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 Cellulose langsam und wird in diesem Übergangsstadium durch das rasch strömende Wasser des Fällbades zu sehr dünnen Fäden, die feiner als Naturseide sind, verstreckt. In der Deutschen Demokratischen Republik wird Kupferkunstseide im VEB Sächsisches Kunstseidenwerk „Siegfried Rädel" Pirna hergestellt.

3. Acetatkunstseide. Zur Herstellung dieser dritten Kunstseidenart werden **Zellstoff** oder gebleichte **Baumwoll-Linters** in ein Gemisch von konzentrierter Äthansäure $CH_3 \cdot COOH$ und Äthansäureanhydrid $(CH_3 \cdot CO)_2 \cdot O$, das noch katalytisch wirksame Zusätze enthält, eingetragen, wodurch sich Celluloseäthansäureester (Celluloseacetat) bildet. Der Celluloseester wird in organischen Lösungsmitteln, zum Beispiel in einer Mischung von Äthanol und Benzol, gelöst. Die entstandene zähflüssige Lösung wird dann durch die feinen Öffnungen der Spinndüsen in warme Luft gepreßt **(Trockenspinnverfahren)**. Dabei verdampft das Lösungsmittel. Der Celluloseester bleibt als dünner Faden zurück.

[1]) Linters sind kurze, unreife Baumwollfasern, die bei der Entölung der Samen gewonnen werden. Baumwoll-Linters sind in gereinigtem, gebleichtem Zustand fast reine Cellulose.

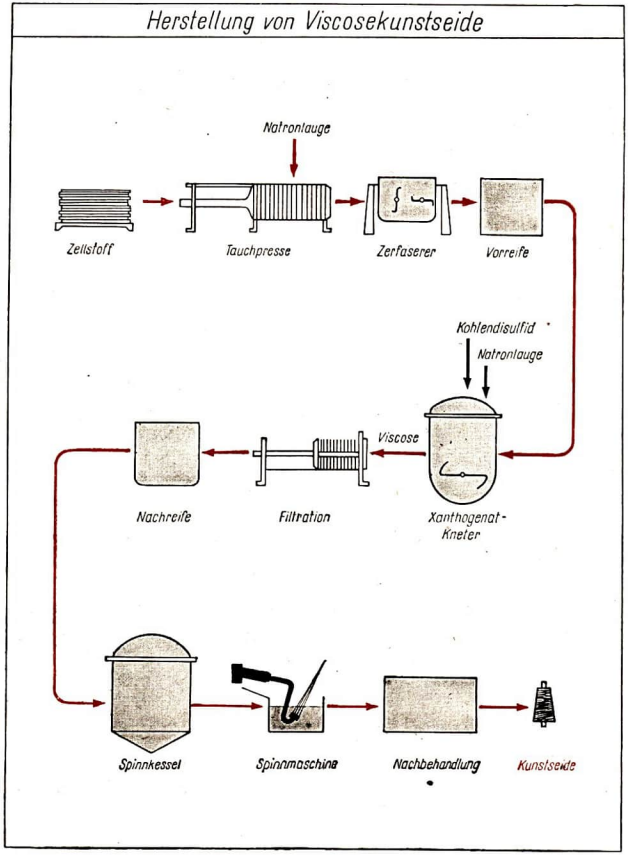


Abb. 113 Schematische Darstellung der Viscosekunstseidenherstellung

4. Zellwolle. Werden die „endlosen" Kunstseidenfäden nicht gezwirnt, sondern in Stücke von der Länge der Baumwollfasern oder Schafhaare **(Stapellänge)** zerschnitten, so erhält man Zellwollen, die chemisch aus dem gleichen Stoff wie die entsprechenden Kunstseiden bestehen.

Zellwollen 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.

Zellwolle wird durch Zerschneiden von Kunstseidenfäden hergestellt und wie Baumwolle oder Schafwolle versponnen.

Zwischen der Kunstseiden- und Zellwollherstellung bestehen nur geringfügige Unterschiede. Die Spinndüsen für Kunstseide weisen wenige Bohrungen auf, während die Spinnbrausen für die Zellwolleherstellung größer sind und bis zu 15 000 feinste Öffnungen haben (Abb. 114). Für die Erzeugung von Zellwolle werden alle Fäden einer Spinnmaschine zu einem Faserkabel von mehreren hunderttausend Einzelfäden zusammengefaßt, das dann nachbehandelt, zerschnitten und getrocknet wird.

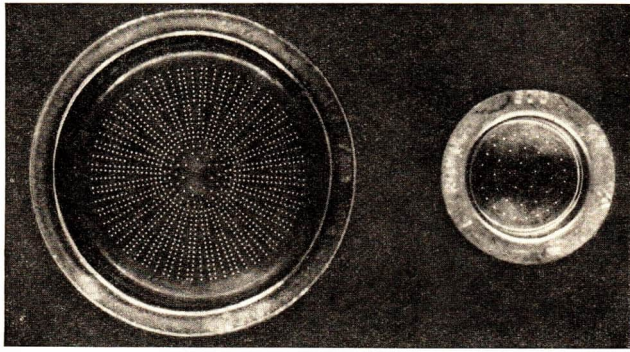


Abb. 114 Spinndüsen für Zellwolle und für Viscosekunstseide

Neben Zellwollen, die man durch Zerschneiden von Viscosekunstseide herstellt, werden in geringem Umfang auch Kupferzellwolle und Acetatzellwolle erzeugt.

Zellwolle wird in unserer Republik im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen, im VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza, im VEB Zellstoff- und Zellwollewerke Wittenberge, im VEB Spinnstoffwerk „Otto Buchwitz" Glauchau und im VEB Sächsische Zellwolle Plauen hergestellt.

In Tabelle 12 sind die in der Deutschen Demokratischen Republik erzeugten Chemiefasern auf Cellulosebasis und ihre Herstellerwerke zusammengestellt.

Tabelle 12. Chemiefasern auf Cellulosebasis

Fasertype	Herstellerwerk	Handelsbezeichnung
Viscosekunstseide	VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz	Prezenta, Suprema Travema
	VEB Sächsisches Kunstseidenwerk „Siegfried Rädel" Pirna	Viseta, Coseta
	VEB Kunstseidenwerk „Clara Zetkin" Elsterberg	Elstrama
	VEB Filmfabrik Agfa Wolfen	Agfa-Kunstseide
Kupferkunstseide	VEB Sächsisches Kunstseidenwerk „Siegfried Rädel" Pirna	Kuseta
Zellwolle	VEB Filmfabrik Agfa Wolfen	Vistra
	VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza	Merinova
	VEB Zellstoff- und Zellwollewerke Wittenberge	Wilana
	VEB Sächsische Zellwolle Plauen	Plavia
	VEB Spinnstoffwerk „Otto Buchwitz" Glauchau	—

5. Eigenschaften und Verwendung der Cellulosekunstseiden und Zellwollen. Chemiefasern auf Cellulosebasis besitzen Glanz, weichen Griff und sind geschmeidig. In bezug auf ihre Trockenreißfestigkeiten ähneln sie mittleren Baumwollqualitäten. Bei Viscose- 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 Viscose- und Kupferkunstfasern jedoch gute Naßreißfestigkeiten erzielt werden. Die Acetatseide besitzt bessere Gebrauchseigenschaften, vor allem geringe Knitterneigung sowie gute Quell- und Naßreißfestigkeit. Ihre Herstellung ist aber kostspieliger als die der erstgenannten Kunstfasern.

Viscose- und Kupferkunstfasern lassen sich wie Baumwolle färben. Die Acetatfasern verlangen besondere Farbstoffe und Färbeverfahren, da dieses Fasermaterial aus Celluloseestern besteht, während bei Baumwolle, Viscose- und Kupferkunstfasern Cellulose vorliegt.

Kunstseiden und Zellwollen 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 Kunstseiden und Zellwollen werden Oberbekleidung, Leib- und Gebrauchswäsche sowie Textilwaren für die Industrie hergestellt.

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. Die Grundmasse, aus der man die 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). Die 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 die Lösung durch Düsen im Warmluftstrom trocken versponnen.

Die PC-Faser weist eine Reihe von hervorragenden Eigenschaften auf. Sie ist wasserabstoßend und beständig gegen längere Wassereinwirkung, nicht entflammbar (Abb. 115), 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 Lagerung 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 hauptsächlich 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

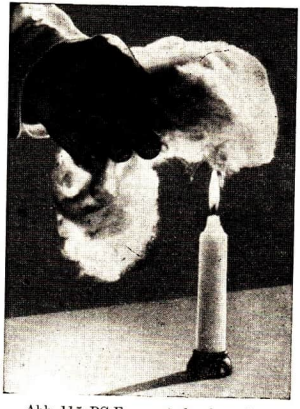


Abb. 115 PC-Fasern sind unbrennbar

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 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" getragen. Vylanerzeugnisse besitzen hohe Elastizität und werden von Motten nicht angegriffen. 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 Agfa Wolfen hergestellt.

2. Polyamid-Fasern. Die wichtigste Polyamidfaser unserer volkseigenen Chemiefaser-Produktion ist **Dederon (Perlon),** eine Erfindung des deutschen Chemikers Paul Schlack.

Ausgangsstoff für die technische Herstellung von Dederon ist das **ε-Aminocaprolactam.** Diese Verbindung wird in geschlossenen Gefäßen unter 10 bis 20 at Druck bei 250 bis 260°C zu Polycaprolactam umgewandelt. Das heiße Polycaprolactam wird in kaltem Wasser zu Bändern vergossen, die zu kleinen Schnitzeln zerhackt werden. 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. Diese Fäden werden bei Raumtemperatur auf das Drei- bis Fünffache der ursprünglichen Länge verstreckt (Abb. 116). Dadurch werden die Fäden

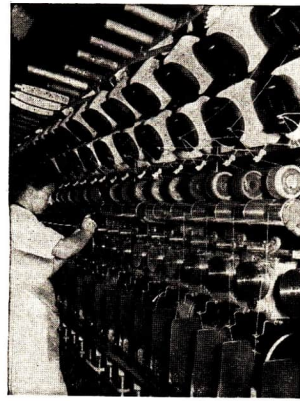


Abb. 116 Maschine zum Verstrecken und Zwirnen von Dederonseide

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 in Mischung mit anderen Textilfasern verspinnen, wodurch man Gespinste mit großen Festigkeiten erhält. Die Beständigkeit gegen Chemikalien ist gut.

Das Waschen von dederonhaltigen Textilien muß in mäßig warmem Wasser unter Verwendung von Neutralwaschmitteln erfolgen. Sauerstoffabspaltende Waschmittel greifen die Dederonfaser an und sind daher zu vermeiden. Dederon darf nur bis etwa 150°C erwärmt werden, da höhere Temperaturen zu nachteiligen Veränderungen, unter Umständen sogar zu einer Zerstörung der Faser führen.

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 dabei nur 6 Gramm. Aber auch Möbelbezugsstoffe, Gewebe für Ober- und Unterbekleidung, Krawatten, Schnürsenkel, Überzüge für Schirme, Filtertücher, Seile, Bänder, Schläuche, Kabelumspinnungen, Fischereibedarf, Treibriemen, Teppiche (Abb. 117), Gepäcknetze, Schreibmaschinenfarbbänder, Gurte, chirurgische Nähfäden und anderes werden aus Dederon hergestellt.

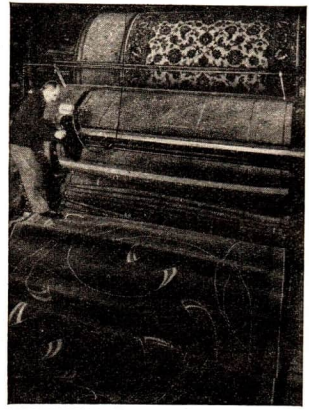


Abb. 117 Herstellung von Dederonteppichen im VEB Halbmond-Teppiche Oelsnitz

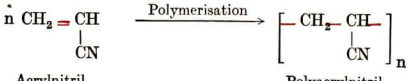
Dederon wird in der Deutschen Demokratischen Republik im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz, im VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza und im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen hergestellt.

Im VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza wird eine weitere Polyamidfaser, das **Trelon,** hergestellt. Trelon entsteht als **Mischpolyamid** aus ε-Aminocaprolactam und AH-Salz. Die Trelonfaser hat ähnliche hervorragende Eigenschaften wie Dederon. Sie wird zur Herstellung von Strümpfen, Ober- und Unterbekleidung und technischen Geweben verwendet.

Dederon (Perlon) und Trelon sind Polyamidfasern mit hervorragender Zerreiß- und Scheuerfestigkeit. Sie werden zu Strümpfen, Ober- und Unterbekleidung, technischen Geweben und anderen Artikeln verarbeitet.

3. Polyacrylnitrilfasern. Polyacrylnitrilfasern haben in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung erlangt. Die in der Deutschen Demokratischen Republik erzeugten Polyacrylnitrilfasern kommen unter den Bezeichnungen **Wolcrylon** (VEB Filmfabrik Agfa Wolfen) und **Prelana** (VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz) in den Handel.

Zur Herstellung von Wolcrylon und Prelana wird **Äthin** CH≡CH mit der stickstoffhaltigen Verbindung **Cyanwasserstoff** HCN zu **Acrylnitril** umgewandelt, das bei der Polymerisation einen weißen, festen Stoff, das **Polyacrylnitril,** bildet:



Acrylnitril — Polyacrylnitril

Polyacrylnitril wird in einem organischen Lösungsmittel gelöst und die erhaltene Lösung dann durch Spinndüsen in ein 80°C heißes Fällbad gepreßt. Polyacrylnitril wird in Form von Fäden ausgeschieden, die in heißen Bädern sehr stark verstreckt, dann geschnitten, gewaschen und getrocknet werden.

Polyacrylnitril-Fasern 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 (zum Beispiel Motten). Ihr Wärmehaltungsvermögen liegt höher als bei Naturwolle.

Aus Wolcrylon und Prelana werden Obertrikotagen (Abb. 118), Badeanzüge, Regenbekleidung, Filtertücher für die chemische Industrie, Vorhänge, Gardinen, Fischereinetze, Segeltücher, Zelte, Planen und anderes hergestellt. Beide Faserarten werden auch in Mischung mit Schafwolle oder Zellwolle versponnen und so zu Oberbekleidungs- oder Möbelstoffen und zu Geweben für die Wäscheindustrie verarbeitet.



Abb. 118 Prelana heißt die Polyacrylnitrilfaser aus dem VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz. Das junge Mädchen trägt ein Kleid aus Prelana.

Wolcrylon und Prelana sind wollähnliche Chemiefasern aus Polyacrylnitril. Sie besitzen ausgezeichnete Eigenschaften und werden 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 bei uns nur in verhältnismäßig geringen Mengen im VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza und im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz hergestellt und kommen unter der Bezeichnung **Lanon** in den Handel.

Zur Herstellung von Lanon werden bestimmte Polyester geschmolzen. Die Schmelze wird mit Hilfe von Pumpen durch Spinndüsen in Luft gepreßt. Die erstarrten Fäden werden anschließend auf das Vier- bis Fünffache der ursprünglichen Länge verstreckt.

Lanon besitzt ausgezeichnete Eigenschaften. Die Zerreißfestigkeit dieser Faserart liegt zwischen der des Dederon und der des Wolcrylon. Lanon zeigt bessere Elastizität als Schafwolle, ist knitterfest, licht- und wetterbeständig, wirkt wärmeisolierend und zeigt gute Haltbarkeit für Bügelfalten und Plissee. Lanon darf nicht stark erhitzt werden, da sonst nachteilige Veränderungen des Fasermaterials auftreten.

Lanongespinste dienen zur Herstellung von Oberbekleidung, Gardinen, Zeltstoffen, Fischereinetzen, Dekorationsstoffen, Planen, Filterstoffen, Reifenkord und anderen Erzeugnissen.

Lanon, eine Polyesterfaser, nimmt mit seinen ausgezeichneten Eigenschaften eine Mittelstellung zwischen Dederon und Wolcrylon (beziehungsweise Prelana) ein und wird vor allem zur Herstellung von Oberbekleidung, Dekorationsstoffen und technischen Geweben verwendet.

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 so nicht nur dazu bei, den Bedarf an natürlichen Textilrohstoffen zu verringern, sondern liefert auch Fasern, die durch ihre hervorragenden Eigenschaften den Naturfasern weit überlegen sind. In der Pro-Kopf-Erzeugung von Chemiefasern steht die Deutsche Demokratische Republik an erster Stelle in der Welt.

Einen besonders hohen Anteil an unserer Chemiefaserproduktion hat die Zellwolleherstellung. Die Produktion von Zellwolle konnte durch die Verwirklichung unserer Volkswirtschaftspläne erheblich gesteigert werden. Sie machte 1958 bereits mehr

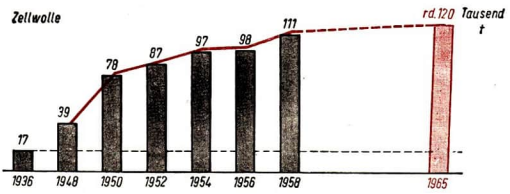


Abb. 119 Entwicklung der Produktion von Zellwolle in der Deutschen Demokratischen Republik

als das Sechsfache der des Jahres 1936 aus. Der Siebenjahrplan sieht eine weitere Steigerung der Zellwolleerzeugung auf rund 120000 Tonnen im Jahre 1965 vor (Abb. 119). In den letzten Jahren wurden zahlreiche neuartige Zellwolletypen entwickelt, die sich für Spezialzwecke bewährt haben. Zellwolle wird 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.

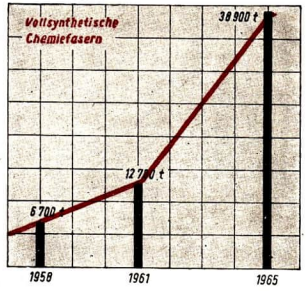


Abb. 120 Entwicklung der Produktion von vollsynthetischen Chemiefasern in der Deutschen Demokratischen Republik bis 1965

Von besonderer Bedeutung ist die Produktion vollsynthetischer Chemiefasern, die im Verlauf des Siebenjahrplans auf mehr als das Fünffache der des Jahres 1958 ansteigen wird (Abb. 120). In der Erzeugung der Dederonfaser konnten unsere Chemiefaserwerke in den letzten Jahren bereits gute Ergebnisse erzielen (Abb. 121). Die Dederonproduktion wird in den nächsten Jahren wesentlich erweitert. Bis 1965 wird sie auf rund 13400 Tonnen ansteigen. Zur Erreichung dieses Zieles wird im Rahmen des Chemieprogramms ein großes Chemiefaserkombinat in Guben gebaut, das in seiner Flächenausdehnung etwa dem Kunstfaserwerk in Schwarza gleichkommen wird. Dieses neue Chemiefaserkombinat soll bereits 1963 die erste Dederonseide liefern.

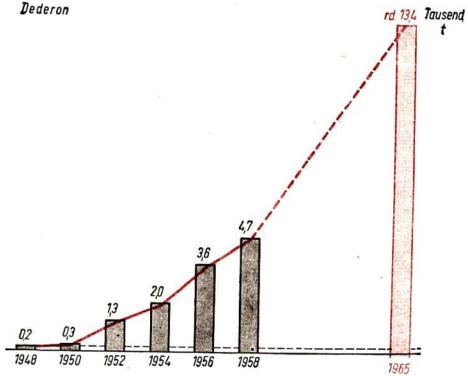


Abb. 121 Entwicklung der Produktion von Dederon in der Deutschen Demokratischen Republik

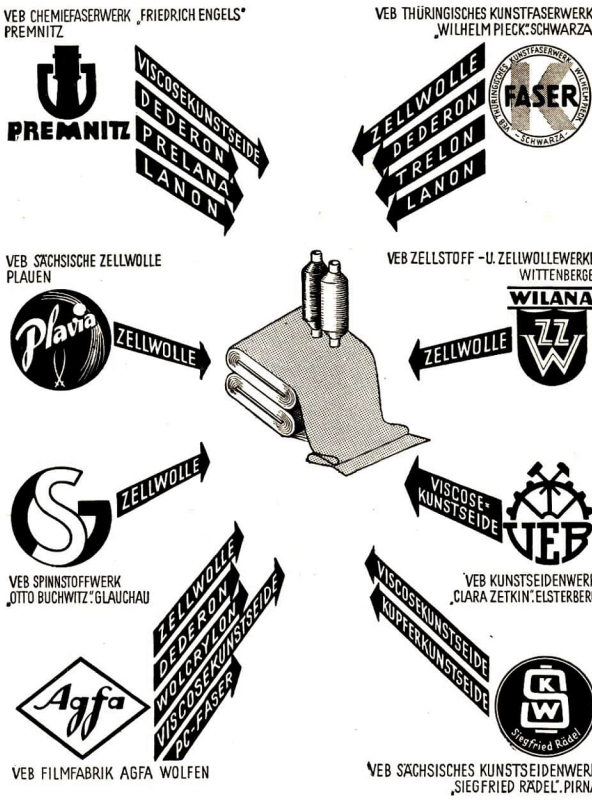


Abb. 122 Die Chemiefaserindustrie der Deutschen Demokratischen Republik

Auf mehr als das Sechsfache wird bis 1965 die Produktion der Polyacrylnitrilfasern Prelana und Wolcrylon ansteigen. Dazu werden im VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz und im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen neue, große Anlagen errichtet.

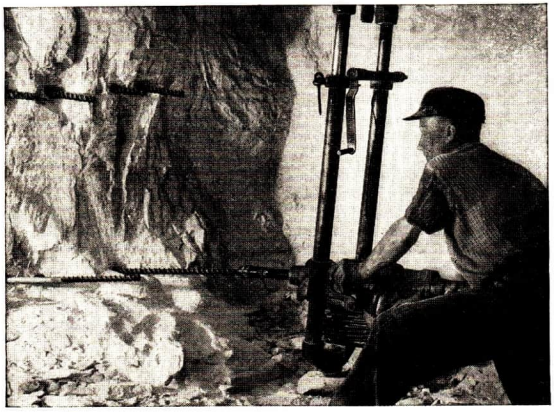
Auch für die Polyesterfaser Lanon wird bis 1965 die Großproduktion aufgenommen. Das geplante Chemiefaserkombinat Guben soll nach seiner Fertigstellung jährlich 10000 Tonnen Lanon liefern. Der VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz und der VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza haben die Aufgabe übernommen, bei der Versuchsproduktion von Lanon Produktionserfahrungen zu sammeln und Facharbeiter für das Chemiefaserkombinat in Guben auszubilden.

Die PC-Faser-Produktion im VEB Filmfabrik Agfa Wolfen wird 1965 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 122 sind die wichtigsten Werke unserer Chemiefaserindustrie zusammengestellt.

Wiederholungsfragen und Aufgaben:

1. *Unterscheiden Sie die Begriffe „Chemiefäden" und „Chemiespinnfasern"!*
2. *Erläutern Sie die Erzeugung von Viscosekunstseide!*
3. *Welche Unterschiede bestehen zwischen Kupferkunstseide und Acetatkunstseide?*
4. *Wie wird Zellwolle hergestellt? Erläutern Sie die Unterschiede zwischen Kunstseiden- und Zellwollerzeugung!*
5. *Welche Artikel stellt man aus Kunstseiden und Zellwollen her?*
6. *Welche Unterschiede bestehen zwischen der Herstellung von Cellulosefasern und vollsynthetischen Fasern?*
7. *Erläutern Sie die Herstellung und Eigenschaften der PC-Faser!*
8. *Erläutern Sie Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Dederon!*
9. *Welche Zusammensetzung hat Trelon? Wozu wird es verwendet?*
10. *Vergleichen Sie Eigenschaften und Verwendungszwecke von Polyacrylnitril- und Polyesterfasern!*
11. *Nennen Sie Herstellerbetriebe und Handelsbezeichnungen der in unserer Republik erzeugten Chemiefasern!*
12. *Erläutern Sie die Bedeutung unserer Chemiefaserindustrie!*
13. *Welche Ziele wurden für die weitere Entwicklung unserer Chemiefaserindustrie bis 1965 festgelegt?*
14. *Was ist beim Gebrauch, beim Reinigen, Bügeln usw. von Textilwaren aus PC-Fasern, Dederon, Wolcrylon (bzw. Prelana) und Lanon zu beachten?*



Bohren von Sprenglöchern in einem Salzbergwerk
Explosivstoffe haben große volkswirtschaftliche Bedeutung. Ihre Anwendung verringert bei vielen Prozessen den Arbeitsaufwand beträchtlich. Das 13. Kapitel gibt einen Überblick über Zusammensetzung, Eigenschaften und Anwendung der wichtigsten Explosivstoffe

13. KAPITEL

Explosivstoffe

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/s).

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 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/s. 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/s) wird als Detonation bezeichnet.

Von Bedeutung ist die Eigenschaft der Explosivstoffe, bei der Detonation die umliegenden Körper zu zertrümmern. Diese Fähigkeit bezeichnet man als **Brisanz**[3]). Auf der Brisanz der Explosivstoffe beruht ihre vielseitige Verwendung.

Die Brisanz eines Explosivstoffes ist seine zertrümmernde Wirkung bei der Detonation.

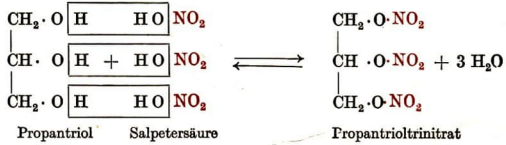
[1]) explosio (latein.) = klatschende Ausdehnung
[2]) detonare (latein.) = herabdonnern, losdonnern
[3]) briser (französ.) = zerbrechen

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 kettenförmigen Hydroxylverbindungen. Hierher gehören zum Beispiel Propantrioltrinitrat (Glyceryltrinitrat), Äthylendinitrat (Glykoldinitrat) und Cellulosenitrate. Für die Bildung dieser Verbindungen gilt die Gleichung:

$$R \cdot OH + HNO_3 \rightleftarrows R \cdot O \cdot NO_2 + H_2O.$$

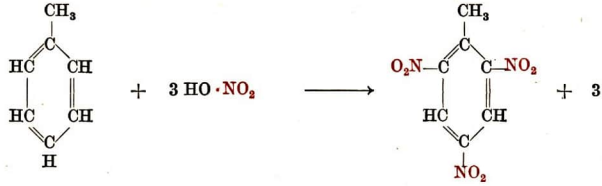
Ein Beispiel hierfür ist die Bildung des Propantrioltrinitrats:



Da es sich bei diesen Verbindungen um Salpetersäureester (organische Nitrate) handelt, sind die heute noch oft gebrauchten Bezeichnungen Nitroglycerin, Nitroglykol, Nitrocellulosen 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 das Trinitrotoluol und das Trinitrophenol.

Diese Nitroverbindungen werden durch Substitutionsreaktionen hergestellt. Bei der Umsetzung von aromatischen Verbindungen mit Salpetersäure werden Wasserstoffatome des aromatischen Ringes durch Nitrogruppen substituiert, zum Beispiel



Die meisten Explosivstoffe sind oder enthalten organische Nitrate (Salpetersäureester) oder Nitroverbindungen.

Die chemischen Reaktionen bei den Explosionsvorgängen sind fast ausschließlich Oxydationen, zum Beispiel

$$4\ C_3H_5(ONO_2)_3 \longrightarrow 12\ CO_2 + 10\ H_2O + 6\ N_2 + O_2 .$$

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 ist die Herstellung, der Besitz beziehungsweise die Lagerung von Explosivstoffen sowie der Umgang mit ihnen nur besonders ausgebildeten Personen, die außerdem eine besondere Genehmigung besitzen müssen, gestattet. Diese strengen Vorschriften sind notwendig, damit durch unbefugten oder fahrlässigen Umgang mit Explosivstoffen weder Menschenleben noch Sachwerte in Gefahr gebracht werden können. Wer diese Verbote mißachtet, wird bestraft.

Herstellung, Besitz und Gebrauch von Explosivstoffen ist 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 den Lauf nicht verlassen kann (Schmutz oder Rost im Lauf, Verschluß durch Mündungsdeckel, Eintauchen der Mündung in Wasser). Die Zersetzung (Verbrennung) des Schießstoffes soll jedoch beendet sein, wenn sich das Geschoß im Laufe 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.

4. Bedeutung der Explosivstoffe. Explosivstoffe haben in der Volkswirtschaft große Bedeutung. Durch ihre Anwendung kann der Mensch bei vielen Arbeitsvorgängen von schwerer körperlicher Arbeit entlastet werden. Die Verwendung von Explosivstoffen verringert bei vielen Prozessen den Arbeitsaufwand beträchtlich. Dadurch kann eine wesentliche Erhöhung der Produktivität erreicht werden.

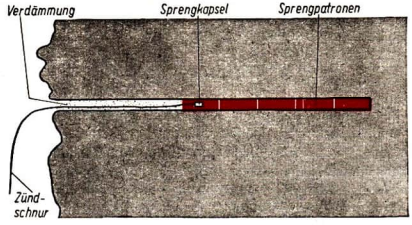


Abb. 123 Sprengladung in einem Bohrloch

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 unentbehrliche 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 großer 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. 123). 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

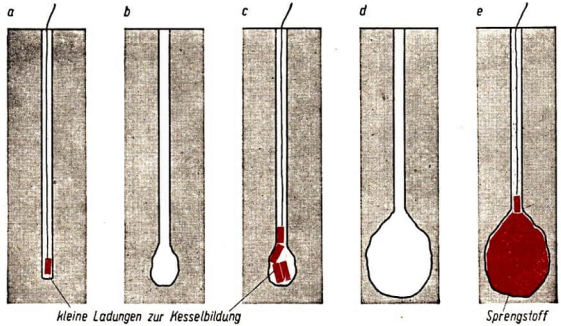


Abb. 124 Kesselladung

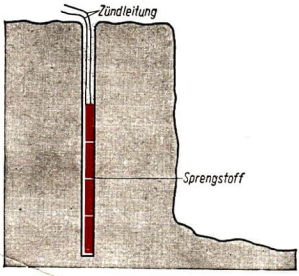


Abb. 125 Säulenladung

Detonation. Ein anderes Verfahren ist die Anwendung von **Kesselladungen.** Hierbei wird das Ende des Sprengloches durch mehrfache, aufeinanderfolgende Zündung kleinerer Ladungen zu einer kesselförmigen Aushöhlung erweitert. Danach wird die Aushöhlung mit Sprengstoff gefüllt (Abb. 124) und dann in der üblichen Weise gezündet.

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 und dadurch die Wand zum Einsturz gebracht. 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. 125). Die Ladungen werden gleichzeitig zur Detonation gebracht und dadurch der Abbruch und Einsturz der Gesteinsmassen erreicht.

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, mit starken Sprengstoffladungen gefüllt und der Zugang wieder verdämmt. Bei dieser Art der Sprengung entstehen trichterförmige Vertiefungen (Abb. 126). 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

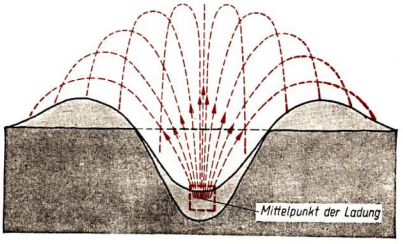


Abb. 126 Trichtersprengung

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 Anwendungsgebieten.

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 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 der Deutschen Demokratischen 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. So hat die Sowjetregierung zum Beispiel am 18. September 1959 ein umfangreiches Programm für die allgemeine und vollständige Abrüstung vorgeschlagen. Auf der Zehn-Mächte-Abrüstungskonferenz im Jahre 1960 in Genf hat die Sowjetunion erneut konkrete Vorschläge zur Abrüstung unterbreitet. Die Sowjetunion ist selbst mit gutem Beispiel vorangegangen und hat ihre Streitkräfte in den letzten Jahren beträchtlich verringert.

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.

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, zur Füllung von Zeitzündschnüren und als Sprengstoff verwendet.

Schwarzpulver besteht aus Kaliumnitrat, Holzkohle und Schwefel. Es wird zur Herstellung von Zündschnüren und Feuerwerkskörpern sowie als Sprengstoff verwendet.

2. Rauchschwache Pulver. Behandelt man Cellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ mit Salpetersäure, so bilden sich Cellulosenitrate. Diese Reaktion ist eine Esterbildung. Sie ist deshalb möglich, weil das Cellulosemolekül zahlreiche Hydroxylgruppen enthält. Auf einen Baustein $-C_6H_{10}O_5-$ entfallen drei Hydroxylgruppen. Man kann daher für Cellulose 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 Cellulose, zum Beispiel:

$[C_6H_7O_2(OH) \cdot (NO_3)_2]_n$ Cellulosedinitrat

$[C_6H_7O_2 \cdot (NO_3)_3]_n$ Cellulosetrinitrat

Liegen als Reaktionsprodukte hauptsächlich Cellulosedinitrate vor, so nennt man das Erzeugnis **Collodiumwolle. Schießbaumwolle** besteht dagegen im wesentlichen aus Cellulosetrinitrat und ist eine hochbrisante Substanz.

Sowohl Collodiumwolle 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 Cellulosenitrate mit geeigneten organischen Lösungsmitteln behandelt. Danach werden die Lösungsmittel durch Verdampfen entfernt. Nach dieser Behandlung sind die Cellulosenitrate 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 Cellulosenitraten und Äthylendinitrat (Glykoldinitrat) her.

Die rauchschwachen Pulver bestehen hauptsächlich aus gelatinierten Cellulosenitraten.

1. Dynamite. Läßt man Salpetersäure auf Propantriol (Glycerin) 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 Eigenschaft 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 Collodiumwolle. 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 Äthylendinitrat, das fast frostunempfindlich ist.



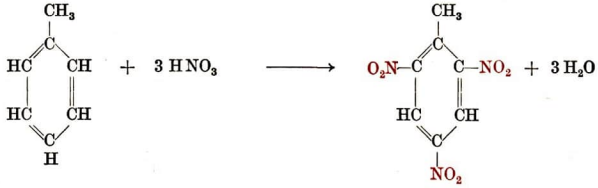
Äthylendinitrat (Glykoldinitrat)

Gelatinedynamit detoniert mit einer Geschwindigkeit von etwa 6400 m/s. 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 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 bzw. dem Dinitrat des Äthandiols. Durch Gelatinieren mit Collodiumwolle und Zumischen verschiedener Stoffe erhält man die (handhabungssicheren) Gelatinedynamite.

2. Trotyl und Pikrinsäure. Reagiert Salpetersäure entsprechender Konzentration mit Toluol (Methylbenzol) $C_6H_5 \cdot CH_3$, so werden drei Wasserstoffatome des Benzolringes durch Nitrogruppen $-NO_2$ substituiert. Es entsteht ein symmetrisch aufgebautes **Trinitrotoluol** (2,4,6-Trinitrotoluol), das in der Sprengtechnik kurz als **Trotyl** bezeichnet wird.

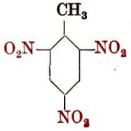
[1]) dynamis (griech.) = Bewegung



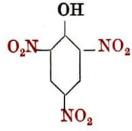
Toluol 2,4,6-Trinitrotoluol

Trinitrotoluol ist ein gelber kristalliner Stoff, der bei Zündung mit einer Geschwindigkeit von 6700 m/s detoniert, wobei sich aus einem Kilogramm Sprengstoff 690 l Gase (berechnet auf den Normzustand) entwickeln. Die Explosionstemperatur beträgt 2820°C. Trinitrotoluol wird militärisch vielseitig verwendet. Es dient vor allem zur Füllung von Granaten, Bomben, Torpedos usw.

Ähnlich aufgebaut wie das Trinitrotoluol ist das **Trinitrophenol,** das auch als **Pikrinsäure**[1]) bezeichnet wird. Pikrinsäure entsteht durch Einwirkung von Salpetersäure auf Phenol $C_6H_5 \cdot OH$. Bei dieser Reaktion wird ebenfalls Wasserstoff durch Nitrogruppen substituiert. Ein Vergleich der Strukturformeln zeigt den ähnlichen Aufbau beider Verbindungen:



2,4,6-Trinitrotoluol (Trotyl)



2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure)

Trinitrophenol ist eine gelbe, intensiv bitter schmeckende Substanz. Als Sprengstoff zeigt es sich in einigen Eigenschaften dem Trinitrotoluol überlegen. Seine Detonationsgeschwindigkeit beträgt 7100 m/s und seine Explosionstemperatur 3230°C. Da aber Trinitrophenol, das als erster schußsicherer Sprengstoff für Geschoßladungen verwendet wurde, Metalle (z. B. bei Granaten), angreift, wobei sich leicht explodierende Verbindungen bilden, ist es neuerdings durch das Trinitrotoluol weitgehend verdrängt worden. Für den Bergbau kommt Trinitrophenol nicht in Betracht, denn es bildet bei der Explosion giftige Gase und zeigt auch noch andere nachteilige Eigenschaften.

Sprengstoffe aus der Gruppe der aromatischen Nitroverbindungen sind das Trinitrotoluol (Trotyl) und das Trinitrophenol (Pikrinsäure).

[1]) pikros (griech.) = bitter

3. 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-Luftgemischen. 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 etwa 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, Natriumhydrogencarbonat 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 dieser 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 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/s. Knallschnüre werden meist elektrisch gezündet, und dienen u. a. zur gleichzeitigen Zündung mehrerer Sprengladungen, bei denen sie außerdem die Sprengkapseln ersetzen.

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 Cellulosenitrate, 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 Strengstoffe 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. 127). Die Metallhülse ist bis fast zur Hälfte mit einem Sprengstoff (Unterladung) gefüllt. Darüber wird der Initialsprengstoff (Aufladung) zusammen mit einem Deckhütchen aufgepreßt, dessen Bodenplatte durchlocht ist. Für eine Sprengung setzt man die Spreng-

[1]) initium (latein.) = Anfang, Beginn



kapsel 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.

Abb. 127 Schematische Darstellung einer Sprengkapsel

Initialsprengstoffe werden in Form von Sprengkapseln oder Zündhütchen angewendet. Sprengkapseln dienen zur Zündung von Sprengladungen. Mit Zündhütchen werden Pulverladungen von Patronen gezündet.

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 „Nitroglycerin" für die Verbindung* $C_3H_5(O \cdot NO_2)_3$ *falsch?*
8. *Durch welche Reaktionen werden Trinitrophenol und Trinitrotoluol hergestellt?*
9. *Vergleichen Sie die Reaktionsprodukte, die bei der Umsetzung der Salpetersäure mit Cellulose 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. *Vergleichen Sie Trinitrophenol und Trinitrotoluol in bezug auf Struktur und Eigenschaften!*

7500 m/s. Knallschnüre werden meist elektrisch gezündet, und dienen u. a. zur gleichzeitigen Zündung mehrerer Sprengladungen, bei denen sie außerdem die Sprengkapseln ersetzen.

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 Cellulosenitrate, 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 Strengstoffe 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. 127). Die Metallhülse ist bis fast zur Hälfte mit einem Sprengstoff (Unterladung) gefüllt. Darüber wird der Initialsprengstoff (Aufladung) zusammen mit einem Deckhütchen aufgepreßt, dessen Bodenplatte durchlocht ist. Für eine Sprengung setzt man die Spreng-

[1]) initium (latein.) = Anfang, Beginn



kapsel 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.

Abb. 127 Schematische Darstellung einer Sprengkapsel

Initialsprengstoffe werden in Form von Sprengkapseln oder Zündhütchen angewendet. Sprengkapseln dienen zur Zündung von Sprengladungen. Mit Zündhütchen werden Pulverladungen von Patronen gezündet.

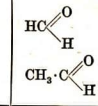
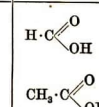
Wiederholungsfragen und Aufgaben:

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 „Nitroglycerin" für die Verbindung* $C_3H_5(O \cdot NO_2)_3$ *falsch?*
8. *Durch welche Reaktionen werden Trinitrophenol und Trinitrotoluol hergestellt?*
9. *Vergleichen Sie die Reaktionsprodukte, die bei der Umsetzung der Salpetersäure mit Cellulose 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. *Vergleichen Sie Trinitrophenol und Trinitrotoluol in bezug auf Struktur und Eigenschaften!*

17. *Was versteht man unter Sicherheitssprengstoffen und welche Eigenschaften haben diese Stoffe?*
18. *Erläutern Sie die Zusammensetzung der Sicherheitssprengstoffe in Hinblick auf deren typische Eigenschaften!*
19. *Was sind „ummantelte Wettersprengstoffe" und wie wirken sie?*
20. *Sprechen Sie über Bau, Eigenschaften und Verwendung von Zeitzündschnuren!*
21. *Wodurch unterscheiden sich Knallschnüre von Pulverzündschnüren?*
22. *Erläutern Sie an einer Skizze Bau und Wirkung einer Sprengkapsel!*
23. *Was sind Zündhütchen und wie wirken sie?*

Zusammenfassender Überblick über die organische Chemie

1. Stoffgruppen

Name	allgemeine Formel	Vertreter	Summenformel	vereinfachte Struckturformel
Alkane (Paraffine)	C_nH_{2n+2}	Methan Äthan Propan Butan	CH_4 C_2H_6 C_3H_8 C_4H_{10}	CH_4 $CH_3 \cdot CH_3$ $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_3$ $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_3$
Alkene (Olefine)	C_nH_{2n}	Äthen (Äthylen) Propan (Propylen)	C_2H_4 C_3H_6	$CH_2=CH_2$ $CH_2=CH-CH_3$
Alkine	C_nH_{2n-2}	Äthin (Acetylen) Propin (Allylen)	C_2H_2 C_3H_4	$CH \equiv CH$ $CH \equiv C-CH_3$
Alkanole	$C_nH_{2n+1} \cdot OH$	Methanol (Methylalkohol) Äthanol (Äthylalkohol)	$CH_3 \cdot OH$ $C_2H_5 \cdot OH$	$CH_3 \cdot OH$ $CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH$
Alkandiole	$R(OH)_2$	Äthandiol (1,2) (Glykol)	$C_2H_4(OH)_2$	$CH_2OH \cdot CH_2OH$
Alkantriole	$R(OH)_3$	Propantriol-(1,2,3) (Glyzerin)	$C_3H_5(OH)_3$	$CH_2OH \cdot CHOH \cdot CH_2OH$
Alkanale (Aldehyde)	$R \cdot CHO$	Methanal (Formaldehyd) Äthanal (Acetaldehyd)	$HCHO$ $CH_3 \cdot CHO$	
Alkansäuren (Fettsäuren, Carbonsäuren)	$R \cdot COOH$	Methansäure (Ameisensäure) Äthansäure (Essigsäure)	$HCOOH$ $CH_3 \cdot COOH$	
Hydroxysäuren (Oxysäuren)		2-Hydroxypropansäure (Milchsäure)		$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOH$

Name	Allgemeine Formel	Vertreter	Summenformel	vereinfachte Strukturformel
Alkandisäuren	$R\cdot(COOH)_2$	Äthandisäure (Oxalsäure)	$(COOH)_2$	HOOC·COOH
		Propandisäure (Malonsäure)	$CH_2\cdot(COOH)_2$	$HOOC\cdot CH_2\cdot COOH$
2-Aminosäuren (α-Aminosäuren)	$R(NH_2)_n(COOH)_m$	Aminoäthansäure (Glycin, Glykokoll, Aminoessigsäure)	$CH_2(NH_2)COOH$	$CH_2\cdot COOH$ $\dot{N}H_2$
		2-Aminopropansäure (Alanin, α-Aminopropionsäure)	$C_2H_4(NH_2)COOH$	$CH_3\cdot CH\cdot COOH$ $\dot{N}H_2$
Ester	$R_1\cdot O\cdot OC\cdot R_2$	Äthyläthanat (Essigsäureäthylester)		$C_2H_5\cdot O\cdot OC\cdot C_2H_5$
Aromatische Verbindungen		Benzol	C_6H_6	
		Methylbenzol (Toluol)	$C_6H_5\cdot CH_3$	
		Benzolcarbonsäure (Benzoesäure)	$C_6H_5\cdot COOH$	
		Hydroxybenzol (Phenol)	$C_6H_5\cdot OH$	
		Aminobenzol (Anilin)	$C_6H_5\cdot NH_2$	
		Nitrobenzol	$C_6H_5\cdot NO_2$	
Kohlenhydrate		Glucose (Traubenzucker)	$C_6H_{12}O_6$	
		Fructose (Fruchtzucker)	$C_6H_{12}O_6$	
		Saccharose (Rohrzucker)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	
		Stärke	$(C_6H_{10}O_5)_n$	
		Cellulose	$(C_6H_{10}O_5)_n$	

2. Grundbegriffe

Acyclische Verbindungen — Hauptgruppe der organischen Verbindungen; bei ihnen bilden die Moleküle offene (unverzweigte oder verzweigte) Ketten.

Cyclische Verbindungen — Hauptgruppe der organischen Verbindungen; bei ihnen liegt ein geschlossener Ring als Grundgerüst der Moleküle vor.

Gesättigte Verbindungen — Verbindungen, die zwischen den Kohlenstoffatomen nur Einfachbindungen besitzen.

Ungesättigte Verbindungen — Verbindungen, die Mehrfachbindungen zwischen Kohlenstoffatomen aufweisen.

Homologe Reihe — Reihe gleichartig aufgebauter organischer Verbindungen, deren Glieder sich gleichbleibend durch die Gruppe $-CH_2-$ unterscheiden.

Isomere — Verbindungen gleicher Summenformel, aber verschiedener Struktur.

Derivate — Verbindungen, die durch Ersatz von Atomen der Ausgangsverbindungen durch Atome oder Atomgruppen entstanden sind.

Radikale — Ein- oder mehrwertige Atomgruppen organischer Verbindungen.

Funktionelle Gruppen — Charakteristische Atomgruppen, die weitgehend das chemische Verhalten organischer Verbindungen bestimmen.

3. Reaktionen

Substitution — Ersatz von Atomen oder Atomgruppen in Verbindungen durch andere Atome oder Atomgruppen, zum Beispiel:

$$\underset{\text{Methan}}{CH_4} + 3\,Cl_2 \rightarrow \underset{\text{Monochlormethan}}{CHCl_3} + 3\,HCl$$

Addition — Bildung einer Verbindung aus zwei Ausgangsstoffen, ohne daß dabei Nebenprodukte entstehen, zum Beispiel:

$$\underset{\text{Äthin}}{CH_2 = CH_2} + Br_2 \rightarrow \underset{\text{Dibromäthan}}{CH_2Br \cdot CH_2Br}$$

Hydrierung — Anlagerung von Wasserstoff durch chemische Bindung, zum Beispiel:

$$\underset{\text{Äthanal}}{CH_3 \cdot CHO} + H_2 \rightarrow \underset{\text{Äthanol}}{CH_3 \cdot CH_2 \cdot OH}$$

Dehydrierung — Abspaltung von Wasserstoff aus chemischen Verbindungen, zum Beipiel:

$$\underset{\text{Methanol}}{CH_3 \cdot OH} \rightarrow \underset{\text{Methanal}}{HCHO} + H_2$$

Esterbildung

Reaktion von Alkoholen mit Säuren, wobei Ester und (aus Hydroxylgruppen der Säuren und Wasserstoff aus den Hydroxylgruppen der Alkohole) Wasser gebildet wird, zum Beispiel:

$$C_2H_5 \cdot O \boxed{H + HO} OC \cdot CH_3 \rightarrow C_2H_5 \cdot O \cdot OC \cdot CH_3 + H_2O$$

Äthanol Äthansäure Äthyläthanat

Polymerisation

Verknüpfung von Molekülen einfach gebauter, ungesättigter Verbindungen zu Makromolekülen, zum Beispiel:

$$n\,CH_2 = CHCl + \rightarrow (-CH_2-CHCl-)_n$$

Polykondensation

Verknüpfung von Molekülen einfach gebauter, ungesättigter Verbindungen zu Makromolekülen, wobei andere Stoffe (z. B. Wasser) als Nebenprodukt entstehen, zum Beispiel:

$$nR \cdot NH_2 + n\,HCHO \rightarrow \left[\begin{array}{c} -N-CH_2- \\ | \\ R \end{array} \right]_n + n\,H_2O$$

6. Nachweisreaktionen

Reagenz	Nachweis für	Reaktionsmerkmal
Brom, Bromwasser	Mehrfachbindungen	Entfärbung infolge Addition von Brom.
BAEYERS Reagenz	Mehrfachbindungen	Verfärbung; braunes Mangan (IV)-oxydhydrat flockt aus.
ammoniakalische Silbersalzlösung	Reduktionswirkung von Verbindungen	Beim Erwärmen Schwarzfärbung durch Ausscheidung von feinverteiltem Silber; Silberspiegel an der Gefäßwand.
FEHLINGsche Lösung	Reduktionswirkung von Verbindungen	Beim Erhitzen zunächst Verfärbung, dann ziegelroter Niederschlag von Kupfer(I)-oxyd.
fuchsinschweflige Säure (SCHIFFsReagenz)	Alkanale	Rotviolette Färbung infolge Bildung einer Additionsverbindung
Ammoniumoxalat (in äthansaurer Lösung)	Calciumionen	Fällung von weißem Calciumoxalat
Seifenlösung nach BOUTRON und BOUDET	Gesamthärte des Wassers	Zugabe bis Seifenschaum stehen bleibt.
Jod-Kaliumjodid-Lösung	Stärke	Blaufärbung
Chlorzinkjodlösung	Cellulose	Blaufärbung

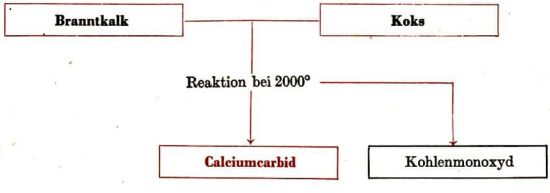
5. Wichtige Rohstoffe für die organisch-chemische Industrie

Kalkstein	*Verwendung:* Hilfsstoff für die Herstellung von Zellstoff; zur Erzeugung von Branntkalk (Ausgangsstoff für die Herstellung von Calciumcarbid, Hilfsstoff bei der Zuckergewinnung).
Braunkohle	*Verwendung:* Ausgangsstoff für die Vergasung, Verkokung, Schwelung, Hochdruckhydrierung und Kohlenwasserstoffsynthese.
Erdöl	*Verwendung:* Ausgangsstoff für die Herstellung von Kraftstoffen, Schmierstoffen, Heizölen, Paraffin, Erdölpech und Grundchemikalien für die Petrolchemie.
Steinsalz	*Verwendung:* Rohstoff für die Herstellung von Ausgangsstoffen für Verfahren der organisch-chemischen Industrie (Ätznatron, Chlor, Wasserstoff), durch die Kohlenwasserstoffe, Lösungsmittel, Waschmittel, Plaste und Chemiefasern erzeugt werden; Hilfsstoff bei der Erzeugung von Seifen.
Holz, Stroh, Schilf	*Verwendung:* Ausgangsstoff für die Herstellung von Zellstoff, Äthanol, Klebstoffen, Appreturmitteln, Pech.
Fette	*Verwendung:* Ausgangsstoff für die Herstellung von Nahrungsmitteln, Seifen, Anstrichmitteln, Kosmetika, Fettsäuren, Propantriol.
Wasser	*Verwendung:* Ausgangsstoff für die Erzeugung von Synthesegasen, Äthin, Äthanal; für die Spaltung von Fetten und Kohlenhydraten; als Reinigungsmittel, Lösungsmittel, Wärmeüberträger (Dampf).

6. Wichtige Verfahren der organisch-chemischen Industrie

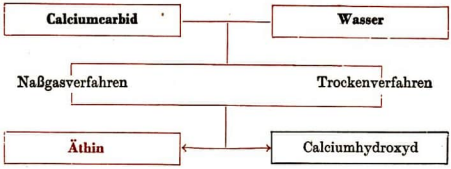
Erzeugung von Calciumcarbid

Calciumcarbid wird aus Branntkalk und Koks bei etwa 2000°C im Elektroofen erzeugt.



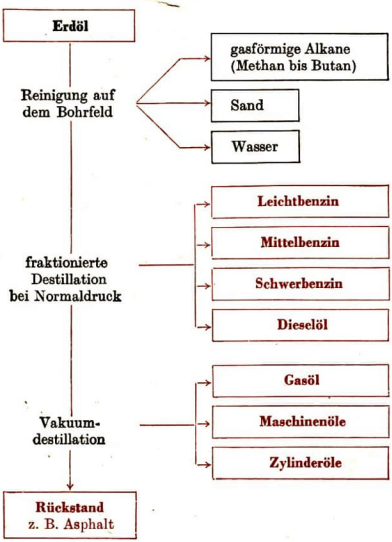
Erzeugung von Äthin

Calciumcarbid wird mit Wasser in geschlossenen Apparaten (nach zwei Verfahren) umgesetzt.



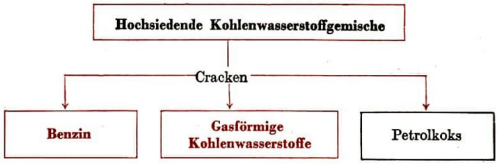
Aufarbeitung von Erdöl

Nach Abtrennung von Begleitstoffen und gasförmigen Alkanen auf dem Bohrfeld erfolgt Zerlegung in Destillate bestimmter Siedebereiche durch Destillation in zwei Abschnitten.



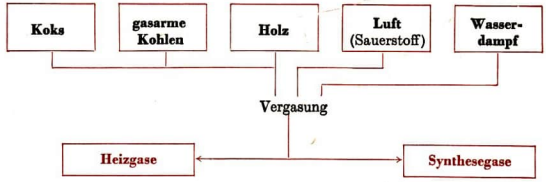
Crackprozeß

Die Kohlenwasserstoffe hochsiedender Erdölfraktionen werden durch Erhitzen auf 300° bis 600° C unter Druck von 5 bis 80 at (meist mit Katalysatoren) in kleinere Moleküle zerlegt.



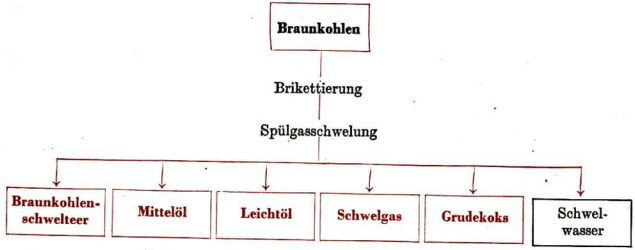
Vergasung von Brennstoffen

Luft (Sauerstoff) beziehungsweise Wasserdampf wird in Gasgeneratoren über glühende Brennstoffe geleitet.



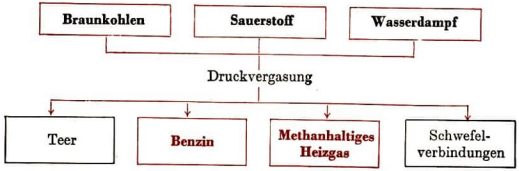
Spülgasschwelung

Briketts aus bitumenreichen Braunkohlen werden bei 250° C vorgetrocknet und dann von 600° C heißen Gasen „umspült"; anschließend werden die Schwelprodukte aus den Spülgasen abgetrennt.



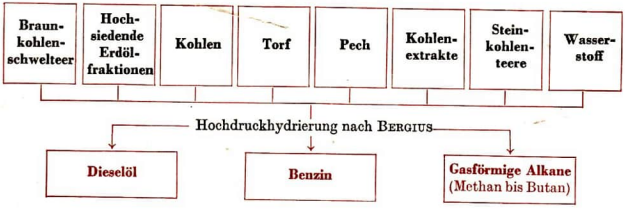
Druckvergasung von Braunkohlen

Sauerstoff und überhitzter Wasserdampf werden unter Druck (22 bis 24 at) über glühende Braunkohlen geleitet.



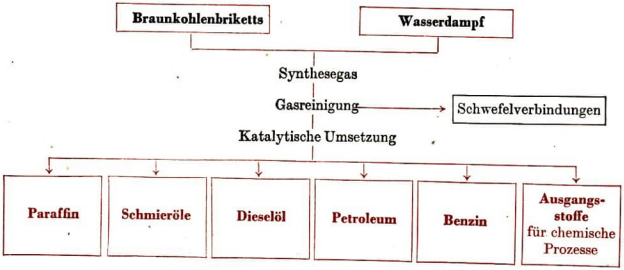
Hochdruckhydrierung nach BERGIUS

Die Ausgangsstoffe werden bei etwa 500°C unter einem Druck von 200 bis 700 at in Gegenwart von Katalysatoren in zwei Stufen (Sumpfphase und Gasphase) hydriert.



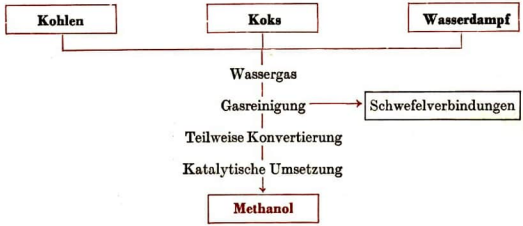
Synthesen nach FISCHER-TROPSCH und FISCHER-PICHLER

Synthesegas (H_2; CO) wird im Kontaktofen bei 200°C entweder unter atmosphärischem Druck oder unter 5 bis 20 at an Eisen- oder Kobaltkontakten zu Kohlenwasserstoffen umgesetzt.



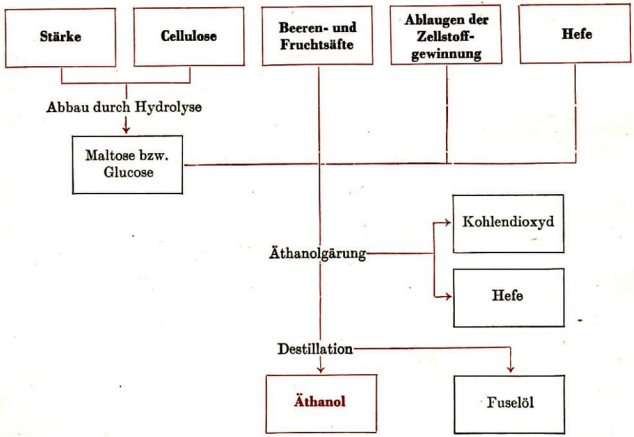
Methanolsynthese

Teilweise konvertiertes Wassergas ($H_2 : CO = 2 : 1$) wird im Kontaktofen bei 370°C und unter 200 at Druck an Zinkoxyd-Chrom(III)-oxyd-Katalysatoren zu Methanol umgesetzt.



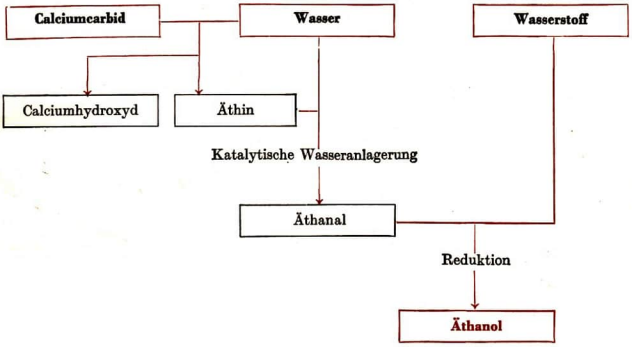
Erzeugung von Äthanol durch Gärung

Äthanolgärung (alkoholische Gärung) von zuckerhaltigen Flüssigkeiten mit Hilfe der Hefeenzyme bei 30°C.



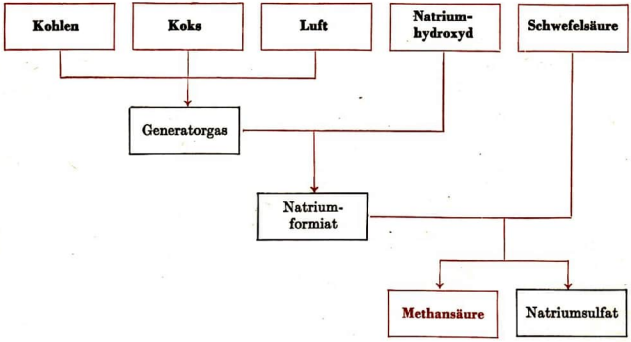
Äthanolsynthese

Reduktion von Äthanal, das aus Äthin erzeugt wird.



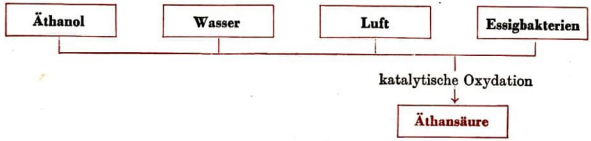
Herstellung von Methansäure

Man läßt Generatorgas bei 110°C und unter 6 bis 8 at Druck auf festes Natriumhydroxyd oder auf Natronlauge einwirken und zerlegt das entstandene Natriumformiat mit Schwefelsäure.



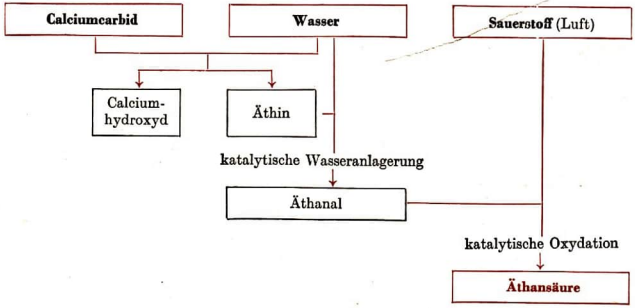
Erzeugung von Athansäure durch Gärung

Wäßrige Lösungen von Äthanol werden durch Luftsauerstoff mit Hilfe von Enzymen (aus Essigbakterien) oxydiert.



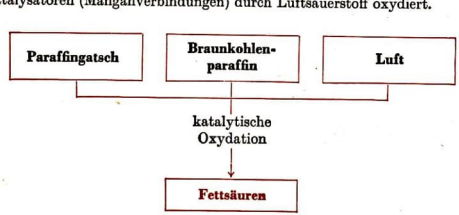
Äthansäuresynthese

Äthanal wird katalytisch mit Luft oder reinem Sauerstoff zu Äthansäure oxydiert.



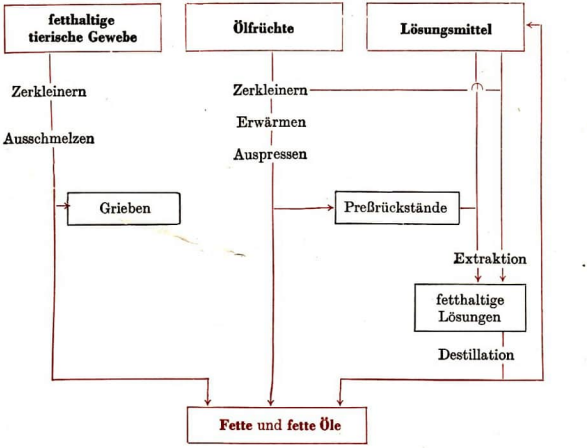
Fettsäuresynthese

Alkangemische (Paraffin) werden in Zylindern aus Reinaluminium bei 100° bis 120° C in Gegenwart von Katalysatoren (Manganverbindungen) durch Luftsauerstoff oxydiert.



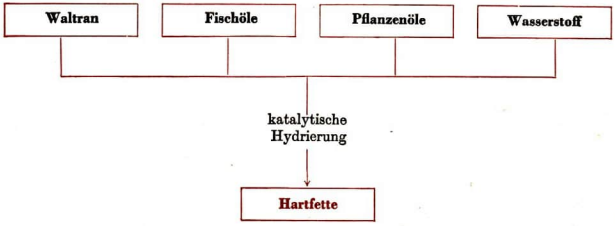
Gewinnung von Fetten und fetten Ölen

Tierische fetthaltige Körpergewebe werden in dampfbeheizten Kesseln auf etwa 50°C erwärmt, wodurch Fette ausgeschmolzen werden. Ölfrüchte bzw. Ölsaat werden ausgepreßt und der (noch fetthaltige) Preßrückstand anschließend extrahiert. Fettarme Ausgangsstoffe werden direkt extrahiert.



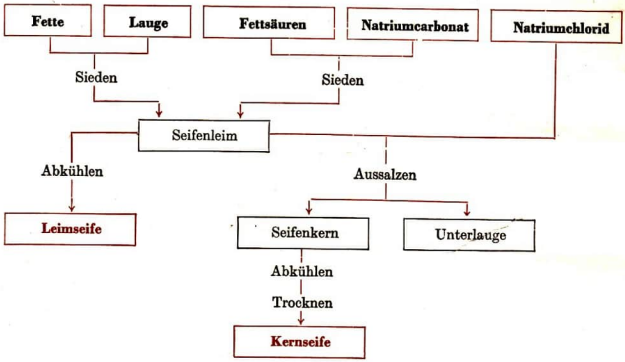
Fetthärtung

Fette Öle werden in Gegenwart eines Katalysators (Nickel) bei 200°C mit Wasserstoff hydriert.



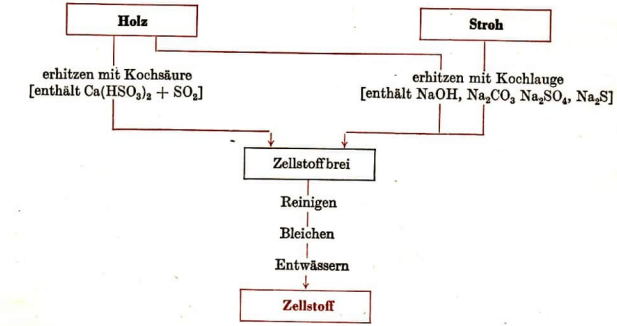
Herstellung von Seife

Seife wird aus Fetten nach dem Laugenverfahren oder aus Fettsäuren nach dem Carbonatverfahren hergestellt.



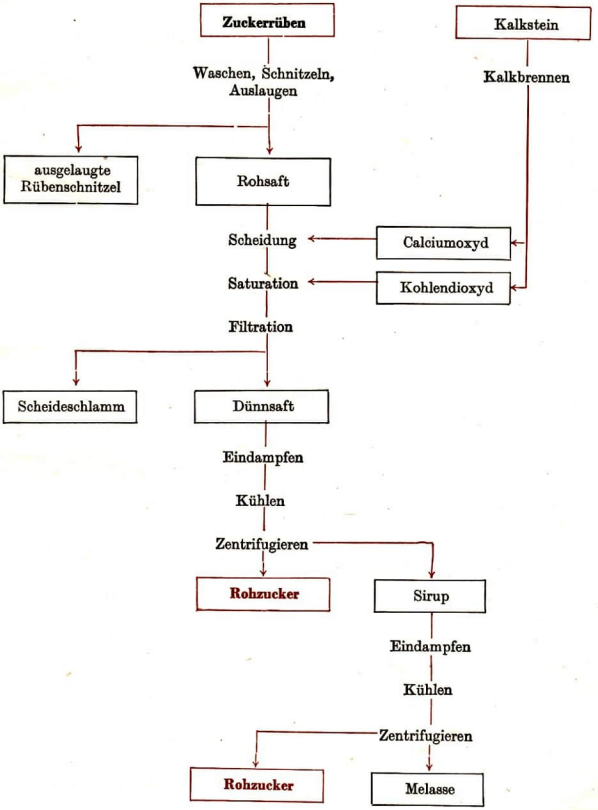
Zellstoffgewinnung

Die Ausgangsstoffe werden entweder mit Kochsäure (Sulfitverfahren) oder mit Laugen (Sulfatverfahren) in großen Kesseln mehrere Stunden unter Druck erhitzt, wodurch die Begleitstoffe der Cellulose gelöst werden.



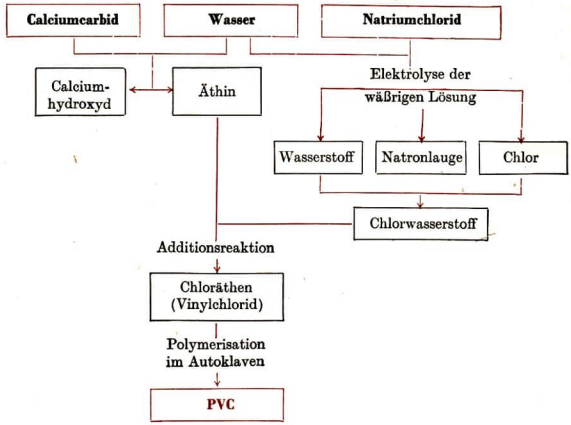
Zuckergewinnung aus Rüben

Rüben werden gewaschen und geschnitzelt und die Rübenschnitzel ausgelaugt. Die wäßrige Zuckerlösung wird gereinigt (Scheidung, Saturation, Filtration) und eingedampft (Verdampfer, Verkocher). Zucker kristallisiert aus und wird durch Zentrifugieren vom Sirup getrennt.



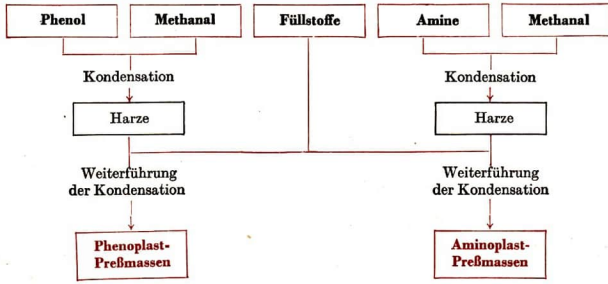
Herstellung von Polyvinylchlorid

Äthin wird mit Chlorwasserstoff zu Chloräthen (Vinylchlorid) umgesetzt, das im Autoklaven zu PVC polymerisiert wird.



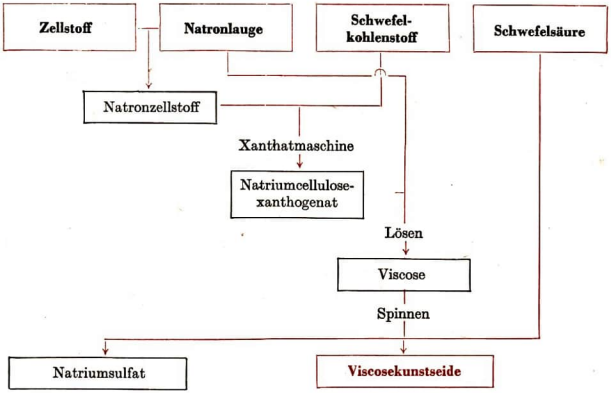
Herstellung von Duroplasten

Phenole oder Amine werden mit Methanal zu Phenoplast- oder Aminoplast-Harzen umgewandelt. Diese Zwischenprodukte werden mit Füllstoffen vermengt und bei etwa 160° C unter 200 bis 800 at Druck zu Formteilen gepreßt.



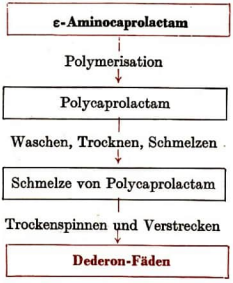
Herstellung von Viscose-Kunstseide

Zellstoff wird in Natriumcellulosexanthogonat umgewandelt, welches in Natronlauge zu Viscose gelöst wird; letztere wird durch Spinndüsen in ein saures Spinnbad gepreßt und dadurch Cellulose als Faden ausgeschieden.



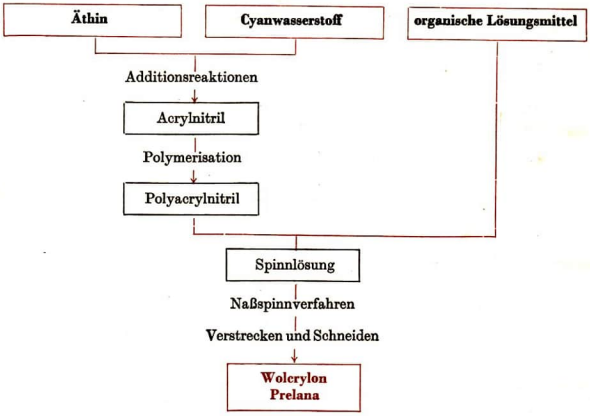
Herstellung von Dederon

ε-Aminocaprolactam wird in Autoklaven bei 250° bis 280°C und unter 10 bis 20 at Druck polymerisiert. Das Polycaprolactam wird nach Reinigung bei 280°C geschmolzen, die Schmelze durch Düsen in warme Luft gepreßt und die entstandenen Fäden bei Raumtemperatur auf das Drei- bis Fünffache gestreckt.



Herstellung von Polyacrylnitrilfasern

Eine Lösung von Polyacrylnitril wird durch Spinndüsen in ein 80° heißes Fällbad gepreßt; die ausgeschiedenen Fäden werden in heißen Bädern stark gestreckt, dann geschnitten, gewaschen und getrocknet.



7. Wichtige Produkte der organisch-chemischen Industrie

a) Grundchemikalien

Paraffin

Gemisch fester Alkane

Verwendung: zur Herstellung von Kerzen, Pflegemitteln und Polituren, Kunstblumen; als Isolierstoff, Imprägniermittel, Salbengrundlage; Ausgangsstoff für die Herstellung von Fettsäuren.

Äthin

(Acetylen C_2H_2)

Verwendung: Ausgangsstoff für die Herstellung von Plasten, synthetischem Kautschuk, Chemiefasern, Lösungsmitteln, Arzneimitteln, Äthanol, Äthansäure, Heizgas zum autogenen Schweißen und Schneiden, zu Beleuchtungszwecken.

Methanol

(Methylalkohol $CH_3 \cdot OH$)

Verwendung: als Lösungsmittel, Raketentreibstoff, Ausgangsstoff für chemisch-technische Verfahren; zum Denaturieren von Äthanol.

Äthanol

(Äthylalkohol $C_2H_5 \cdot OH$)

Verwendung: als Lösungsmittel, Raketentreibstoff, Brennstoff, Konservierungsmittel, Ausgangsstoff für chemisch-technische Verfahren.

Propantriol

(Glycerin $CH_2OH \cdot CHOH \cdot CH_2OH$)

Verwendung: als Zusatz zu Zahnpasten, Stempelfarben, Modelliermassen, Tubenfarben, Schuhcreme, Seifen, Kosmetika; als Frostschutzmittel, Druckflüssigkeit in hydraulischen Pressen, Füllung von Gasmeßuhren, Lösungsmittel, Konservierungsmittel, Ausgangsstoff für chemisch-technische Verfahren.

Methanal

(Formaldehyd $HCHO$)

Verwendung: Als Desinfektionsmittel, Konservierungsmittel, Ausgangsstoff für die Herstellung von Plasten.

Äthanal

(Acetaldehyd $CH_3 \cdot CHO$)

Verwendung: Zwischenprodukt zur Herstellung von synthetischem Kautschuk, Äthanol, Äthansäure, Farbstoffen, Arzneimitteln; als Lösungsmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel.

Methansäure

(Ameisensäure $HCOOH$)

Verwendung: Als Desinfektionsmittel, Konservierungsmittel, Hilfsstoff in der Textilveredlung, Gerberei.

Äthansäure

(Essigsäure $CH_3 \cdot COOH$)

Verwendung: Ausgangsstoff für die Herstellung von Chemiefasern, Sicherheitsfilmen, Farbstoffen, Arzneimitteln, Riechstoffen, Lösungsmitteln; als Speisewürze und Konservierungsmittel.

Benzol

(C_6H_6)

Verwendung: Als Lösungsmittel, Zusatz für Kraftstoffe, Ausgangsstoff für die Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Chemiefasern, Farbstoffen, Arzneimitteln, Waschmitteln, synthetischem Kautschuk.

Phenol

(Hydroxybenzol C_6H_5OH)

Verwendung: Ausgangsstoff für die Herstellung von Plasten, Chemiefasern, Schädlingsbekämpfungsmitteln, Gerbstoffen, Farbstoffen, Arzneimitteln.

Zellstoff

Pappen aus fast reiner Cellulose

Verwendung: Ausgangsstoff für die Herstellung von Chemiefasern, Papier, Folien, Plasten, Kleb- und Appreturmitteln, Lacken, Explosivstoffen; als Verbandsmaterial.

b) Brennstoffe und Kraftstoffe

Propan

(C_3H_8)
Verwendung: Heizgas für Haushalt, Laboratorien, Schulen und technische Zwecke.

Petroleum

Kohlenwasserstoffgemisch des Siedebereichs 150° bis 300°C
Verwendung: Als Brennstoff, Raketentreibstoff, Kraftstoff.

Treibgas

Gemisch aus Butan, Propan, Äthan und Pentan
Verwendung: Kraftstoff für Ottomotoren.

Vergaserkraftstoff

Gemisch aus Alkanen (C_5 bis C_{12}), Alkenen, ringförmigen Kohlenwasserstoffen und zum Teil auch Antiklopfmitteln
Verwendung: Kraftstoff für Ottomotoren.

Dieselkraftstoff

Gemisch aus Alkanen und ringförmigen Kohlenwasserstoffen des Siedebereichs 190° bis 345°C
Verwendung: Kraftstoff für Dieselmotoren.

c) Plaste

PVC-hart

Polymerisationsprodukt des Chloräthens (Vinylchlorids)
Verwendung: Zur Herstellung von Armaturen, Dichtungen und Rohrleitungen, Apparaturen für die chemische Industrie, Verpackungsmaterialien, Haushaltgeräten, Platten und Folien, als Isolierstoff in der Elektrotechnik.

PVC-weich

Polymerisationsprodukt des Chloräthens (Vinylchlorids) mit Weichmachern verknetet
Verwendung: Zur Herstellung von Polstern, Polsterbezügen, Fußbodenbelag, Arbeitsschutz- und Regenbekleidung, Täschnerwaren, Bucheinbänden, Spielwaren, Förderbändern, Schläuchen, Kabelisolierungen.

Polyamid

Polymerisationsprodukt des ε-Aminocaprolactams
Verwendung: Zur Herstellung von Formteilen für die Industrie, Gegenständen des Massenbedarfs, Möbelbeschlägen, Armaturen Haushaltgeräten, Schnüren, Seilen, Folien.

Piacryl

Polymerisationsprodukt des Methacrylsäuremethylesters
Verwendung: Als splittersicheres Glas, zur Herstellung von Beleuchtungskörpern und Gegenständen des Massenbedarfs, als Material für die Zahnmedizin.

Polyäthylen

Polymerisationsprodukt des Äthens (Äthylens)
Verwendung: Zur Herstellung von Haushaltgeräten, Verpackungsmaterial, Rohren, Schläuchen; als Isolierstoff in der Elektrotechnik.

Phenoplaste

Polykondensationsprodukte von Phenol (bzw. seinen Derivaten) und Methanal

Verwendung: Zur Herstellung von Gießharzen, Lacken, Leimen, Kitten, Schichtpreßstoffen, Glakresit, Preßmassen.

Aminoplaste

Polykondensationsprodukte von Aminen und Methanal

Verwendung: Zur Herstellung von Lacken, Leimen, Kitten, Schichtpreßstoffen, Preßmassen, Isolierstoffen.

Polyester

Polykondensationsprodukte von mehrwertigen organischen Säuren und mehrwertigen Alkoholen

Verwendung: Zur Herstellung von Fässern, Kanistern, Waschbecken, Badewannen, Booten, Fahrzeugkarosserien; als Klebemittel für Metalle und andere Werkstoffe.

Epoxydharze

Polykondensationsprodukte von Epoxyden

Verwendung: Als Gießharze für Formteile, Lackrohstoff, Isolierstoff für die Elektrotechnik, Klebemittel für Metalle.

Buna

Polymerisationsprodukte des Butadiens oder des Butadien und Styrols (oder anderer Verbindungen)

Verwendung: Als synthetischer Kautschuk für Fahrzeugreifen, Regen- und Arbeitsschutzbekleidung, Schläuche, Treibriemen, Spielwaren, Gegenstände des Massenbedarfs.

Silicone

Siliciumorganische Verbindungen

Verwendung: Zur Herstellung von Ölen, Fetten, synthetischem Kautschuk, Lacken, Harzen.

d) Chemiefasern

Viscosekunstseide
Kupferkunstseide
Acetatkunstseide

Chemiefäden auf Basis von Cellulose

Verwendung: Zur Herstellung von Strümpfen, Unterbekleidung, Oberbekleidung, Dekorationsstoffen, technischen Geweben.

Zellwolle

Chemiespinnfasern auf Basis von Cellulose

Verwendung: Zur Herstellung von Strümpfen, Unterbekleidung, Oberbekleidung, Dekorationsstoffen, technischen Geweben, Seilen.

PC-Faser

Chemiespinnfaser auf Basis von nachchloriertem Polyvinylchlorid

Verwendung: Zur Herstellung von Unterbekleidung, Arbeitsschutzkleidung, Planen, Vorhängen, Schläuchen, Seilen, technischen Geweben.

Trelon **Dederon**	Chemiefäden und Chemiespinnfasern auf Basis von Polyamiden *Verwendung:* Zur Herstellung von Strümpfen, Unterbekleidung, Oberbekleidung, Dekorationsstoffen, Möbelbezugsstoffen, Teppichen, Seilen, Schläuchen, technischen Geweben.
Wolcrylon **Prelana**	Chemiespinnfasern auf Basis von Polyacrylnitril *Verwendung:* Zur Herstellung von Unterbekleidung, Oberbekleidung, Vorhängen, Dekorationsstoffen, Planen, technischen Geweben.
Lanon	Chemiefäden und Chemiespinnfasern auf Basis von Polyestern *Verwendung:* Zur Herstellung von Oberbekleidung, Gardinen, Dekorationsstoffen, Planen, technischen Geweben.

8. Wichtige Großbetriebe der Deutschen Demokratischen Republik

Grundchemikalien	VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld VEB Gärungschemie Dessau VEB Chemische Fabrik Finowtal
Kohleveredlung und Erdölverarbeitung	VEB Kombinat „Otto Grotewohl“ Böhlen VEB Chemische Werke Buna, Schkopau VEB Kombinat Espenhain VEB Kombinat Gölzau VEB Hydrierwerk Zeitz VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ VEB Synthesewerk Schwarzheide VEB Braunkohlenkombinat Lauchhammer VEB Kombinat „Schwarze Pumpe“ VEB Teerverarbeitungswerk Rositz VEB Teerdestillation und chemische Fabrik Erkner VEB Paraffinwerk „Vorwärts“ Webau VEB Mineralölwerk Lützkendorf
Plaste	VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ VEB Chemische Werke Buna, Schkopau VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld VEB Filmfabrik Agfa Wolfen VEB Stickstoffwerk Piesteritz VEB Plasta Kunstharz- und Preßmassefabrik Erkner VEB Plasta Kunstharz- und Preßmassefabrik Espenhain VEB Eilenburger Celluloidwerk VEB Chemiewerk Nünchritz
Chemiefasern	VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels“ Premnitz VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck“ Schwarza VEB Filmfabrik Agfa Wolfen VEB Sächsisches Kunstseidenwerk „Siegfried Rädel“ Pirna VEB Zellstoff- und Zellwollewerke Wittenberge VEB Spinnstoffwerk „Otto Buchwitz“ Glauchau VEB Sächsische Zellwolle Plauen VEB Kunstseidenwerk „Clara Zetkin“ Elsterberg

Schülerversuche

Versuch S 1: Prüfung des Verhaltens von organischen Stoffen

Zucker, Stärke, Haare, Paraffin, Brot, Textilfasern, Seife, Papier
Eisenblechstreifen (etwa 100 mm mal 20 mm, V-förmig in der Längsachse gebogen), Tiegelzange (oder Reagenzglashalter), Messer, Brenner

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!

Versuch S 2: Nachweis von Kohlenstoff in Kohlenwasserstoffen

Durchführung a:

Benzin, Kupfer(II)-oxyd, Bariumhydroxydlösung (gesättigt)
2 Reagenzgläser (160 mm mal 16 mm), durchbohrter Stopfen, rechtwinklig gebogenes Glasrohr (8 mm Außendurchmesser), Spatellöffel, Stativ mit Muffe und Klemme, Brenner

Wir geben etwa 0,5 ml Benzin in ein trockenes Reagenzglas und füllen es dann bis zu einer Höhe von 2 bis 3 cm mit Kupfer(II)-oxyd. Nun verschließen wir das Reagenzglas mit einem Stopfen, durch den ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr geführt ist, und spannen es horizontal in ein Stativ ein. Dabei soll das Reagenzglas nahe der Öffnung von der Klemme gehalten werden (Abb. 128). Ein zweites Reagenzglas füllen wir zu einem Viertel mit gesättigter Bariumhydroxydlösung 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.

Welche Veränderungen stellen Sie am Kupfer(II)-oxyd fest? Was beobachten Sie in der Bariumhydroxydlösung? Was schließen Sie daraus? Stellen Sie für die Vorgänge in beiden Reagenzgläsern Reaktionsgleichungen auf, wobei Sie für Benzin Octan in die Gleichung einsetzen!

Welche Bedeutung hat die Tropfenbildung im kalten Teil des Reagenzglases, das Kupfer(II)-oxyd enthält?

Durchführung b:

Benzin, Kupfer(II)-oxyd, Bariumhydroxydlösung (gesättigt)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Reagenzglasständer, Spatellöffel, Tropfpipette mit Gummihütchen, Reagenzglashalter, Brenner

Wir geben in ein trockenes Reagenzglas etwa 0,5 ml Benzin und füllen 2 bis 3 cm hoch mit Kupfer(II)-oxyd auf. In ein zweites Reagenzglas gießen wir etwa 3 cm

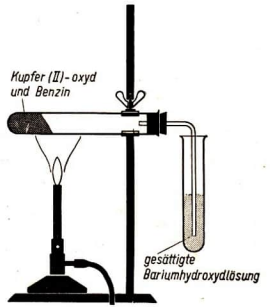


Abb. 128
Nachweis von Kohlenstoff in Benzin

hoch gesättigte Bariumhydroxydlösung und stellen es zunächst ab. Nun fassen wir das Reagenzglas mit der Kohlenwasserstoffprobe am oberen Ende mit dem Reagenzglashalter und erhitzen es (bei einer Schräglage von etwa 45° C) 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 beobachten 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 Bariumhydroxydlösung ein, daß die Spitze den Boden berührt. Das eingesaugte Gas wird durch mehrmaliges Zusammendrücken des Gummihütchens herausgepreßt.

Welche Veränderungen stellen Sie am Kupfer(II)-oxyd fest? Was beobachten Sie in der Bariumhydroxydlösung? Was schließen Sie daraus? Stellen Sie für die Vorgänge in beiden Reagenzgläsern Reaktionsgleichungen auf, wobei Sie für Benzin Octan in die Gleichung einsetzen!

Versuch S 3: Darstellung von Methan aus Natriumacetat und Natronkalk

Natriumacetat (entwässert) in verschlossenem Reagenzglas, Natronkalk (Gemisch aus NaOH und CaO), Bariumhydroxydlösung, Salzsäure
Schwerschmelzbares Reagenzglas (180 mm mal 18 mm), durchbohrter Gummistopfen mit Gasableitungsrohr, Stativ, Reagenzglashalter, 3 weitere Reagenzgläser (180 mm mal 18 mm), Stopfen, Kristallisierschale, Spatel, Brenner

a) Einen Spatellöffel Natriumacetat und einen Spatellöffel 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 schräg in ein Stativ ein, 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.

Was beobachten Sie dabei an den Wänden des Glases? Dann geben wir etwa 1 ml Bariumhydroxydlösung in das Glas und schütteln.

Was beobachten Sie? Stellen Sie die Gleichung für den Verbrennungsvorgang des Methans auf!

d) Wir entleeren und reinigen das eben benutzte Reagenzglas und füllen etwas verdünnte Bariumhydroxydlösung 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 Gas in die Bariumhydroxydlösung.

Was beobachten Sie dabei? Versuchen Sie auf Grund dieser Beobachtung die Gleichung für die Darstellung von Methan zu entwickeln!

Versuch S 4: Darstellung von Äthen aus Äthanol durch katalytische Wasserabspaltung

Äthanol, Katalysator
Reagenzglas (180 mm mal 18 mm) mit seitlichem Ansatzrohr und Gummistopfen, Verbrennungsrohr aus Supremaxglas mit durchbohrtem Gummistopfen, Gummischlauch, spitzwinklig gebogenes Glasrohr, 2 Reagenzgläser (160 mm mal 16 mm) mit Stopfen, Glasschale mit Wasser (pneumatische Wanne), Stativ mit Muffe und Klemme, 2 Brenner (davon einer mit Schlitzaufsatz), Glaswolle, Glasstab, Spatellöffel, Klemmschraube

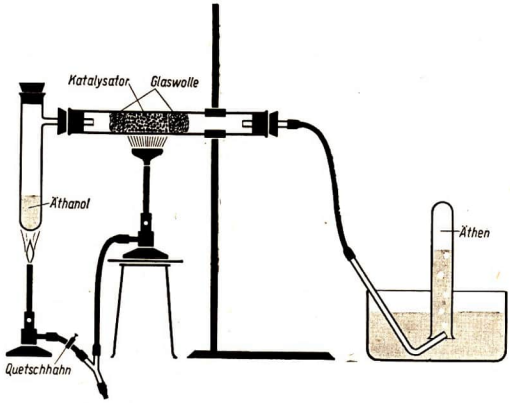


Abb. 129 Darstellung von Äthen aus Äthanol

Wir setzen aus den angegebenen Teilen die Apparatur nach Abbildung 129 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 senkrecht 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 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 leicht zum Sieden.

Wir lassen etwas Gas aus der Gasableitung entweichen und fangen es erst dann in Reagenzgläsern pneumatisch auf.

Stellen Sie für die Wasserabspaltung aus Äthanol die Reaktionsgleichung auf! Prüfen Sie das aufgefangene Gas auf Brennbarkeit!

Versuch S 5: Addition von Brom an Äthen

Äthen, Bromwasser
Reagenzglas (180 mm mal 18 mm), Gummistopfen

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!

Versuch S 6: Untersuchung von technischen Kohlenwasserstoffgemischen auf ungesättigte Verbindungen

Vergaserkraftstoff, Nähmaschinenöl oder ein anderes farbloses Schmieröl, Bromwasser
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), 2 Gummistopfen

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 gegenüber Bromwasser!

Versuch S 7: Verhalten von Benzin gegen Wasser

Benzin
Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglasständer

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?

Versuch S 8: Verhalten von Benzin gegen Fette

Benzin, Rindertalg oder ein anderes tierisches Fett, Speiseöl, Butter oder Margarine
3 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), 3 Gummistopfen, Glasstab, Reagenzglasständer

Wir geben in drei Reagenzgläser kleine Proben von Fetten; in das erste Glas eine kleine Messerspitze Rindertalg oder ein anderes tierisches Fett, in das zweite Glas ein

wenig Speiseöl und in das dritte Glas eine kleine Messerspitze Butter oder Margarine. 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 im dritten Reagenzglas? Erklären Sie diese Erscheinung!

Versuch S 9: Entfernen von Fettflecken

Fettlösung aus Versuch S 8, Leichtbenzin oder Petroläther
1 kleines Stück Schreibpapier, Löschpapier, Glasstab

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 (Kp bis 200°C) schlecht zur Fleckentfernung von Papier oder Textilien?

Versuch S 10: Verhalten von Schmiermitteln gegen Wasser und Benzin

Nähmaschinenöl oder ein anderes dünnflüssiges Schmieröl, Benzin, Spritzflasche mit Wasser, 2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm)

In zwei Reagenzgläser geben wir je 2 ml Schmieröl und fügen dem ersten Glas 2 ml Benzin, dem 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?

Versuch S 11: Viscositätsänderungen bei Schmierölen

Zylinderöl oder ein anderes bei Raumtemperatur dickflüssiges Schmieröl
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Becherglas (400 ml, niedrige Form) zu zwei Dritteln mit Wasser gefüllt, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner

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 Viscositätsunterschiede stellen Sie zwischen dem heißen und dem kalten Öl fest? 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?

Vergleichen Sie die Viscosität des Schmieröls in beiden Gläsern, nachdem sich das heiße Öl wieder auf Raumtemperatur abgekühlt hat!

Versuch S 12: Bestimmung des Schmelzpunktes von Kerzenparaffin

Durchführung a (stark vereinfacht, ergibt nur annähernd genaue Werte):

Kerzenparaffin
Porzellanschale, Thermometer, Asbestdrahtnetz, Dreifuß, Brenner

Wir erwärmen Kerzenparaffin in einer Porzellanschale vorsichtig nur wenig über dem Schmelzpunkt. Dann tauchen wir ein Thermometer so lange in die Paraffinschmelze, 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):

Kerzenparaffin, Propantriol
Schmelzpunktbestimmungsapparatur (an seiner Stelle kann auch ein Reagenzglas (300 mm mal 20 mm) verwendet werden), Schmelzpunktröhrchen (60 mm Länge und 1 mm lichte Weite), Thermometer, durchbohrter Stopfen (an der Seite eingekerbt), Stativ mit Muffe und Klemme, Brenner, Messer

Wir befestigen den Schmelzpunktbestimmungsapparat (Abbildung 130) oder ein großes Reagenzglas in 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.

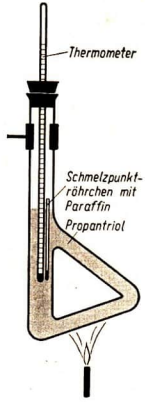


Abb. 130 Schmelzpunktbestimmung von Kerzenparaffin

Versuch S 13: Destillation von Paraffinöl

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), 2 Stative mit Klemmen und Muffen, Brenner

Wir stellen die Destillierapparatur nach Abbildung 131 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

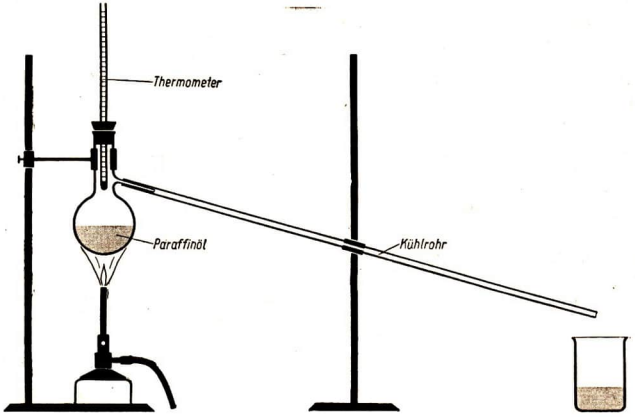


Abb. 131 Destillation von Paraffinöl

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 füllen wir ein 100-ml-Becherglas zu etwa drei Vierteln mit Paraffinöl und wiegen 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 das Gewicht 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 Kühlrohrs und erhitzen vorsichtig den Kolben mit dem Paraffinöl. Die Temperatur des Öles darf nicht zu rasch ansteigen. Bei 180°C und 250°C wechseln wir die untergestellten Bechergläser. Wenn eine Temperatur von 280°C erreicht ist, beenden wir das Erhitzen. 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%

Versuch S 14: Flammpunktbestimmung von Petroleum und Paraffinöl

Petroleum, Paraffinöl
Porzellantiegel, Thermometer, niedriges Eisenblechgefäß (Konservendose) mit Sand gefüllt, Stativ mit Muffe und Klemme, Asbestdrahtnetz, Dreifuß, Lötrohr ohne Mundstück mit Schlauch, Brenner

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 erwärmt. 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. 132). 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.

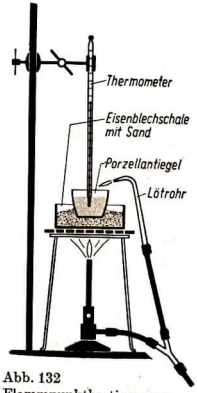


Abb. 132
Flammpunktbestimmung

Versuch S 15: Thermisches Cracken von Paraffinöl oder Maschinenöl

Paraffinöl oder Maschinenöl, Baeyers Reagenz (wäßrige Lösung von Kaliumpermanganat und Soda) oder Bromwasser
Schwer schmelzbares Reagenzglas mit durchbohrtem Gummistopfen und doppelt rechtwinklig gebogenem Gasableitungsrohr mit einem längeren Schenkel, 4 weitere Reagenzgläser mit passenden Stopfen, Reagenzglasständer, Brenner, Reagenzglashalter

a) Wir geben etwa 3 ml Paraffinöl 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 Reagenz oder Bromwasser
zu einer Probe des ursprünglichen Paraffinöls,
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 Cracken in Versuch b) vor sich gegangen?

Versuch S 16: Nachweis der Flüchtigkeit von Trichlormethan (Chloroform)

Trichlormethan, Wasser
1 Stück Papier, Glasstab

Auf ein Stück Papier geben wir in einiger Entfernung voneinander je einen Tropfen Trichlormethan (Chloroform) und Wasser und lassen die Flüssigkeiten verdunsten.

Was beobachten Sie?

Versuch S 17: Lösevermögen von Trichlormethan (Chloroform)

Festes Speisefett (Rindertalg oder dgl.), Speiseöl, Butter oder Margarine, Trichlormethan (Chloroform)
3 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), 3 Stopfen, Glasstab

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? Warum sind die Lösungen von Butter und Margarine getrübt?

Versuch S 18: Verhalten von Methanol gegen Wasser

Methanol
Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), 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?

Versuch S 19: Lösevermögen von Methanol

Methanol, festes Speisefett, Speiseöl
Spritzflasche mit Wasser, 4 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Glasstab, Brenner

a) 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?

b) Die klaren Flüssigkeiten werden von dem ungelösten Fett (Öl) in trockene Reagenzgläser abgegossen. Dann setzen wir den Flüssigkeiten mehrmals wenig Wasser zu. Bei einer bestimmten Verdünnung tritt eine Trübung auf.

Erläutern Sie das Auftreten der Trübung!

Versuch S 20: Äthanolgärung

Beeren oder anderes Obst, Bäckerhefe
Spritzflasche mit Wasser, Reibschale mit Pistill, 2 Gärröhrchen, Stoffbeutel, Watte, flaches Porzellanschälchen, 100-ml-Erlenmeyerkolben, 400-ml-Becherglas (niedrige Form), Reagenzglas (160 mm mal 16 mm), Glasstab, Messer, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner

Wir zerquetschen Beeren (Johannis-, Stachel- oder Weinbeeren) in einer Reibschale mit dem Pistill oder schaben 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 Gärröhrchen gefüllt. Als Wasserbad (Abb. 133) benutzen wir ein Becherglas, in das wir eine kleine Porzellanschale eingelegt haben. Die beiden gefüllten Gärröhrchen (Abb. 134) 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.

Welche Unterschiede stellen Sie fest? Warum verhalten sich beide Proben verschieden? Stellen Sie die Reaktionsgleichung für den Vorgang in dem einen Gärröhrchen auf!

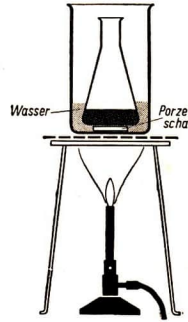


Abb. 133 Wasserbad

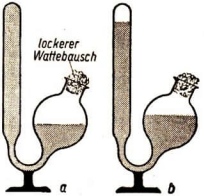


Abb. 134 Äthanolgärung

Versuch S 21: Verhalten von Äthanol gegen Wasser

Äthanol (Brennspiritus)
Spritzflasche mit Wasser, 3 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Meßzylinder für 10 ml, 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?

Versuch S 22: Brennbarkeit wäßriger Äthanollösungen

3 Mischungen aus Versuch S 21
1 kleine Porzellanschale, Zündhölzer

Wir gießen die Mischung a von Versuch S 21 in eine kleine Porzellanschale und versuchen sie zu entzünden. Diese Probe stellen wir ebenfalls mit Mischung b und c an.

Welche Äthanol-Wasser-Gemische sind brennbar? Beschreiben Sie die Äthanolflamme! Berechnen Sie die Volumenprozente Äthanol in obigen drei Mischungen, wobei Sie für Brennspiritus einen Äthanolgehalt von 94% in Rechnung setzen!

Versuch S 23: Nachweis von Wasser in Äthanol

Brennspiritus, Calciumcarbid, Kaliumpermanganat
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm)

In zwei Reagenzgläser gießen wir je 4 ml Brennspiritus. Der einen Probe wird ein kleines Stück Calciumcarbid (halbe Erbsengröße) und der anderen einige Kristalle Kaliumpermanganat hinzugefügt. Die letztere muß etwas geschüttelt werden.

Was beobachten Sie? Begründen Sie, warum die Vorgänge in den Reagenzgläsern die Anwesenheit von Wasser im Äthanol beweisen!

Versuch S 24: Nachweis von Äthanol in Kraftstoffen

Benzin, Äthanol (Brennspiritus), äthanolhaltiger Kraftstoff
3 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Kopierstift

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 Nachweisreagenz für Äthanol in Kraftstoffen dienen kann!

Versuch S 25: Untersuchung der Verbrennungsprodukte von Äthanol

Äthanol oder Brennspiritus, Kupfer(II)-oxyd, Bariumhydroxydlösung (gesättigt)
Porzellanschälchen, Becherglas (400 ml), Phosphorlöffel, Standzylinder, plangeschliffene Glasplatte

Durchführung a:

Etwas Äthanol oder Brennspiritus wird in einem Porzellanschälchen abgebrannt. Über die Flamme halten wir kurze Zeit ein kaltes, trockenes Becherglas mit der Öffnung nach unten. Dabei darf das Becherglas nicht heiß werden.

Was können Sie am Becherglas beobachten? Was schließen Sie daraus?

Durchführung b:

a) Wir entzünden Äthanol oder Brennspiritus in einem Phosphorlöffel und halten diesen tief in einen trockenen Standzylinder. Nachdem die Flamme verlöscht 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?

b) Nun gießen wir etwas gesättigte Bariumhydroxydlösung 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!

Versuch S 26: Dichtebestimmung von Methanol

Methanol

Aräometer (Meßbereich 1,00 bis 0,795), Standzylinder

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 0°, 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 Skala, so lassen wir das Aräometer frei. Wir dürfen das Aräometer keinesfalls in die Flüssigkeit fallen lassen, weil dabei die Spindel leicht 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?* Das Aräometer darf während der Ablesung nicht die Seitenwandung des Zylinders berühren. — *Ermitteln Sie an Hand der Tabelle*[1] *wieviel Gewichtsprozente Methanol die untersuchte Lösung enthält!*

Dichte von Methanol-Wasser-Gemischen in Abhängigkeit von Gewichtsprozenten Methanol (bei 15,5° C)

Gew.-% Methanol	Dichte	Gew.-% Methanol	Dichte
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

Versuch S 27: Nachweis von Propantriol

Propantriol (Glycerin), Kaliumhydrogensulfat

Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Tropfpipette, Spatellöffel, Brenner

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

[1]) Zwischenwerte müssen Tabellenwerken entnommen werden

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 die stechend riechende Verbindung Propenal $CH_2=CH-CHO$ (Acrolein), die einen charakteristischen Geruch besitzt.

Stellen Sie die Gleichung für die beschriebene Reaktion auf!

Versuch S 28: Metallkitt aus Propantriol

Propantriol (Glycerin), Blei(II)-oxyd (Bleiglätte)
Spritzflasche mit Wasser, Porzellanschale, Spatellöffel, ein Stück Papier

Wenig Propantriol wird mit Blei(II)-oxyd 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 Spatellöffel müssen nach der Herstellung des Kittes sofort gesäubert werden!

Versuch S 29: Oxydation von Methanol

Methanol
Reagenzglas (160 mm mal 16 mm), Reagenzglashalter, Kupferdraht (nicht zu dünn), Bleistift oder ebenso dickes Holz, Tiegelzange (oder weiterer Reagenzglashalter), Brenner

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 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!

Versuch S 30: Oxydation von Äthanol

Äthanol (Primasprit, kein Brennspiritus)
Reagenzglas (160 mm mal 16 mm), Reagenzglashalter, Kupferdraht, Bleistift oder ebenso dickes Stück Holz, Tiegelzange

Die Oxydation von Äthanol führen wir analog Versuch *S 29* durch.

Beobachten Sie den Verlauf der Reaktion wie bei Versuch S 29! Stellen Sie die Reaktionsgleichungen auf! Vergleichen Sie den bei diesem Versuch auftretenden Geruch mit dem des Oxydationsproduktes von Methanol.

Versuch S 31: Nachweis von Alkanalen

Methanallösung (Formol, Formalin), Äthanal, fuchsinschweflige Säure, konzentrierte Schwefelsäure
3 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), 2 Tropfpipetten

a) 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?

b) Nun gießen wir die Hälfte der Methanalprobe in ein drittes Reagenzglas und versetzen beide Proben 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!

Versuch S 32: Darstellung von Äthanal

Äthanol (Brennspiritus), Schwefelsäure (konzentriert), Kaliumdichromat (oder Natriumdichromat), fuchsinschweflige Säure, Salzsäure (konzentriert)
Reagenzglas (180 mm mal 18 mm) mit seitlichem Ansatzrohr und durchbohrtem Stopfen, kleiner Scheidetrichter (Hahntrichter), rechtwinklig gebogenes Glasrohr, kurzes Stück Gummischlauch, Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglas (160 mm mal 16 mm), Stativ mit Muffe und Klemme, Spatellöffel, Brenner, Spritzflasche mit Wasser

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 in einem Stativ (Abb. 135). Nun geben wir in ein Reagenzglas (160 mm mal 16 mm) höchstens 3 ml Äthanol und fügen in kleinen Anteilen etwa 2 ml konzentrierte Schwefelsäure hinzu **(Vorsicht!)**. Das Gemisch wird etwas gekühlt und in den Scheidetrichter gegossen, dessen Hahn noch geschlossen ist. Dann füllen wir ein kleines Reagenzglas (100 mm mal 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.

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!

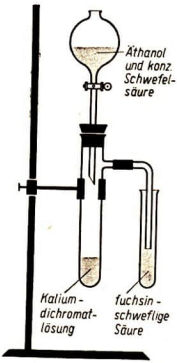


Abb. 135
Darstellung von Äthanal

Versuch S 33: Bildung und Nachweis von Methanal

Methanol, Kaliumpermanganatlösung (1%ig), Schwefelsäure (konzentriert), fuchsinschweflige Säure
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Tropfpipette

a) 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!

b) 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 31!

Versuch S 34: Hitzespaltung von Paraformaldehyd

Paraformaldehyd, fuchsinschweflige Säure, Schwefelsäure (50%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), durchbohrter Gummistopfen, rechtwinklig gebogenes Glasrohr (8 mm äußerer Durchmesser), Spatellöffel, Brenner, Spritzflasche mit Wasser

a) Wir geben in ein trockenes Reagenzglas eine Spatelspitze Paraformaldehyd und erhitzen.

Prüfen Sie den Geruch des entstehenden Gases!

b) 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 1 bis 2 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!

c) Zur entstandenen Lösung fügen wir etwa 2 bis 3 ml fuchsinschweflige Säure, schütteln und warten einige Minuten.

Was beobachten Sie?

d) Wir versetzen diese Lösung anschließend mit etwa 3 ml 50%iger Schwefelsäure.

Was stellen Sie jetzt fest? Welche Schlüsse ziehen Sie aus Ihren Beobachtungen?

Versuch S 35: Prüfung der Reaktion von Methansäure und Äthansäure

Methansäure (10%ig), Äthansäure (10%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm). Spritzflasche mit Wasser, 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?

Versuch S 36: Reaktion von niedrigmolekularen Carbonsäuren mit unedlen Metallen

Methansäure (10%ig); Äthansäure (10%ig), 2 Stückchen Zinkblech, Eisenfeilspäne
4 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm)

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 für diese Umsetzungen Reaktionsgleichungen auf!

Versuch S 37: Reaktionen von Carbonsäuren mit Carbonaten

Natriumcarbonat, Calciumcarbonat, Methansäure (10%ig), Äthansäure (10%ig)
4 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Spatellöffel

Je eine kleine Spatelspitze Natriumcarbonat 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 Calciumcarbonat durch.

Was beobachten Sie? Stellen Sie für die vier Umsetzungen Reaktionsgleichungen auf! Was schließen Sie aus den Versuchsergebnissen?

Versuch S 38: Reduktion von ammoniakalischer Silbersalzlösung mit Natriumformiat

Silbernitratlösung (5%ig), Ammoniaklösung (10%ig), Methansäure (konzentriert), Natronlauge (50%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), rotes Lackmuspapier, Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Brenner

Wir füllen 3 ml einer 5%igen Silbernitratlösung in ein gründlich gesäubertes Reagenzglas und versetzen sie tropfenweise nur mit so viel 10%iger Ammoniaklösung, daß sich der anfänglich gebildete Niederschlag 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!

Versuch S 39: Darstellung von Äthansäure

Natriumacetat, Schwefelsäure (50%ig)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Brenner, Spatellöffel

In ein Reagenzglas geben wir eine Spatelspitze Natriumacetat, 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!

Versuch S 40: Reduktionswirkung der Äthandisäure

Äthandisäure (Oxalsäure), Kaliumpermanganatlösung (1%ig), Schwefelsäure (10%ig)
Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglas (160 mm mal 16 mm), Tropfpipette, Brenner, Reagenzglashalter

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 Trop-

fens 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!

Versuch S 41: Auflösen von Rost durch Kaliumtetraoxalat

Kaliumtetraoxalat (Kleesalz), Eisen(III)-chloridlösung (10%ig), Ammoniaklösung (10%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Brenner, Spritzflasche mit Wasser

a) 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)-hydroxyd. Dann lassen wir das Reagenzglas einige Minuten im Reagenzglasständer stehen.

Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Eisen(III)-hydroxyd auf!

b) Nachdem sich der Niederschlag von Eisen(III)-hydroxyd abgesetzt hat, gießen wir die überstehende Flüssigkeit ab. In einem zweiten Reagenzglas lösen wir nun etwa 1 g Kaliumtetraoxalat (Kleesalz) in 5 ml Wasser durch Erwärmen auf. Die heiße Lösung gießen wir auf das Eisen(III)-hydroxyd, das wir an Stelle von Rost verwenden. Beginnt die Reaktion nicht sofort, so müssen wir das Gemisch leicht erhitzen.

Was beobachten Sie?

Versuch S 42: Fällung von Calciumionen als Calciumoxalat

Ammoniumoxalatlösung (10%ig), Calciumchloridlösung (10%ig), Äthansäure (10%ig), Salzsäure (10%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm)

a) Wir versetzen in einem Reagenzglas 1 ml 10%ige Calciumchloridlösung mit 2 ml 10%iger Ammoniumoxalatlösung.

Was beobachten Sie?

Stellen Sie für diesen Vorgang die Reaktionsgleichung auf!

b) Nach leichtem Schütteln des Reagenzglases geben wir die Hälfte des Gemisches in ein zweites Reagenzglas. Anschließend fügen 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 Calciumoxalat!

Versuch S 43: Darstellung von Pentyläthanat als Beispiel einer Esterbildung

Äthansäure (konzentriert), Pentanol (Amylalkohol), wasserfreies Zinkchlorid
Reagenzglas (160 mm mal 16 mm), durchbohrter Stopfen, Glasrohr (8 mm Außendurchmesser, etwa 70 cm lang), Spatellöffel, Spritzflasche mit Wasser, Stativ mit Muffe und Klemme, Brenner

In ein Reagenzglas geben wir 2 ml Pentanol (Amylalkohol), 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 senkrecht in 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 (Amylacetat)!

Versuch S 44: Bildung von Äthyläthanat

Natriumacetat (wasserfrei), Äthanol (Primasprit), Schwefelsäure (konzentriert)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Spatellöffel, Brenner

Wir schütten in ein trockenes Reagenzglas eine Spatelspitze wasserfreies Natriumacetat 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!

Versuch S 45: Verseifung eines Esters

Äthaläthanat (Essigsäureäthylester), Natronlauge (10%ig)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Tropfpipette, Brenner

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!

Versuch S 46: Extraktion von Fett

Rapssamen (oder andere Ölsaat), Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff)
3 Reagenzgläser (180 mm mal 18 mm, 16 mm mal 16 mm, 100 mm mal 12 mm), Gummiring, Reibschale mit Pistill, Reagenzglashalter, Spritzflasche mit Wasser, Trichter, Rundfilter, Papier, Brenner, Stativ, Klemme, Muffe

Etwas Ölsaat wird in einer Reibschale zerdrückt und in ein großes Reagenzglas (180 mm mal 18 mm) geschüttet. Wir übergießen sie mit ungefähr 3 ml Tetrachlormethan und befestigen das Reagenzglas senkrecht 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 mittlerer Größe (160 mm mal 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. 136) wird mit kaltem Wasser

gefüllt. Es dient als Rückflußkühler. 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 mal 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?

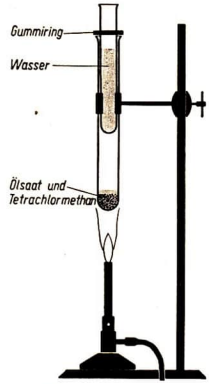


Abb. 136
Extraktion von Ölsaat

Versuch S 47: Nachweis von Propantriol in Fetten oder fetten Ölen

*Rapsöl (oder ein anderes fettes Öl), Kaliumhydrogensulfat
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Tropfpipette, Spatellöffel, Brenner*

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 27! Welchen Schluß ziehen Sie in bezug auf den Bau der Fettmoleküle?

Versuch S 48: Nachweis von ungesättigten Carbonsäuren in fetten Ölen

*Rapsöl (oder ein anderes fettes Öl), Tetrachlormethan, Bromwasser
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Tropfpipette*

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!

Versuch S 49: Unterscheidung eines fetten Öls von einem Mineralöl

*Rapsöl (oder ein anderes fettes Öl), Paraffinöl, Kalilauge (30%ig), Äthanol (Primasprit)
2 Reagenzgläser (160 mm mal 16 mm), Reagenzglashalter, Spritzflasche mit destilliertem Wasser, Tropfpipette, Brenner*

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 **(Vorsicht! Es besteht Gefahr eines Siedeverzuges!)** und lassen einige Zeit sieden. Anschließend geben wir in beide Gläser je 10 ml destilliertes Wasser und schütteln.

Was beobachten Sie? Wie erklären Sie das unterschiedliche Verhalten des fetten Öls und des Paraffinöls?

Versuch S 50: Herstellung von Natronseife durch das Carbonatverfahren

Fettsäuregemisch, Natriumcarbonatlösung (10%ig), Natriumchloridlösung (10%ig)
Becherglas (400 ml, hohe Form), Reagenzglas (180 mm mal 18 mm), Reagenzglashalter, Meßzylinder (100 ml), Glasstab, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner, Spritzflasche mit destilliertem Wasser

a) In ein hohes Becherglas gießen wir 70 ml 10%ige Natriumcarbonatlösung und 30 ml destilliertes Wasser und erhitzen die Flüssigkeit zum Sieden. Inzwischen füllen wir etwa 12 g Fettsäuregemisch in ein Reagenzglas, erhitzen es auf ungefähr 100° C und geben es langsam in kleinen Mengen unter ständigem Umrühren zu der siedenden Natriumcarbonatlösung. Dabei entweicht unter starkem Aufschäumen Kohlendioxyd. Nun lassen wir noch etwa 15 min sieden, wobei wir die durch Verdampfung auftretenden Flüssigkeitsverluste durch mehrmalige Zugabe von destilliertem Wasser ausgleichen. Dann setzen wir etwa 50 ml 10%ige Natriumchloridlösung hinzu und rühren gut durch. Wir stellen das Becherglas zur Seite und lassen es kurze Zeit ruhig stehen.

Was beobachten Sie?

b) Wir nehmen mit einem Glasstab etwas Substanz oben aus dem Becherglas ab.

Prüfen Sie, ob sich diese zum Waschen der Hände eignet!

Versuch S 51: Wasserhärte und Seifenwirkung

Seifenlösung (2%ig), Calciumchloridlösung (0,5%ig)
4 Reagenzgläser (160 mm mal 16 mm), 4 Stopfen, Meßzylinder (10 ml), Spritzflasche mit destilliertem Wasser

a) Wir füllen in vier Reagenzgläser folgende Flüssigkeitsmengen:

6 ml destilliertes Wasser,
2 ml 0,5%ige Calciumchloridlösung und 4 ml destilliertes Wasser,
4 ml 0,5%ige Calciumchloridlösung und 2 ml destilliertes Wasser,
6 ml 0,5%ige Calciumchloridlösung.

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!

b) In die Gläser, die Calciumchloridlösung 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 bleibender Schaum entstanden ist. Die für die einzelnen Lösungen benötigten Mengen an Seifenlösung schreiben wir auf.

In welchem Zusammenhang stehen die Mengen des gelösten Calciumsalzes 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?

Versuch S 52: Vergleich zwischen Seife und Neutralwaschmittel

Seifenlösung (2%ig), Fewalösung (1%ig), Phenolphthaleinlösung, Calciumchloridlösung (10%ig), Äthansäure (10%ig), Natriumchloridlösung (10%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Meßzylinder (10 ml), Spritzflasche mit destilliertem Wasser, Tropfpipette

a) 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!

b) 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 Calciumchloridlösung 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 an Hand einer Reaktionsgleichung!

c) 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!

d) 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?

Versuch S 53: Herabsetzung der Oberflächenspannung

Seifenlösung (2%ig), Fewalösung (1%ig)
3 Bechergläser (150 ml, niedrige Form), 3 Stückchen Textilgewebe (etwa 20 mm mal 20 mm), wenn möglich ungebleichtes Baumwollgewebe, Spritzflasche mit destilliertem Wasser

Wir gießen in ein Becherglas etwa 3 cm hoch Wasser, in ein zweites die gleiche Menge 0,5%ige Seifenlösung (1 Teil 2%ige Seifenlösung und 3 Teile destilliertes Wasser) und in ein drittes 0,5%ige Fewalösung (1%ige Fewalösung mit der gleichen Menge Wasser verdünnt). 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?

Versuch S 54: Nachweis von Schwefel in Eiweiß

Weiße Federn, weiße Schafwolle oder helles Haar, Natronlauge (10%ig), Bleiacetatlösung (10%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Brenner

a) 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 Natronlauge 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!

b) Die Flüssigkeiten versetzen wir nun mit Bleiacetatlösung.

Was beobachten Sie?
Stellen Sie für die Reaktion mit Bleiacetat die Gleichung auf!

Versuch S 55: Nachweis von Stickstoff in Eiweiß

Vogelfedern, Haare, Horn, Natronkalk
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, rotes Lackmuspapier, Spritzflasche mit Wasser

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?

Versuch S 56: Xanthoproteinreaktion bei Keratinen

Weiße Federn, weiße Schafwolle oder helle Haare, hartgekochtes Eiklar, Salpetersäure (konzentriert), Ammoniaklösung (10%ig)
3 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Glasstab, Spritzflasche mit Wasser

a) Wir tragen mit Hilfe eines Glasstabes in ein Reagenglas eine kleine Menge weiße Federn, in ein zweites Glas weiße Schafwolle oder helle Haare, in ein drittes Glas hartgekochtes Eiklar (kein Dotter!) ein. Dann übergießen wir die Substanzen mit je 2 ml konzentrierter Salpetersäure.

Beachten Sie, daß sich die Färbung der Proben verändert!

b) 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?

Versuch S 57: Eiweißnachweis durch die Biuretreaktion

Magermilch, Natronlauge (10%ig), Kupfersulfatlösung (Fehling I)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Tropfpipette

In ein Reagenzglas geben wir etwa 2 ml Magermilch, versetzen mit 2 ml 10%iger Natronlauge und zwei Tropfen Kupfersulfatlösung (Fehling I) und schütteln. Sollte die Reaktion nicht deutlich sichtbar sein, so fügen wir nochmals zwei Tropfen Kupfersulfatlösung hinzu.

Welche Färbung nimmt die Lösung an?

Versuch S 58: Trommersche Probe

Glucose (Traubenzucker), Kupfersulfatlösung (Fehling I), Natronlauge (10%ig)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglashalter, Spatellöffel, Tropfpipette, Brenner

In ein Reagenzglas geben wir eine Spatelspitze Glucose (Traubenzucker), 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 Glucose-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 ursprünglich klaren blauen Flüssigkeit? Was schließen Sie aus dem Versuchsergebnis?

Versuch S 59: Nachweis reduzierender Zucker im Kunsthonig

Kunsthonig, Fehling I und II
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Brenner

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?

Versuch S 60: Nachweis reduzierender Stoffe in Früchten und Gemüse

Apfel oder Beerenobst oder Karotte, Fehling I und II
2 Reagenzgläser (160 mm mal 16 mm, 100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Glasstab, Spritzflasche mit Wasser, Messer, Brenner

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?

Versuch S 61: Stärkenachweis mit Jod

Stärke, Jod-Kaliumjodidlösung (stark verdünnt),
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Brenner

a) Ein wenig Stärke geben wir in ein Reagenzglas, versetzen sie mit etwa 5 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 1 bis 2 Tropfen Jod-Kaliumjodidlösung und schütteln.

Was stellen Sie fest?

b) Wir erwärmen die schon zuvor erhitzte Probe nochmals kurz und kühlen sie dann wieder auf Raumtemperatur ab.

Was beobachten Sie? Was ist folglich bei der Durchführung des Stärkenachweises mit Jod zu beachten?

Versuch S 62: Stärkenachweis in Nahrungsmitteln

Rohe Kartoffel, weiße Bohnen, Getreidekörner, Obst, Gemüse, Jod-Kaliumjodidlösung (stark verdünnt)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Glasstab, Messer, Reibschale mit Pistill, Brenner

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 Jod-Kaliumjodidlösung hinzu.

Worauf läßt die auftretende Färbung schließen?

Versuch S 63: Unterscheidung der Margarine von der Butter mit Hilfe der Jod-Stärke-Reaktion

Margarine, Jod-Kaliumjodidlösung
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), Tropfpipette, Becherglas (150 ml), Spritzflasche mit Wasser, Reagenzglashalter, Glasstab, Thermometer, Dreifuß, Asbestdrahtnetz, Brenner

Ein Reagenzglas füllen wir mit Hilfe eines Glasstabes etwa 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 bis 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 auf Raumtemperatur ab und fügen ihr 1 bis 2 Tropfen Jod-Kaliumjodidlösung hinzu.

Was stellen Sie fest?

Versuch S 64: Phenoplast aus Dihydroxybenzol und Methanal

1,3-Dihydroxybenzol (Resorcin), Methanallösung (Formol, Formalin, 30- bis 40%ig), Natronlauge (10%ig)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Becherglas (150 ml) mit Wasser, Spritzflasche mit Wasser, Tropfpipette, Spatellöffel, Asbestdrahtnetz, Dreifuß, Brenner

Wir schütten in ein Reagenzglas etwa 2 cm hoch 1,3-Dihydroxybenzol (Resorcin) und setzen so viel Wasser hinzu, daß die Substanz nur oben 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!

Versuch S 65: Entfernung von Weichmachern aus Plasten

PVC-weich (Stück einer Tischdecke oder eines Regenumhanges), Methanol
Reagenzglas (160 mm mal 16 mm), Stopfen, Messer oder Schere

Manche Plaste, die bei Raumtemperatur nicht hart sind, enthalten Weichmacher. Diese würden bei den folgenden Untersuchungen (Versuch S 66 bis S 70) stören. Deshalb müssen sie entfernt werden.

Wir zerkleinern das zu untersuchende Material und geben es in ein trockenes Reagenzglas. Dann fügen wir mehrere Milliliter Methanol hinzu, verschließen das Glas mit einem Stopfen und schütteln einige Minuten. Darauf gießen wir das Lösungsmittel wieder ab, versetzen mit frischem Methanol und wiederholen Schütteln und Abgießen. Die mehrmals so behandelte Plastprobe legen wir auf ein Stück Filterpapier und lassen sie trocknen.

Versuch S 66: Thermoplaste und Duroplaste

Polyvinylchlorid (z. B. ein Stückchen von einer Ekadur-Dachrinne), Phenoplast (z. B. ein Stück von einer Schalterkappe), verschiedene Plaste
Eisenblechstreifen (100 mm mal 20 mm, V-förmig in der Längsachse gebogen, vgl. Versuch S 1), Tiegelzange, Glasstab, Brenner

a) 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 Brennerns.

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?

b) Nun wiederholen wir den Versuch mit einem Stück Phenoplast.

Wie verhält sich ein Phenoplast beim Erhitzen? Prüfen Sie den Geruch der dabei auftretenden Gase bzw. Dämpfe! Was stellen Sie fest?

Sammeln Sie unbrauchbar gewordene Plastgegenstände und prüfen Sie, ob sie zu den Thermoplasten oder Duroplasten gehören!

Versuch S 67: Untersuchung von Plasten durch die Brennprobe

Plastprobe
Tiegelzange, Brenner, Unterlage aus unbrennbarem Material (z. B. ein Stück Blech oder eine Glasscheibe)

a) 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!

b) 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, welche Plaste die ermittelten Eigenschaften besitzen!

Versuch S 68: Untersuchung von Plasten auf Stickstoff

Durchführung a:

Plast, Natrium, Eisen(II)-sulfat oder Eisen(II)-Ammoniumsulfat (Mohrsches Salz), Eisen-(III)-chloridlösung (10%ig), Schwefelsäure (10%ig), Natronlauge (10%ig)
2 Reagenzgläser (100 mm mal 12 mm), 2 Reagenzgläser (160 mm mal 16 mm), Spatellöffel, Messer, Tropfpipette, Becherglas (100 ml), Trichter mit Rundfilter, Spritzflasche mit destilliertem Wasser, Stativ mit Muffe und Klemme, Reagenzglashalter oder Tiegelzange, Brenner, Pinzette, Unterlage zum Schneiden von Natrium (Glasscheibe), Schutzbrille, Lackmuspapier

Mit einer Pinzette nehmen wir ein Stück Natrium aus der Vorratsflasche, entrinden es sorgfältig und schneiden dann zwei Stückchen von je etwa halber Erbsengröße ab. Ein Stück geben wir nun in ein trockenes Reagenzglas (160 mm mal 16 mm) und fügen etwas von dem zu untersuchenden Plast hinzu. Wir befestigen das Glas fast senkrecht in einer Stativklemme und erhitzen bis Reaktion eintritt **(Vorsicht! Schutzbrille benutzen!).** Dann werfen wir das zweite Stückchen Natrium in das Reagenzglas und erhitzen kurze Zeit auf Rotglut. Das noch heiße Glas fassen wir darauf mit dem Reagenzglashalter (oder der Tiegelzange)und tauchen es in ein 100-ml-Becherglas, das etwa 10 ml destilliertes Wasser enthält. Unter Entzündung von möglicherweise noch nicht umgesetzten Natrium zerspringt das Reagenzglas **(Vorsicht! Schutzbrille!).** Die im Becherglas befindliche Lösung (Lösung I) filtrieren wir in ein Reagenzglas (160 mm mal 16 mm) und stellen sie zunächst im Reagenzglasständer ab. Nun geben wir in ein Reagenzglas (100 mm mal 12 mm) eine kleine Spatelspitze Eisen(II)-sulfat oder Eisen(II)-Ammoniumsulfat und fügen etwa 5 ml destilliertes Wasser hinzu. Wir verschließen das Glas mit dem Daumen und schütteln. Die Lösung darf nicht erwärmt werden. Anschließend gießen wir ein Drittel der Lösung I in ein Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), setzen etwa 2 Tropfen Eisen(II)-sulfatlösung hinzu und prüfen mit Lackmus die Reaktion. Falls die Lösung nicht alkalisch reagiert, müssen wir Natronlauge zugeben. Dann erhitzen wir die Flüssigkeit und lassen sie etwa 3 min sieden. Hierbei muß das Glas geschüttelt werden, da die Lösung zum Siedeverzug neigt **(Vorsicht!).** 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 („Berlinerblau") fest oder ist nur die Lösung blaugefärbt?

Brennprobe bei Plasten

Plast	Verhalten beim Einbringen in die Flamme	Bei der Verbrennung auftretende Gerüche	Besonderheiten
Polyvinylchlorid (PVC)	brennt schwer, Flamme ist etwas grünlich gefärbt	stechend nach Chlorwasserstoff	brennt nicht weiter, wenn die Probe aus der Brennerflamme genommen wird
Polyvinylacetat	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	
Polyester	schwer zu entzünden, brennt dann mit gelber, rußender Flamme	süßlich	kann durch Zusätze fast unentflammbar sein
Polymethacrylsäureester (Piacryl)	brennt mit gelber, knisternder Flamme	fruchtartig, süßlich	
Celluloid	brennt sehr heftig mit gelber Flamme	nach Campher	feuergefährlich!
Celluloseacetat	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	

Durchführung b:

Plast, Grieß-Reagenz, Kupfer(II)-oxyd oder Mangan(IV)-oxyd (Braunstein)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Spatellöffel, Filterpapier, Brenner

Wir vermischen in einem trockenen Reagenzglas etwas von der zu untersuchenden Substanz mit pulverisiertem Kupfer(II)-oxyd oder Mangan(IV)-oxyd und überschichten das Gemisch etwa 2 cm hoch mit pulverisiertem Kupfer(II)-oxyd oder Mangan(IV)-oxyd. Dann rollen wir ein Stück Filterpapier zusammen, befeuchten es mit einigen Tropfen Grieß-Reagenz 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 über dem Kupferoxyd 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 an Kupfer(II)-oxyd (oder Mangan(IV)-oxyd) Stickoxyde, die mit Grieß-Reagenz unter Bildung eines roten Farbstoffes reagieren.

Was beobachten Sie auf dem Filterpapier?

Versuch S 69: Untersuchung von Plasten auf Schwefel

Durchführung a:

Ein Drittel der Lösung I vom Versuch S 68 (Durchführung a), Natriumnitrosoprussiatlösung (5%ig), Natronlauge (10%ig)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Tropfpipette, Lackmuspapier

Wir gießen ein Drittel der Lösung I aus Versuch S 68, Durchführung a, in ein Reagenzglas und prüfen mit Lackmus ihre Reaktion. Reagiert die Flüssigkeit nicht alkalisch, so setzen wir Natronlauge hinzu. Dann tropfen wir ein wenig Natriumnitrosoprussiatlösung in das Glas. Eine rotviolette bis violette Färbung zeigt die Anwesenheit von Schwefel in der untersuchten Substanz an.

Was beobachten Sie?

Durchführung b:

Ein Drittel der Lösung I vom Versuch S 68 (Durchführung a),
Bleiacetatlösung (20%ig), Äthansäure (konzentriert)
Reagenzglas (100 mm mal 12 mm)

Ein Drittel der Lösung I vom Versuch S 68, Durchführung a, wird in ein Reagenzglas gegossen. Dann neutralisieren wir die meist alkalische Flüssigkeit mit konzentrierter Äthansäure (**Vorsicht!**) und geben 10%ige Bleiacetatlösung hinzu. Ein dunkelbrauner Niederschlag von Blei(II)-sulfid zeigt uns die Anwesenheit von Schwefel in der untersuchten Substanz an.

Stellen Sie einen derartigen Niederschlag fest?

Versuch S 70: Untersuchung von Plasten durch die Beilstein-Probe

Polyvinylchlorid, andere Plaste, Salzsäure (konzentriert), Kupfer(II)-oxyd.
2 Porzellanschälchen oder Uhrgläser, Kupferdraht (nicht zu dünn), Tiegelzange, Brenner

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, Beilstein-Probe genannten, Untersuchung 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 Plaste durch die Beilstein-Probe!

c) Wir mischen etwas von der zerkleinerten Plastprobe mit gepulvertem Kupfer(II)-oxyd, 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 beobachteten Sie?

Bestimmung der Plaste auf Grund einfacher Analysen

nachgewiesene Elemente	mögliche Plaste bzw. Elaste	
	Thermoplaste und Elaste	Duroplaste
nur **Stickstoff**	Celluloid, Polyamide (Miramid, Igamid, Dederon), Polyacrylnitril	Aminoplaste auf Basis von Harnstoff, Dicyandiamid und Melamin
nur **Schwefel**	Gummi und Hartgummi auf Basis von Zahlenbuna, Buna S und Naturkautschuk	–
nur **Chlor**	Polyvinylchlorid (PVC und PC), Chlorkautschuk	–
Stickstoff und **Schwefel**	vulkanisiertes Perbunan	Aminoplaste auf Basis von Thioharnstoff
Chlor und **Schwefel**	vulkanisierter Chlorkautschuk	–
weder Stickstoff noch Schwefel oder Chlor nachweisbar	Polystyrol, Polyäthylen, Polymethacrylsäureester (Piacryl), Polyvinylacetat, Polyester, Celluloseacetate	Phenoplaste

Versuch S 71: Schmelzbarkeit von Dederon

Dederon (z. B. ein Stück Strumpf)
Glasstab, Reagenzglas (100 mm mal 12 mm), Reagenzglashalter, Schere, Brenner

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 möglichst gleichmäßig erwärmt wird.

Was bemerken Sie nach kurzer Zeit? Führen Sie einen Glasstab bis an den Boden des Reagenzglases mit der Substanz und ziehen Sie ihn langsam wieder heraus!

Versuch S 72: Untersuchung von Faserstoffen durch die Brennprobe

Baumwolle oder Zellwolle, Schafwolle, Dederon
Brenner

Wir halten einige zusammengedrehte Fäden oder ein schmales Stück Gewebe beziehungsweise Gewirke von Baumwolle oder Zellwolle, Schafwolle und Dederon in waagerechter Lage an den seitlichen Rand einer Flamme.

Beobachten Sie, ob das untersuchte Material leicht entzündlich ist oder anfänglich nur schmilzt! Beurteilen Sie die Brennbarkeit der Faserstoffe! Welche Gerüche treten dabei auf?

Untersuchen Sie die bei der Verbrennung gebildete Asche auf ihre Beschaffenheit, indem Sie diese zwischen den Fingerspitzen zerreiben! Tragen Sie Beobachtungsergebnisse in eine Tabelle ein!

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 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 ver-

anlaßt. 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 spiegelt jedoch die Wirklichkeit nicht richtig wider. Deshalb hat die Phlogistonlehre die Forscher oft in unlösbare Widersprüche verwickelt 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 französi-

schen 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 Gewichtszunahme entweder als bedeutungslos hin, oder sie suchten ihre phlogistische Anschauung durch Zusatzhypothesen zu retten, zum Beispiel in dem sie dem Phlogiston „negatives Gewicht" 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 Gewichtsabnahme, sondern stets nur eine Gewichtszunahme 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 JOSÈPHE-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 gleichem Gewicht. Atome verschiedener Elemente sind verschieden, sie unterscheiden sich vor allem im Gewicht.

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 ein bestimmtes Gewicht 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 Entdeckung 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 neue, 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 hoch entwickelten 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. Im Rahmen des Siebenjahrplanes wird auch die Atomforschung in der Deutschen Demokratischen Republik weiter ausgebaut.

Sach- und Namenregister

Abscheider 52
Acetaldehyd s. Äthanal
Acetate 86
Acetat-kunstseide 149, 182, 185
— -zellwolle 149
Aceton s. Propanon
Acetylen s. Äthin
Acrylnitril 189
Addition 26, 232
Adipinsäure s. Hexandisäure
AH-Salz 162, 188
Aktivkohleadsorber 55, 56
Alchimie 259
Aldehyde 74
Alanin 129
Albumine 132
Alkanale 74—80, 135
—, Aufbau 74
—, Benennung 75
—, Eigenschaften 75—77
—, Nachweis 70, 77, 135, 241, 242
Alkan-diole 72
— -disäuren 87—89
Alkane 10—23, 34, 36, 50, 53, 55, 58, 59, 65, 104
—, Aufbau 10,11
—, Benennung 17, 21
—, Halogenderivate 21—23
—, homologe Reihe 17, 18
Alkanole 65—73, 81, 90
—, Aufbau 65
—, Benennung 66
—, homologe Reihe 71, 72
—, primäre 66, 67, 71, 72
—, sekundäre 66, 67
—, tertiäre 66, 67
Alkan-säuren 80—86, 92, 104
—, Aufbau 80
—, Benennung 81
—, Eigenschaften 82
— -triole 72
Alkene 24—27, 40, 42, 55, 58, 59
Alkensäuren 104
Alkine 27—33
Alkohol s. a. Äthanol
—, absoluter 70
Alkohole s. Alkanole
Alkylsulfate 123, 124
Allylen s. Propin
Ameisensäure s. Methansäure
Amine 170
Amino-äthansäure 129
— -benzol 101, 102
ε-Aminocaprolactam 162, 187, 188
Amino-gruppe 101, 128, 170
— -3-methylbutansäure, 2- 129
— -pentandisäure 129
— -plaste 78, 170—172, 177
— —, Eigenschaften 172
— —, Herstellung 170
— —, Verwendung 172
— -propansäure, 2 - 129
— -säuren 128, 129
— —, a- 128
— —, 2- 128, 129
Amisal 84
Amylen s. Penten
Anilin s. Aminobenzol
Antiklopfmittel 59
ARRHENIUS, SVANTE 262
aromatische Verbindungen 94
Asphalt 39
Äthan 14, 15, 27, 36, 42, 53, 60, 66
Äthanal 70, 75, 76, 78—80, 84, 242
—, Eigenschaften 79
—, Verwendung 79
Äthan-diol 72, 91
— -disäure 88, 89, 244, 245
Äthanol 24, 31, 66, 69—71, 85, 90, 92
—, Eigenschaften 70, 71, 231, 232, 238, 239, 241
—, physiologische Wirkung 71
—, Verwendung 71
— -gärung 69, 70, 151, 238
— -synthese 70
Äthansäure 31, 76, 80, 81, 84—87, 90, 92, 182, 243, 244
—, Eigenschaften 85, 86
—, Verwendung 86, 87, 182
— -anhydrid 182
— -gärung 85
— -synthese 84, 85
Äthen 24, 25, 42, 164, 165, 231, 232
Äthin 27, 28—32, 70, 78, 79, 84, 157, 177, 189
—, Eigenschaften 30, 31
—, technische Herstellung 28—31
—, Verwendung 31, 32, 157, 177, 189
Äthyl-alkohol s. Äthanol
— -äthanat 90, 92, 246
Äthylen s. Äthen
— -dinitrat 196, 201
Äthyl-nitrit 91
— -propanat 91
— -schwefelsäure 24, 25
Atom-bau 263, 264
Atom-begriff, Entwicklung 259—264
— -forschung 264
— -gewicht 262
— -hypothese 262
aussalzen 114
Autoklav 157, 162

BAEYERS Reagenz 26, 27
Baumwoll-Linters 182
Benzin 38—40, 42, 48, 50, 52, 53, 56, 58, 59, 107, 232, 233
—, Leicht- 38, 56
—, Schwer- 38, 56
Benzoesäure s. Benzolcarbonsäure
Benzol 42, 48, 58, 59, 95—99
—, Aufbau 95, 96
—, Eigenschaften 59, 95—97
—, Gewinnung 42, 48, 97
—, Homologe 97—99
—, Verwendung 58, 97
Benzol-carbonsäure 98
— -derivate 97—102
— -ring 96
— -sulfonsäure 96
BERGIUS, FRIEDRICH 52
BERGIUS-Verfahren 52—54, 63
Bernsteinsäure s. Butansäure
BERTHELOT, MARCELLIN 7
BHT-Koks 29, 48, 63, 177
Bienenwachs 92
BILKENROTH 48
Bitumen 35
Biuretreaktion 250, 251
Blei-azid 205
— -tetraäthyl 59, 60
BOHR, NIELS 263
Bohrturm 36
BOYLE, ROBERT 260
Braunkohlen; Verwendung zur Elektroenergieerzeugung 63
— -brikettierung 61
— -förderung 60, 61
— -gas 48
— -hochtemperaturverkokung 48
—, Roh- 61
— -schwelkoks 50
— -schwelteer 50
— -schwelung 48—50
— -teer 48
— -veredlung 61
Brennprobe 254, 255, 258
Brisanz 195
Bromidlöscher 23

Buna 31, 166
— -kalk s. Carbidkalkhydrat
Butadien 166
Butan 14, 15, 19, 36, 42, 53, 60
— -disäure 88
Butanol 71, 72
Butansäure 81
Buten 24, 42
Butin 27
BUTLEROW, ALEXANDER MICHAILOWITSCH 7, 262
Butter 108, 109, 252
Butter-erzeugung der DDR 109
— -säure s. Butansäure
Butylen s. Buten

Calciumcarbid 23, 28, 29, 31, 157, 177
—, technische Herstellung 28
Carbid s. a. Calciumcarbid
— -erzeugung der DDR 29
— -kalkhydrat 30
— -ofen 28
— -sprit 70
Carbolsäure 99
Carbonatverfahren 113, 114, 248
Carbonsäuren 81, 113, 243, 244
—, synthetische 113
Carboxylgruppe 80
Casein 132, 154
Celluloid 149, 154, 155
Cellulose 91, 148, 149
—, Eigenschaften 148, 149
—, Verwendung 149
— -acetat 182
— -dinitrat 201
— -ester 149
— -nitrate 196, 201, 205
— -trinitrat 201
— -xanthogenate 149
Cetan s. Hexadecan
— -zahl 60
CHARDONNET, SAINT HILAIRE DE 180
CHADWICK, JAMES 264
Chemie-fäden 179
— -faserindustrie der DDR 190—193
— -fasern 179—193
— —, auf Cellulosebasis 180—185
— -spinnfasern 179, 180
Chloräthen 156, s. a. Vinylchlorid
Chloroform s. Trichlormethan
Chromoproteide 132
Collodiumwolle 201
Cracken 39, 40, 45
Cyanwasserstoff 189

DALTON, JOHN 262
Decansäure 82
Decelith H 160
— -W 160
Dederon 163, 187, 188, 191, 257, 258
—, Eigenschaften 188
DEMOKRIT VON ABDERA 259
denaturieren 71
Derivat 21
Destillation 36—38, 50, 53, 234, 235
—, Röhren- 37
—, Vakuum- 37
Destillierkolonne 70
Detonation 195
— -sgeschwindigkeit 195
Dextrin 136
Dextrose 136
1,6-Diaminohexan 162
Dibromäthan 26
Dichlormethan 22
Dicksaft 142
Dicyandiamid 172
Didi-Preßmasse 172
Diesel-kraftstoff 53, 58, 60
— -öl 39, 50, 56, 58, 60
Diffuseur 139
Diffusionsbatterie 139
Dimethylbenzol 98
DÖBEREINER
Dodecanol 72
Doppel-bindung 24, 25
— -essig 86
Drehbohrverfahren 36
Dreh-filter 141
— -trommel 181
Dreifachbindung 27
Dreiphasenofen 28
Druckvergasung von Braunkohlen 13, 48
Dünnsaft 141
Duroplaste 156, 167—175, 253
Düsentreibstoff 53
Dynamit 202
—, Gelatine- 202
—, Gur- 202

Edelkunstharze 168
Eisessig 85
Eiweiße 35, 127—133, 250, 251
—, biologisch vollwertige 133
—, Eigenschaften 130, 131
—, einfache 131, 132
—, Einteilung 131, 132
—, Molekülform 130
—, Molekülgröße 130
—, Nachweis 130, 131, 250, 251
—, Reaktionen 130, 131
—, Vorkommen 127, 128
—, zusammengesetzte 132
—, Zusammensetzung 128
— -stoffwechsel 133
Ekadur 31, 160
Ekalit 160
Ekalon 160
Ekazell 160
Elaste 166
Emulsionsverfahren 157
ENGLER, KARL 35
Entphenolung 99
Entwässerungsmaschine 151
Enzyme 69, 85, 89, 132, 136, 146, 147
Epilox 174
Epoxydharze 174
Erdgas 13, 15, 42
Erdöl 34—45
—, Aufarbeitung 36—38, 44
—, Ausgangsstoff für die chemische Industrie 40—42
—, Destillationsprodukte 38, 39
—, Entstehung 35
—, Förderung der DDR 43, 44
—, Gewinnung 35, 36
—, Verwendung 38—42
—, Vorkommen 35
Erdöl-leitung 44
— -pech 37
— und Erdgasindustrie der DDR 43—45
Essigessenz 86
Essigsäure s. Äthansäure
essigsaure Tonerde 86
Ester 90—92, 245, 246
—, Benennung 91
—, Bildung 90, 91, 246, 247
Explosion 194, 195
Explosivstoffe 149, 194—206
—, Anwendung 197—200
—, chemische Grundlagen 194—197
—, Einteilung 197
—, Zusammensetzung 196, 197

Faserbeize 86
Fasern, halbsynthetische 179
—, vollsynthetische 179
Faßeife 115
Faulschlamm 35
Fehlingsche Lösung 76
Feinseife 115, 116
Fermente s. Enzyme
Ferngasleitung 42
Fette 7, 35, 73, 92, 103—111, 246, 247
—, Aufbau 103
—, Eigenschaften 105
—, Gewinnung 105—107, 246, 247
—, Struktur 105
—, pflanzliche 105
—, tierische 105
—, Verwendung 110, 111
fette Öle 103, 108, 247, 248
Fettsäuren 81, 103—105
Fettsäuresynthese 56, 104, 105
Fett-härtung 110
— -spaltung 73
Fewa 123—125

Filterpresse 141
FISCHER, EMIL 128, 129
FISCHER, FRANZ 53
FISCHER-PICHLER-Mitteldrucksynthese 56
FISCHER-TROPSCH-Synthese 53–57, 69
Fit 123–125
Flammpunkt, Bestimmung 236
Flüssiggas 15, 53, 56, 60
Formaldehyd s. Methanal
Formalin 78
Formiate 83
Fraktion 37, 38
Fraktionierturm 37
Fruchtäther s. Fruchtester
Frucht-ester 92
– -zucker s. Fructose
Fructose 137
fuchsinschweflige Säure 77, 79, s. a. SCHIFFS Reagenz
Füllmasse 143
funktionelle Gruppe 66, 74

Galalith 154
Gärkessel 69
Gärung, alkoholische 69, 70
–, Essigsäure- 85
–, Milchsäure- 89, 90
Gas-öl 39
– -phase 52
GASSENDI, PETRUS 260
Gelatinedynamit 202
Gelatinierung 201
Generatorgas 48
Gerüstsubstanz 148
Gesamthärte 120
–, Bestimmung 121
Gesetz der konstanten Proportionen 261
Gesetz der Periodizität 262
Gesetz von der Erhaltung der Masse 261
Gießharze 168
Glakresit 170
Globuline 132
Glockenboden 37
Glucose 68, 69, 135–138, 146, 147
–, Molekülform 135, 136
Glutaminsäure 129
Glycerin s. Propantriol
– -trinitrat s. Propantriol-trinitrat
Glycin 129
Glykokoll s. Glycin
Glykol s. Äthandiol
– -dinitrat s. Äthylendinitrat
Glykoproteide 132
Glysantin 73
Grieben 105
Grubengas 13
Grudekoks 50
Grün-malz 69
– -spatz 86
Gummi 166, 167
Gurdynamit 202

Hackmaschine 150
HAHN, OTTO 264
Hämoglobin 132
Harnstoff 7, 172, 177
Härtegrad, deutscher 120
Hart-gewebe 173
– -papier 173
Heckapparat 140
HEISENBERG, WERNER 264
Heiz-gase 15, 48
– -öl 39, 50, 53, 56
Heptan 59
Hexamethylendiamin s. 1,6 – Diaminohexan
Hexadecan 60
– -säure 103, 104
Hexandisäure 162
HÖFER, HANS VON 35
HOHENHEIM, THEOPHRASTUS BOMBASTUS VON 260
Holz-geist 67
– -verzuckerung 136
homologe Reihe 17, 18
HOOKE, ROBERT 180
Hydrierung, katalytische 50, 52, 53
–, Hochdruck- 52, 53
Hydroxy-benzol s. Phenol
– -propansäure, 2, 89, 90, 138
– -säuren 89, 90

Iatrochemie 260
Igamid-Schnitzel 162
Igelit s. PVC-weich
Indigo 101
Initial-sprengstoffe 205, 206
– -zünder 205, 206
Irrlicht 13
isomer 19
Isomerie 19, 21
Isooctan 59
Isoverbindung 21
i-Verbindung s. Isoverbindungen
IWANENKO, DMITRI DMITRIJEWITSCH 264

Jod-Stärke-Reaktion 252

Kalander 159
Kalk-Soda-Verfahren 121, 122
Kandiszucker 137
Karamelzucker 138
KEKULE, AUGUST, VON STRADONITZ 95
Keratin 132
Kernseife 114, 116
Kessel-ladung 199
– -stein 120
Ketten-reaktion 155
– -wachstum 156
Kirnen 108
Klärgas 13
Klopfen 59
Klopffestigkeit 58, 59
Knall-quecksilber 205
– -schnur 204
Knetmaschine 180, 181
Koagulierung 130
Kochsäure 149
Kofasalz 84
Kohlendisulfid 181
Kohlenhydrate 132, 134–153
–, Zusammensetzung 134
Kohlenstoff-atom 7, 8
– -Kohlenstoff-Bindung 8
– -Wasserstoff-Bindung 8
Kohlenwasserstoffe 10–56, 58, 94 bis 102, 229
–, gesättigte 10–23
–, Gewinnung aus Erdöl und Erdgas 36–45
–, Gewinnung aus Kohle 47–56
–, kettenförmige 9, 10–32
–, ringförmige 42, 58, 94–102, s. a. aromatische Verbindungen
–, ungesättigte 23–31, 34
Kohleveredlung 47–60
– -sindustrie der DDR 60–64
Koks 28
KOLBE, HERMANN 85
Konservierungsmittel 71, 74
Kraftstoffe 34, 49, 53, 56–60, 71, 97, 98
Kresole 101
m-Kresol 167
Kühlpresse 114
Kunst-honig 138
– -horn 154
– -seide 180
– -stoffe s. Plaste
Kupferkunstseide 182, 185

Lactalbumin 132
Lactoglobulin 132
Lanon 190, 193
Laugenverseifung 113
LAVOISIER, ANTOINE LAURENT 261
Lecithin 91
Leichtöl 50, 99
Leimseife 115, 116
Leunapropan 53
LOMONOSSOW, MICHAIL WASSILIEWITSCH 261
Lösungsmittel 22, 23, 38, 69, 70, 74, 80, 86, 92, 97, 98, 182

Lurgi-Spülgas-Schwelverfahren 49, 51, 63

Magnesiumacetat 81
Maischbottich 69
Makromoleküle 147, 156
Malonsäure s. Propandisäure
Margarine 108, 109, 252
– -erzeugung der DDR 109
MARGGRAF, ANDREAS SIGISMUND 137
Maschinenöl 39
Mehrfachbindung 24, 26, 27
–, Nachweis 26, 27
Melacart 173
Meladurpreßmasse 172
Melamin 172
Melasse 143
MENDELEJEW, DMITRIJ IWANOWITSCH 262, 263
Metallkitt, Herstellung 241
meta-Stellung 98
Methan 11–14, 22, 36, 42, 48, 50, 53, 65, 230
–, Darstellung 11, 230
–, Eigenschaften 11, 12
–, Halogenderivate 22
–, Verwendung 14
–, Vorkommen 12, 13
–, Zusammensetzung 12
Methanal 74–78, 167, 170, 177, 242, 243
–, Eigenschaften 78
–, Herstellung 77, 242, 243
–, Verwendung 78, 167
Methanol 65, 67–69, 71, 74, 77, 78, 237, 240
–, Eigenschaften 68, 237
–, Verwendung 69
Methanolsynthese 67, 68
Methansäure 81–84, 138, 243
–, Eigenschaften 83
–, Herstellung 81, 82
–, Verwendung 84, 138
Methode von BOUTRON und BOUDET 121
Methyl-acetylen s. Propin
– -äthanat 91
– -alkohol s. Methanol
– -benzol 97, 202, s. a. Toluol
– -chlorid s. Monochlormethan
– -gruppe 14
– -phenole 101, s. a. Kresole
2-Methyl-propan 19
– -propanol-(2) 67
MEYER, LOTHAR 263
Milchsäure s. 2-Hydroxypropansäure
Miramid 162
Misch-gas 48
– -polyamid 188
– -polymerisation 166
Mittelöl 50, 52, 53, 99
Monochlor-bromäthan 23
– -methan 22
Montanwachs 92

Nachreife 181
Naphthalin 48
Naphthene 34
Naßgasverfahren 29
Naßspinnverfahren 182
Natrium-cellulosexanthogenat 181
– -formiat 82
– -phenolat 99
Natron-cellulose 180
– -seife 248
Neutralwaschmittel 105, 123–126, 249
NEWLANDS 262
Nitrierung 97
Nitro-benzol 97, 102
– -glycerin s. Propantrioltrinitrat
– -glykol s. Äthylendinitrat
– -verbindungen 196
NOBEL, ALFRED 202, 205
Normalverbindungen 21
n-Verbindungen s. Normalverbindungen
Nucleinsäuren 132
Nucleoproteide 132

Octa-decansäure 104
– -decensäure 104
Octanzahl 59
Öl 35
–, fettes 103, 108
Olefine s. Alkene
Oleomargarin 108
Öl-früchte 107
– -kuchen 107
– -säure s. Octadecensäure
– -springer 36
organische Chemie 5–7
–, Begriff 5–7
–, geschichtlicher Überblick 6, 7
organisches Glas 164
organische Verbindungen 7–9, 20
–, acyclische 8
–, Begriff 7
–, cyclische 9
–, Eintellung 8, 9
–, kettenförmige s. acyclische
–, ringförmige s. cyclische
–, Strukturformel 20
–, Vorkommen 6
ortho-Stellung 98
Oxalate 88
Oxalsäure s. Äthandisäure
Oxysäuren s. Hydroxysäuren
Ovalbumin 132

Palmitinsäure s. Hexadecansäure
PARACELSUS 260
Paraffin 16, 17, 39, 50, 56, 104, 234
–, Braunkohlen- 104
Paraffine s. Alkane
Paraffin-gatsch 56, 104
– -öl 234–236
– -oxydation 104
– -synthese 56
– -teer 50 s. a. Braunkohlenschwelteer
Paraformaldehyd 78
para-Stellung 98
PC-Fasern 186, 187, 193
– –, Eigenschaften 186
– –, Herstellung 186
– –, Verwendung 187
Pech 50
Penta-cosan 16
– -decan 16
Pentan 16, 20, 60
Penten 24
Peptidbindung 128
Perfol 163
Periodensystem der Elemente 262, 263
Perlon s. Dederon
permanente Härte 120
Permutit 122
Petrol-äther 38
– -chemie 40, 42, 43, 45
Petroleum 39, 236
Petrolkoks 40
Pfeilerbruchsturz-Verfahren 199
Pflanzen-globuline 132
– -öle 105
Phenol 99–101, 167, 177
–, Gewinnung 99, 100
–, Homologe 101
–, Verwendung 100, 101, 167, 177
Phenolate 99
Phenolharze 168
Phenoplaste 78, 167–171, 177, 253
–, Gewinnung 168
–, Verwendung 168–171
Phenosolvanverfahren 100
Phlogiston 260
– -Lehre 260
Phosgen 22, 23
Phosphor-proteide 132
Phosphorsäureester 91, 92
Piacryl P 164, 165
Piatherm 172
PIER, MATHIAS 52
Pikrinsäure s. Trinitrophenol
Piliermaschine 115
Plasta-cart 173
– -dur-Preßmessen 169
– -tex 173
Plaste 154–177, 253–257

Plaste, Begriff 154
—, Industrie der DDR 155
—, Untersuchung 253—257
—, Verwendung 155
Poly-acrylnitril 189
— — -fasern 189, 193
— -amid AH Schkopau 163
— -amide 162, 163, 177
— — , Eigenschaften 163
— — , Verwendung 163
— -amid-Fasern 187, 188
— -äthylen 27, 165, 166, 177
— -butadiene 166, 167, 177
— -caprolactam 187
— -esterfasern 190
— — -G Schkopau 174
— — -harze 174
— — -harze, glasfaserverstärkte 174
— -kondensation 156, 168, 170, 174
— -merisation 155, 156, 162, 164, 189
— -methacrylsäuremethylester 164, 165, 177
— -peptide 128—130
— -styrol 164, 177
— -vinylchlorid 156—161, 177, s. a. PVC
— — , Eigenschaften 157
— — , Herstellung 157
— — , Verwendung 157—161
Prelana 189, 193
Preß-massen 168
— -stoff 169
Propan 10, 14, 15, 36, 42, 53
Propanal 75
Propandisäure 88
Propanol 66, 67, 71, 72
— -(1) 67, 71, 72
— -(2) 67
Propanon 31
Propan-säure 81
— -triol- (1, 2, 3) 73, 74, 92, 110, 113, 114, 202, 241, 247
— — -ester 103, 105
— — -trinitrat 74, 91, 201, 202, 204
Propen 42
Propin 27
Propion-aldehyd s. Propanal
— -säure s. Propansäure
Propylalkohol s. Propanol
Proteide s. zusammengesetzte Eiweiße
Proteine s. einfache Eiweiße
Prout, William 263
Pulverzündschnüre 204
PVC s. a. Polyvinylchlorid
—, glasklares 160
— -hart 158, 159
— -Schkopau 160
— -weich 159

Raffinieren 145
Raketentreibstoff 39, 69, 71
Rammler 48
rauchschwache Pulver 201
Reaumur, René-Antoine 180
Reinigungsmittel 125
Röhrenöfen 37
Rohsaft 140
Rohrzucker s. Saccharose
Rohzuckergewinnung 143, 144
Rübenzucker 137 s. a. Saccharose
—, Gewinnung 139—145
Runge, Friedlieb Ferdinand 99
Rutherford 263, 264

Saccharose 137, 138
—, Säurespaltung 138
Salpetersäureester 91, 196
Saturation 141, 145
Säureamidbindung 128
Säulenladung 199
Schädlingsbekämpfungsmittel 92, 97
Scheideschlamm 141
Scheidung 141, 145
Schichtpreßstoffe 172, 173
Schieß-baumwolle 201
— -stoffe 197, 200, 201
Schiffs Reagenz 77, 78, 135
Schlack, Paul 187
Schlagpresse 114
Schleimstoffe 132
Schmier-öl 39, 233
— -seife 115, 116
— -stoff 50
Schnellessigverfahren 85
Schützenberger 128
Schwarzpulver 200, 201
Schwefelkohlenstoff 181
Schweizers Reagenz 182
Schwel-gas 50
— -ofen 49
Schwelung 49
Schwelwasser 50
Schwer-benzin 38
— -öl 38, 52, 53
Seifen 105, 112—119, 248, 249
—, Eigenschaften 117, 118
—, Herstellung 113, 114
—, volkswirtschaftliche Bedeutung 119
—, Waschwirkung 118, 249
—, Weiterverarbeitung 114, 115
—, Zusammensetzung 112
Seifen-flocken 116
— -kern 114
— -leim 115
— -pulver 116
Selinski, Nikolai Dmitrijewitsch 129
Serumalbumin 132
Siccoform 78
Sicherheitssprengstoffe 204
Siebenjahrplan 29, 42, 45, 60, 63, 177, 191, 264
Siebtrommel 150, 184
Siedekessel 113
siliciumorganische Verbindungen 175
Silicone 175
Siliconharze 175
Siliermittel 84
Silierung 89
Sinin, Nikolai Nikolajewitsch 101, 102
Skleroproteine 132
Soxhletapparat 107
Spindelöl 39
Speiseessig 86
Spinn-bad 182
— -düse 181, 184
— -kessel 181
— -topf 182
Spreng-gelatine 202
— -schnüre 204
— -stoffe 91, 97, 197, 202, 204
Sprengung in einem Bohrloch 198
Spritzgus 163, 164
Spülgas
Stahl, Georg Ernst 260
Stapellänge 184
Stärke 136, 145—148, 252
—, Eigenschaften 145, 146
—, Gewinnung 147
—, Nachweis 146, 252
—, Verwendung 147, 148
—, Vorkommen 145
Stärke-sirup 136
— -zucker 136, 147
Startreaktion 155
Staufferfett 39
Stearin 110
— -säure s. Octadecansäure
Steckenpferdbewegung 119
Steinkohlen-gas 48
— -teer 48
— — -destillation 99
— -verkokung 13, 48
Strangpresse 115, 158
Stufenverdampfung 142
Styrol 164, 166
Substitution 22, 196
Sulfatverfahren
Sulfit-sprit 151
— -verfahren 149—151
Sulfonierung 97
Sumpf-gas 13
— -phase 50
Synthesegase 48, 55

Tabakmosaikvirus 127, 132
Teeröl 50

temporäre Härte 120
Tetra s. Tetrachlormethan
– -chlorkohlenstoff s. Tetrachlormethan
– -chlormethan 22, 23, 107
– -contan 16
– -hydrofuran 186
Tetra-löscher 23
THALES VON MILET 259
Thermoplaste 156–166, 253
Tieftemperaturentgasung 49
Toilettenseife 115
Tolubalsam 97
Toluol 97, 98, 202, s. a. Methylbenzol
Traubenzucker s. Glucose
Treibgas 15, 53, 58, 60
Trichlormethan 22, 237
Trinitro-phenol 196, 203, 205
– -toluol 196, 203, 205
Trocken-spinnverfahren 182, 186
– -verfahren 29
Trommelfilter 141
TROMMERsche Probe 251
TROPSCH, HANS 53
Trotyl s. Trinitrotoluol
Turbinenbohrverfahren
Ungesättigte Verbindungen 27
–, Nachweis 232

Unterlauge 114
UNVERDORBEN 101

Vakuumverdampfer 100
Vaseline 39
VEB Braunkohlenkombinat Lauchhammer 29, 62
VEB Chemische Werke Buna 28, 29, 31, 65, 84, 162, 163, 166, 174, 176
VEB Deutsches Hydrierwerk Rodleben 105, 116
VEB Elektrochemisches Kombinat Bitterfeld 84, 160, 176
VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt 44
VEB Farbenfabrik Wolfen 122
VEB Fettchemie Karl-Marx-Stadt 119, 123, 125
VEB Filmfabrik Agfa Wolfen 153, 162, 182, 184, 187, 188, 189, 192, 193
VEB Hydrierwerk Zeitz 15, 17, 53, 62, 63
VEB Kombinat Espenhain 50, 62, 63
VEB Kombinat Gölzau 17, 50, 62, 63
VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen 49, 50, 53
VEB Kombinat „Schwarze Pumpe" 29, 62, 63
VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels" Premnitz 182, 185, 188 bis 190, 192, 193
VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" 15, 44, 52, 53, 62, 63, 65, 67, 77, 162, 166, 170, 174, 176
VEB Mineralölwerk Lützkendorf 44
VEB Stickstoffwerk Piesteritz 28, 164, 172, 176
VEB Synthesewerk Schwarzheide 15, 17, 44, 55, 62, 63
VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck" Schwarza 184, 185, 188, 190, 192, 193
Verdampferstation 141
Vergaserkraftstoff 38, 58, 60
Vergasung 48
Verkocher 143
Verkokung 48
Verseifung 246
Vinylchlorid 157
Viren 132
Viscose 181
– -kunstseide 143, 180–183, 185
– -zellwolle 149
Vollentsalzung 122
vollsynthetische Fasern 186–189
Vorreife 180
Vulkanisation 166
Vylan-Textilwaren 187

Wachse 92
Walrat 92
Waschmittel 81, 125
Wasserenthärtung 121–123
–, chemische 121, 122
Wasserenthärtung durch Ionenaustausch 122, 123
Wassergas 48, 52, 55
– -härte 120, 121, 248, 249
– –, Bestimmung 121
– –, bleibende s. permanente
– –, permanente 120
– –, temporäre 120
– –, vorübergehende s. temporäre
Weichmacher 159, 253
Wettersprengstoffe 204
–, ummantelte 204
Wofatite 122
WÖHLER, FRIEDRICH 6, 85
Wolcrylon 31, 189, 193

Xanthogenat 181
Xanthoproteinreaktion 131, 250
Xylol 98

Zeitzündschnur 204
Zell-PVC 160
– -stoff 149–153, 180, 182
– –, Herstellung 149–151
– –, Produktion der DDR 152, 153
– –, Verwendung 151, 152, 180
– – -kocher 150
– -wolle 184, 185, 190, 191
– –, Eigenschaften 185
– –, Produktion der DDR 190, 191
– –, Verwendung 185
Zentrifuge 143
Zeolithe 122
Zerfaserer 180
Zucker 7, 135–145, 251
–, industrielle Gewinnung 139–145
–, Nachweis 251
Zuckerfarbe 136
Zünd-hütchen 206
– -mittel 204–206
– -schnur 204, 205
– -stoffe 197, 204–206
– -willigkeit 60
Zylinderöl 39
Zymase 69

Abbildungen

Bauernbild, Berlin (77); Foto Brüggemann, Leipzig (45, 54, 56, 57, 67, 104); Foto-Werkstätten Herbert Busch, Wittenberg (97); Dewag Dia-Produktion, Dresden (66); Wolfgang Eisenhuth, Berlin (50, 11. Kapitelbild, 96); VEB Filmfabrik Agfa, Wolfen (85, 87, 114); Produktionsgenossenschaft Fototechnische Werkstätten, Berlin (6, 7. Kapitelbild, 60); VEB Halbmond-Teppiche, Oelsnitz (117); Foto Hoffmeister, Sonneberg/Thür. (105); Max Ittenbach, Berlin-Blankenburg (68); Rolf Kaltofen, Karl-Marx-Stadt (2. Kapitelbild, 6. Kapitelbild); VEB Kombinat „Otto Grotewohl" Böhlen (27); Konsum-Essig- und Mostrichfabrik, Berlin (49), Helmut Körner, Dresden (109); Werner Kraschewski, Güstrow (8); Heinz Krüger, Falkensee bei Berlin (8. Kapitelbild); VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" (30, 42); VEB Mineralölwerk Lützkendorf (17); Neues Deutschland, Bildarchiv (1. Kapitelbild, 1, 98); Ing. Joseph Peppler, Erfurt (91); VEB Plasta Preßstoffwerk, Köppelsdorf (101); Ilse Rieger, Waldheim/Sa. (64); Josef Schmidt, Berlin (116); VEB Synthesewerk Schwarzheide (33, 34); VEB Thüringisches Kunstfaserwerk „Wilhelm Pieck", Schwarza (110); Volk und Wissen, Volkseigener Verlag, Bildstelle, Berlin (2, 5. Kapitelbild, 44, 52, 76, 84); Foto-Winter, Leipzig (115); Zentralbild, Berlin (10, 15, 20, 21, 23, 24, 4. Kapitelbild, 31, 36, 37, 59, 69, 70, 75, 10. Kapitelbild, 78, 79, 81, 82, 92, 99, 102. 12. Kapitelbild, 111, 118, 13. Kapitelbild); Zentrales Haus der Deutsch-Sowjetischen Freundschaft, Berlin (3. Kapitelbild); aus Labaw Wyckow: The Electron Mikroscopy of Protein Crystals-Proc. Kon. Ak. Wetensch. Amsterdam (9. Kapitelbild); aus: Sowjetunion Nr. 102, 1958 (26).

Die Zeichnungen wurden nach den Vorlagen des Autors und der Redaktion von Heinz Grothmann, Berlin, und Heinrich Linkwitz, Berlin, angefertigt; Abb. 7, 14, 22, 25, 41, 51, 53, 63, 88, 94, 103, 107 und 118 von Robert Specht, Berlin-Staaken.