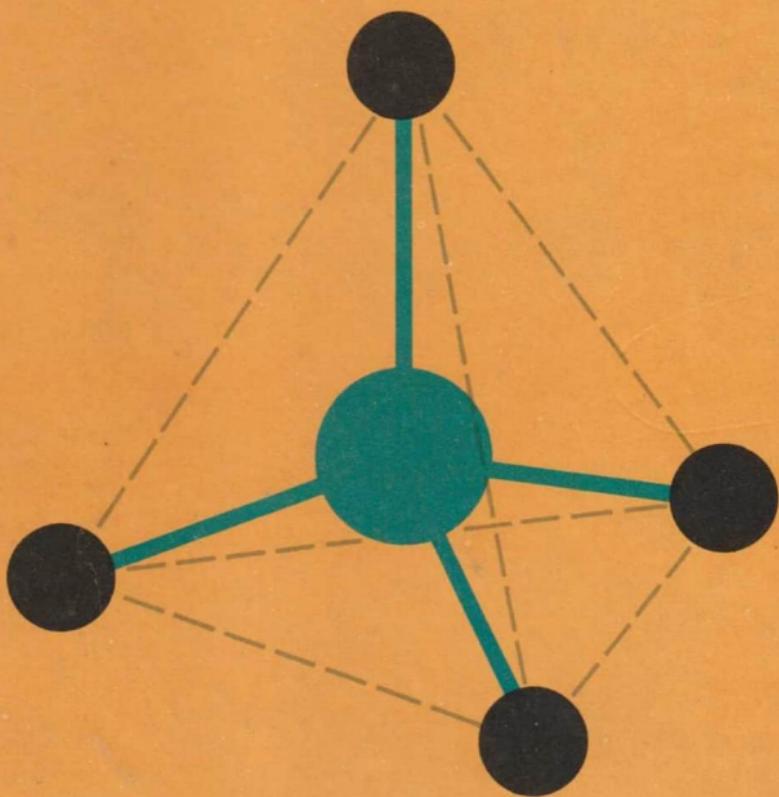


CHEMIE 10

Vorbereitungsklassen



CHEMIE

Lehrbuch für Klasse 10 · Vorbereitungsklassen



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin

1970

Autor: Albert Hradetzky

**Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik
als Schulbuch bestätigt**

2. Auflage

Ausgabe 1970

Lizenz Nr. 203 · 1000/70 (UN)

ES 11 H

Redaktionelle Bearbeitung: Werner Trebing, Klaus Sommer, Edward Gutmacher

Zeichnungen: Ingrid Schäfer

Ausstattung: Günter Runschke

Gesetzt aus der Extended

Gesamtherstellung: VEB Leipziger Druckhaus, Leipzig (III/18/203)

Redaktionsschluß: 15. Januar 1968

Bestell-Nr. 03 10 52-2

Preis 2,—

Inhalt

Einführung in die organische Chemie

	Seite
1 Elemente der IV. Hauptgruppe	7
2 Atombindung in organischen Verbindungen	8
3 Historische Entwicklung der organischen Chemie	10
4 Wiederholung	12

Kohlenwasserstoffe

5 Methan	13
6 Homologe Reihe der Alkane	14
7 Struktur der Alkane	17
8 Substitution	20
9 Äthen (Äthylen)	22
10 Addition und Polymerisation	24
11 Homologe Reihe der Alkene	27
12 Butadien-(1,3)	28
13 Äthin (Azetylen)	29
14 Herstellung von Kalziumkarbid	32
15 Homologe Reihe der Alkine	34
16 Vergleichende Betrachtung der Alkane, Alkene und Alkine	35
17 Benzol	36
Struktur und Eigenschaften 36 Benzolhomologe und Styrol 38	
18 Stickstoffderivate des Benzols	39
Nitrobenzol 39 Aminobenzol (Anilin) 40	
19 Wiederholung	42
20 Technische Herstellung von Kohlenwasserstoffen aus Erdöl	43
Aufarbeitung des Erdöls durch Destillation 43 Kracken von Erdöl 46	
21 Herstellung von Petrochemikalien	49
22 Kraftstoffe	52
23 Vergleich der Erzeugung von Kohlenwasserstoffen aus Kohle und Erdöl	52
24 Wiederholung	54

Sauerstoffderivate der Kohlenwasserstoffe

25 Alkohole	55
Struktur der Alkanole 56 Homologe Reihe der Alkanole 57	
26 Einige Vertreter der Alkohole	58
Methanol (Methylalkohol) 58 Äthanol (Äthylalkohol) 59 Propantriol (Glyzerin) 61	

	Seite
27 Phenole	61
Phenol 62 Zweiwertige Phenole 64	
28 Vergleichende Betrachtung von Alkoholen und Phenolen	64
29 Aldehyde	65
Alkanale 65 Reaktionen der Aldehydgruppe 66	
30 Einige Vertreter der Aldehyde	67
Methanal (Formaldehyd) 67 Äthanal (Azetaldehyd) 68 Glukose (Traubenzucker) 69	
Aromatische Aldehyde 69	
31 Ketone	70
Alkanone 71 Propanon (Azeton, Dimethylketon) 71	
32 Karbonsäuren	72
Alkansäuren 72	
33 Einige Vertreter der Alkansäuren	74
Methansäure (Ameisensäure) 74 Äthansäure (Essigsäure) 74 Höhermolekulare	
Alkansäuren 76	
34 Kettenförmige Karbonsäuren mit mehreren funktionellen Gruppen	76
Äthandisäure (Oxalsäure) 76 2-Hydroxypropansäure (Milchsäure) 77 Aminoäthan-	
säure (Glykokoll, Glyzin) 77	
35 Aromatische Karbonsäuren	78
Benzoesäure 78 Phthalsäure, Terephthalsäure 78	
36 Vergleich von Sauerstoffderivaten der Kohlenwasserstoffe	79
37 Esterbildung und Verseifung	81
38 Ester anorganischer und organischer Säuren	82
39 Fette	84
40 Polykondensationsprodukte	85
41 Wiederholung	86
 Systematisierung	
42 Prinzip von LE CHATELIER-BRAUN bei chemisch-technischen Verfahren	89
43 Einstellung des chemischen Gleichgewichts bei chemisch-technischen Verfahren	91
 Anhang: Schülerexperimente 93	
Register	103

Erläuterungen

- 1 *Lehrbuchabschnitte.* Das Buch ist in 43 Abschnitte gegliedert, von denen jeder inhaltlich einen abgeschlossenen Gedankengang darstellt. Diese Abschnitte sind fortlaufend nummeriert.

Tabellen und Abbildungen im Text sind fortlaufend nummeriert.



Beschreibungen der Experimente sollen in kurzer Form über das Wesentliche der wichtigsten Unterrichtsexperimente informieren. Sie stellen jedoch keine Experimentieranleitung dar! Das Wort *Vorsicht* weist darauf hin, daß im Ablauf der Experimente Gefahren auftreten können oder die verwendeten Stoffe gefährlich sind. Die Beschreibungen der Experimente sind fortlaufend nummeriert.



Im Anhang *Schülerexperimente* werden ausführliche Anleitungen zum Experimentieren gegeben.



Aufgaben befinden sich stets im oberen Teil der rechten Seiten. Im Text wird auf sie verwiesen. Die Aufgaben sind für jede Doppelseite gesondert nummeriert.



Zusammenfassungen und Merkmalf



Beispiele zur Erläuterung des Textes



Hinweise auf andere Seiten des Buches beziehungsweise auf andere Schulbücher

Kennzeichnungen in Schemazeichnungen:

Stoff

Ausgangsstoffe

Stoff

Hilfsstoffe

Stoff

Zwischenprodukte und Nebenprodukte

Stoff

Hauptprodukte

Einführung in die organische Chemie

1

Elemente der IV. Hauptgruppe

Kohlenstoff C, Silizium Si, Germanium Ge, Zinn Sn und Blei Pb sind die Elemente der IV. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente, der **Kohlenstoffgruppe**. Die Elemente der IV. Hauptgruppe besitzen entsprechend der Gruppennummer 4 Valenzelektronen. Mit Wasserstoff bilden sie Verbindungen mit der Oxydationszahl -4 . Die Reaktionsfähigkeit dieser Wasserstoffverbindungen nimmt mit steigender Kernladungszahl zu: Methan CH_4 ist bei Zimmertemperatur reaktionsträge und zersetzt sich erst bei hohen Temperaturen, Bleiwasserstoff PbH_4 zerfällt dagegen sehr leicht in seine Elemente. In den Sauerstoffverbindungen haben die Elemente der IV. Hauptgruppe die Oxydationszahl $+4$ oder $+2$. Durch Oxydation mit Sauerstoff entstehen aus den

Tabelle 1 Eigenschaften der Elemente der IV. Hauptgruppe

Element Symbol	Kohlenstoff C	Silizium Si	Germanium Ge	Zinn Sn	Blei Pb
Relative Atommasse	12,01	28,09	72,59	118,69	207,19
Dichte in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Diamant 3,51 Graphit 2,25	2,33	5,35	7,28	11,34
Schmelztemperatur in $^{\circ}\text{C}$	Diamant 3540 Graphit 3800	1413	958	232	327
Siedetemperatur in $^{\circ}\text{C}$	4347	2630	2700	2350	1750
Metallcharakter	zunehmend Nichtmetall \longrightarrow Metall				
Oxid (+4)	CO_2	SiO_2	GeO_2	SnO_2	PbO_2
Säurecharakter der Oxide	zunehmend \longleftarrow				

Elementen Kohlenstoff, Silizium, Germanium und Zinn Oxide mit der Oxydationszahl +4, beim Blei führt die Oxydation meist zum Blei(II)-oxid. Mit zunehmender Kernladungszahl werden Verbindungen mit der Oxydationszahl +2 bevorzugt gebildet.

Wie in anderen Gruppen des Periodensystems nimmt auch in der IV. Hauptgruppe mit steigender Kernladungszahl der saure Charakter der Oxide ab und der basische zu. ① ② ③ ④

Einige wichtige Angaben über die Elemente der IV. Hauptgruppe sind in Tabelle 1 zusammengestellt (↗ S. 7).

Atombindung in organischen Verbindungen

2

1 Die Löslichkeit von Benzin, Schmieröl, Paraffin, Stärke, Äthanol und Saccharose in Wasser wird untersucht.

2 Die bei Experiment 1 entstandenen wäßrigen Lösungen werden in der Apparatur nach Abbildung 1 auf elektrische Leitfähigkeit untersucht (↗ Physik in Übersichten, S. 82).

3 Kleine Mengen von Methanol, Benzol, Äthanol, Äthansäure (Essigsäure), Petroläther und Paraffinöl werden in Abständen auf einen Filterpapierstreifen getropft. Den Streifen wickelt man um ein Becherglas, das mit siedendem Wasser gefüllt ist.

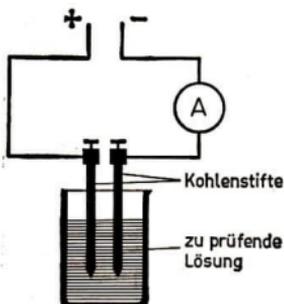
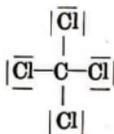
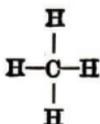


Abb. 1
Wässrige Lösungen organischer Verbindungen werden auf elektrische Leitfähigkeit untersucht

Die Bindung zwischen Atomen des Nichtmetalls Kohlenstoff und Atomen anderer Elemente wird durch gemeinsame Elektronenpaare bewirkt. Es liegen also Atombindungen vor:



Zur Bildung von positiven oder negativen Kohlenstoff-Ionen, die die Voraussetzung für die Beteiligung an einer Ionenbeziehung wären, müßte sehr viel Energie aufgewendet werden. ⑤ ⑥

- ① Stellen Sie die Besetzung der Elektronenschalen bei den Elementen der IV. Hauptgruppe in einer Tabelle zusammen! (↗ Tafelwerk, S. 43)
- ② Zeichnen Sie die Energieniveauschemas von Kohlenstoff, Silizium und Germanium!
- ③ Stellen Sie die Formeln für die Wasserstoffverbindungen der Elemente der IV. Hauptgruppe auf!
- ④ Begründen Sie die Oxydationswirkung des Blei(IV)-oxids PbO_2 aus der Stellung des Bleis im Periodensystem der Elemente!
- ⑤ Geben Sie für alle Elemente der 2. Periode die Anzahl der Valenzelektronen an und erläutern Sie die Veränderungen der Atomradien dieser Elemente! (↗ Tafelwerk, S. 43, S. 41)
- ⑥ Welche prinzipiellen Unterschiede zeigen die Elemente Lithium, Kohlenstoff und Fluor in ihrem Bestreben, die Elektronenanordnung eines Edelgases zu erreichen?
- ⑦ Begründen Sie, warum die Anzahl der Kohlenstoffverbindungen um ein Vielfaches größer ist als die Anzahl der Verbindungen aller anderen Elemente zusammengenommen!

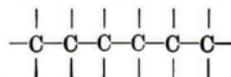
Die Vielzahl der Kohlenstoffverbindungen kommt dadurch zustande, daß Kohlenstoffatome nicht nur mit anderen Atomen, sondern auch untereinander Atombindungen eingehen. Auch Silizium, das in der IV. Hauptgruppe unter dem Kohlenstoff steht, zeigt in einigen Fällen ähnliche Eigenschaften. Während jedoch die Bindungen zwischen Siliziumatomen nur locker sind, bilden die Kohlenstoffatome untereinander feste Bindungen aus. Auch die Bindung von Wasserstoff an Kohlenstoff ist sehr stabil. Aus diesen Gründen sind die Stoffe mit Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen und mit Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen an diesen Bindungsstellen verhältnismäßig reaktionsträge und die Reaktionsgeschwindigkeiten bei der Umsetzung der Verbindungen im allgemeinen gering.

► **Kohlenstoffatome bilden untereinander und mit Atomen anderer Elemente Atombindungen aus.**

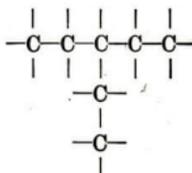
Die Chemie der kohlenstofffreien Verbindungen umfaßt etwa 60000 verschiedene reine Stoffe. Demgegenüber kennt man heute bereits über eine Million kohlenstoffhaltiger Verbindungen. Sie sind auf Grund ihrer Vielzahl in der Chemie der **Kohlenstoffverbindungen** oder **organischen Chemie** zusammengefaßt. ⑦

Die Kohlenstoffatome können sich untereinander zu offenen Ketten und zu Ringen verbinden.

kettenförmig

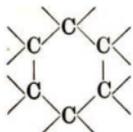


unverzweigte Kette



verzweigte Kette

ringförmig



Am Aufbau der organischen Verbindungen sind außer Kohlenstoff vor allem Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel beteiligt.

Viele organische Verbindungen sind in Wasser schwerlöslich (Experiment 1). Die wasserlöslichen sind im allgemeinen keine Elektrolyte (Experiment 2). In vielen Fällen verdampfen oder zersetzen sich organische Verbindungen bei geringer Temperaturerhöhung (Experiment 3). ① ②

Historische Entwicklung der organischen Chemie

3

Im 16. Jahrhundert war die Anzahl der bekannten 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. Man nahm damals an, daß sich die aus Pflanzen und Tieren gewonnenen Stoffe grundlegend von den mineralischen unterscheiden, und versuchte, ihre Besonderheiten zu ergründen. Die Untersuchungen brachten jedoch keine Ergebnisse, da die chemischen Kenntnisse noch zu gering waren. Erst als mehrere Chemiker, unter ihnen ANTOINE LAURENT LAVOISIER, das Wesen des Verbrennungsvorganges erforscht und die Elementaranalyse entwickelt hatten, erkannte man, daß die pflanzlichen und tierischen Stoffe vorwiegend aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, oft aber auch Stickstoff, Schwefel und Phosphor enthalten. Die Erkenntnis, daß zahlreiche Verbindungen sowohl in Pflanzen als auch in Tieren vorkommen, und die übereinstimmenden Analysen der animalischen und vegetabilischen Produkte führten dann zu einer Zusammenfassung beider Stoffgruppen unter der Bezeichnung „Organische Verbindungen“.



Abb. 2 FRIEDRICH WÖHLER

Abb. 3 ALEXANDER

MICHAJLOWITSCH BUTLEROW

-
- ① Was folgern Sie aus der Tatsache, daß viele organische Stoffe in wäßrigen Lösungen keine elektrische Leitfähigkeit zeigen (Experiment 2)?
 - ② Nennen Sie organische Stoffe, deren Siedetemperatur niedriger als die des Wassers ist (Experiment 3)!
 - ③ Widerlegen Sie die idealistische Theorie von der „vis vitalis“ an einigen Beispielen! Benutzen Sie dazu die von den Lebewesen hauptsächlich erzeugten Verbindungen!
 - ④ Warum war die Lehre von der „vis vitalis“ ein Hemmnis für die intensive Forschung auf dem Gebiet der organischen Chemie?
 - ⑤ Worin zeigt sich in BUTLEROWS Forschungsweise eine materialistische Grundeinstellung?
-

Über den Bau der organischen Verbindungen herrschte jedoch zu Beginn des 19. Jahrhunderts noch Ungewißheit, und man 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, nicht künstlich, hergestellt werden können. Das bedeutete für viele Wissenschaftler den Verzicht auf weitere Forschungen in dieser Richtung. Dem deutschen Chemiker FRIEDRICH WÖHLER (Abb. 2) gelang es im Jahre 1824, die organische Verbindung Äthandisäure (Oxalsäure) und 1828 den Harnstoff aus anorganischen Verbindungen herzustellen. Damit war die Irrlehre von der geheimnisvollen „Lebenskraft“ widerlegt. Gleichzeitig zeigten WÖHLERS Synthesen, daß für anorganische und organische Verbindungen die gleichen chemischen Gesetzmäßigkeiten gelten. WÖHLER selbst war aber den alten, idealistischen Gedankengängen so verhaftet, daß er die allgemeine Bedeutung seiner Forschungsergebnisse nicht erkannte. In der Folgezeit wurden die Forschungen WÖHLERS auch von anderen Chemikern bestätigt und ergänzt:

- 1831 Synthesen von Chloral und Chloroform durch LIEBIG
- 1846 Synthese von Zelluloseverbindungen durch SCHÖNBEIN und SOBRERO
- 1854 Fettsynthesen durch BERTHELOT
- 1856 Methansynthese durch BERTHELOT
- 1861 Künstliche Herstellung eines Zuckergemisches durch BUTLEBOW

Die Forschungen WÖHLERS, LIEBIGS und anderer Wissenschaftler bewiesen, daß man organische Stoffe synthetisch herstellen kann. Mit diesen Synthesen war aber auch der Weg zur modernen Chemie frei gemacht: Die Wissenschaftler begannen allmählich zu erkennen, daß die Welt ihrer Natur nach materiell ist und daß es möglich sein wird, alle Erscheinungen der Natur auf der Grundlage wissenschaftlicher Forschungen zu erklären. In unermüdlicher Forschungsarbeit gelang es, natürliche Farbstoffe, Kautschuk, Arzneimittel, Vitamine und Hormone im Laboratorium herzustellen. Heute werden in den Forschungslaboratorien und von unserer chemischen Industrie sogar Stoffe hergestellt, die in der Natur überhaupt nicht existieren und die den Naturprodukten in vielen Eigenschaften weit überlegen sind, zum Beispiel die Plaste, Chemiefasern, Arzneimittel und Farbstoffe. ③

Die gewaltige Entwicklung der organischen Chemie seit den ersten Synthesen dieser Art durch WÖHLER war und ist nur möglich auf Grund wissenschaftlicher Forschungen. Besondere Bedeutung haben hierbei Strukturuntersuchungen. Die Kenntnis der Struktur einer organischen Verbindung ist nicht nur für die systematische Einordnung, sondern auch für das Studium der Eigenschaften, der Reaktionen und der Synthese der Verbindung wichtig.

Die Theorie, mit deren Hilfe Strukturformeln entwickelt und diskutiert werden können, wurde von dem russischen Chemiker ALEXANDER MICHAJLOWITSCH BUTLEROW (Abb. 3) in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aufgestellt. Der Leitsatz seiner Theorie war: „Die chemische Natur des zusammengesetzten Teilchens wird durch die Natur der elementaren Bestandteile, durch deren Menge und chemische Struktur bestimmt.“

Im Gegensatz zu einer Reihe von Chemikern jener Zeit vertrat BUTLEROW in der Chemie materialistische Auffassungen. Seine Verdienste um die Aufklärung des Strukturbegriffes liegen nicht nur auf chemischen, sondern vor allem auf philosophischem Gebiet. BUTLEROW vertrat konsequent den Standpunkt, daß durch das Studium der chemischen Umwandlungen die innere Struktur der Moleküle erkannt werden kann. Er ging bei der Aufstellung seiner Theorie vom Experiment aus, wie überhaupt für BUTLEROWS Arbeitsweise die enge Verbindung von Theorie und Praxis kennzeichnend war. BUTLEROW führte zahlreiche Synthesen durch, mit denen er Beweise für die Richtigkeit seiner Theorie lieferte. BUTLEROWS Strukturtheorie trug dazu bei, daß sich die Kenntnisse der Chemiker vom Aufbau der Stoffe bedeutend vertieften. BUTLEROWS Lehre war eine wichtige Grundlage für die Entwicklung der theoretischen organischen Chemie. ④ ⑤ (↗ S. 11)

► Die historische Entwicklung der organischen Chemie zeigt, daß die Kenntnisse von der Natur durch systematische Forschung ständig erweitert und verfeinert werden. Dadurch ist es möglich, auf Naturvorgänge einzuwirken und sie nach dem Willen des Menschen zu lenken.

Da zwischen kohlenstoffhaltigen und kohlenstofffreien Verbindungen keine grundsätzlichen Unterschiede bestehen, ist der Begriff „Organische Chemie“ heute nicht mehr gerechtfertigt. Er ist aber in der Wissenschaft noch allgemein gebräuchlich. Besser ist die Bezeichnung „Chemie der Kohlenstoffverbindungen“.

Wiederholung

4

1. Nennen Sie Artikel des täglichen Gebrauches, die aus organischen Verbindungen bestehen!
2. Nennen Sie organische Stoffe, die in der lebenden Natur vorkommen!
3. Welche Bedeutung haben die Arbeiten WÖHLERS und BUTLEROWS für die Entwicklung der organischen Chemie?
4. Erläutern Sie am Beispiel von Chlorwasserstoff und Natriumchlorid den Unterschied zwischen Atombindung und Ionenbeziehung!
5. Stellen Sie die Elektronenformeln folgender Stoffe auf: CH_3Cl , CH_2Cl_2 , C_2H_6 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$, Cl_2 !

Kohlenwasserstoffe

Methan

5

Vorsicht! Methan wird in einem trockenen Standzylinder entzündet. Nachdem das Gas verbrannt ist, wird etwas Kalziumhydroxidlösung in den Zylinder gegossen und geschüttelt.

Organische Verbindungen, die nur aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind, nennt man **Kohlenwasserstoffe**. Der Kohlenwasserstoff mit der einfachsten Struktur ist das **Methan** CH_4 .

Methan ist ein wichtiger Bestandteil des Stadtgases und des Erdgases. Es ist ein farbloses, geruchloses, brennbares Gas, das eine kleinere Dichte als Luft hat. Die Litermasse dieses Gases beträgt 0,7168 g. Der Aufbau des Methans aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff kann durch die bei seiner Verbrennung entstehenden Produkte Kohlendioxid und Wasser nachgewiesen werden (Experiment 4). Methan bildet mit dem doppelten Volumen Sauerstoff oder mit dem zehnfachen Volumen Luft stark explosive Gemische. Ein Methan-Luft-Gemisch mit 50 Vol.-% Methan brennt dagegen bei Entzündung ruhig ab, weil die Zusammensetzung des Gemisches außerhalb der Explosionsgrenzen liegt.

Für die zeichnerische Darstellung der Struktur des Methans CH_4 projiziert man alle Atome in eine Ebene und erhält die beiden folgenden Formeln:

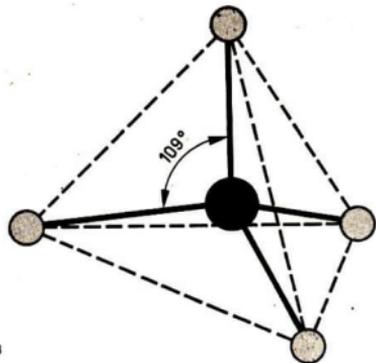
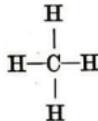
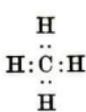


Abb. 4
Tetraedermodell des Methans

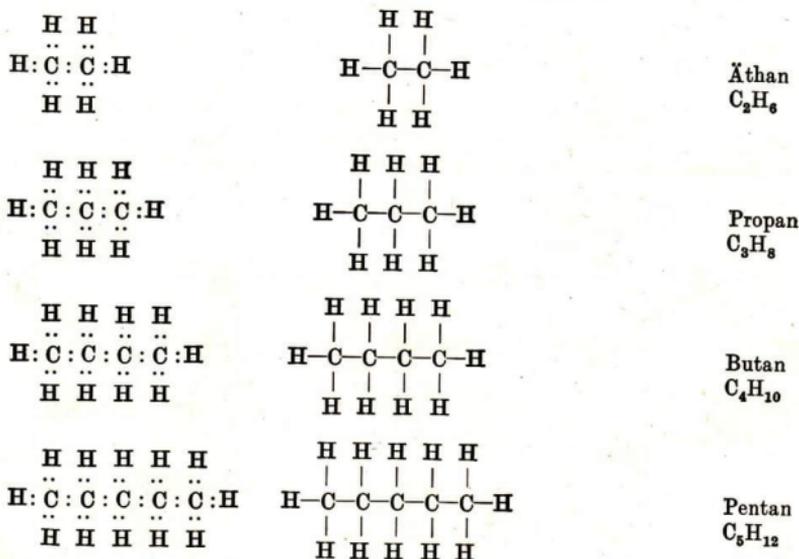
Diese Formeln geben zwar in einfachster Form die Bindungsverhältnisse an, sie kennzeichnen jedoch nicht die räumliche Anordnung der Atome. Im Methanmolekül sind vier gleichwertige Atombindungen vorhanden, die durch vier Elektronenpaare zustande kommen. Die Atombindungen sind räumlich gerichtet.

Das Methanmolekül bildet ein Tetraeder, in dessen Mittelpunkt das Kohlenstoffatom liegt (Abb. 4). Der Winkel, der zwischen zwei vom Kohlenstoff ausgehenden Atombindungen gebildet wird, beträgt $109^{\circ} 28'$. Er wird als tetraedrischer Valenzwinkel bezeichnet. ① ② ③ ④ ⑤

Homologe Reihe der Alkane

6

Kohlenstoffatome bilden auch untereinander Atombindungen aus, deshalb existieren neben dem Methan noch weitere Kohlenwasserstoffe.



Diese Kohlenwasserstoffe besitzen sämtlich nur eine Atombindung zwischen den Kohlenstoffatomen. Die übrigen Valenzelektronen der Kohlenstoffatome bilden Atombindungen mit Wasserstoffatomen aus. Solche Kohlenwasserstoffe heißen **Alkane**. Man nennt sie auch **gesättigte Kohlenwasserstoffe** oder **Paraffine**¹. Der Vergleich der vorstehenden Formeln zeigt, daß bei den Alkanen n Kohlenstoffatome mit $(2n + 2)$ Wasserstoffatomen verbunden sind. Deshalb kann man für die Alkane die allgemeine Formel $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ aufstellen.

Die räumliche Anordnung der Atome in den Alkanmolekülen wird durch den tetraedrischen Valenzwinkel bestimmt. Die Kohlenstoffketten der Alkane können daher nicht geradlinig sein, sondern sie bilden Zickzackformen. Dabei können die Kohlenstoffketten entweder gestreckt sein oder sich der Form von Ringen nähern. Ringsysteme aus fünf oder sechs Kohlenstoffatomen sind auf Grund des tetraedrischen Valenzwinkels besonders stabil (Abb. 5). ⑥

¹ parum (lat.) = wenig affinis (lat.) = verwandt

- ① Bei der Verbrennung von Methan entsteht ein Gas, das mit Kalziumhydroxidlösung nachgewiesen werden kann. Um welches Gas handelt es sich? Welcher Stoff schlägt sich bei Experiment 4 an der Zylinderwand nieder?
- ② Stellen Sie für die Verbrennung von Methan und für den Nachweis des entstehenden Gases die Reaktionsgleichungen auf!
- ③ Welche Masse entspricht einem Mol Methan?
- ④ Berechnen Sie das Volumenverhältnis Methan-Luft, das zur vollständigen Verbrennung notwendig ist!
- ⑤ Auf der experimentellen Bestimmung der Litermasse eines Gases beruht eine Methode zur Bestimmung von Molmassen. Berechnen Sie unter Verwendung des angegebenen Wertes für die Litermasse des Methans dessen Molmasse!
- ⑥ Stellen Sie aus Knetmasse (Plastilina) und Holzstäbchen ein Molekülmodell von Butan unter Berücksichtigung des tetraedrischen Valenzwinkels her! Untersuchen Sie an diesem Modell die möglichen räumlichen Anordnungen der Kohlenstoffatome!

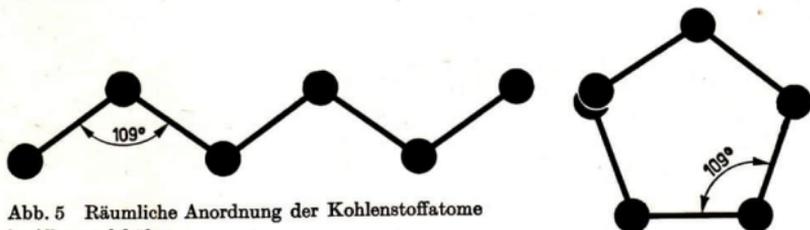


Abb. 5 Räumliche Anordnung der Kohlenstoffatome in Alkanmolekülen

Die Namen der **unverzweigten Alkane** setzen sich aus einem Wortstamm und der Endung „an“ zusammen. Die Endung ist für die Namen aller Alkane festgelegt worden. Der Wortstamm gibt die Anzahl der Kohlenstoffatome der unverzweigten Kette an (Tab. 2).

► **Tabelle 2 Wortstämme der Namen unverzweigter kettenförmiger Kohlenwasserstoffe**

Anzahl der Kohlenstoffatome in der Kette	Wortstamm	Anzahl der Kohlenstoffatome in der Kette	Wortstamm	Anzahl der Kohlenstoffatome in der Kette	Wortstamm
1	Meth	8	Okt	15	Pentadek
2	Äth	9	Non	16	Hexadek
3	Prop	10	Dek	17	Heptadek
4	But	11	Undek	18	Oktadek
5	Pent	12	Dodek	19	Nonadek
6	Hex	13	Tridek	20	Eikos
7	Hept	14	Tetradek	⋮	⋮

C_7H_{16} Heptan
 $C_{13}H_{28}$ Tridekan ① ②

► Alkane sind gesättigte kettenförmige Kohlenwasserstoffe. Ihre allgemeine Formel ist C_nH_{2n+2} .

Methan CH_4 , Äthan C_2H_6 , Propan C_3H_8 und Butan C_4H_{10} sind Gase, die zu Kohlendioxid und Wasser verbrennen und deshalb häufig als Heizgase verwendet werden.

Sie werden aber auch in immer größerem Umfang als Ausgangsstoffe für chemisch-technische Verfahren benutzt. Propan und Butan lassen sich leicht verflüssigen. Sie kommen als Flüssiggase in Stahlflaschen zum Versand. Die nächsthöheren Alkane vom Pentan C_5H_{12} bis zum Pentadekan $C_{15}H_{32}$ haben als Bestandteile von Benzin, Petroleum, Dieselöl und Heizöl große technische Bedeutung. Hexadekan $C_{16}H_{34}$ und höhermolekulare Alkane sind bei Zimmertemperatur fest. Gemische solcher Alkane werden im Handel als Paraffin bezeichnet (Tab. 3). ③

Tabelle 3 Homologe Reihe der Alkane

Formel	Name	Schmelztemperatur in °C	Siedetemperatur in °C	Zustand bei Zimmertemperatur
CH_4	Methan	-184	-164	gasförmig
C_2H_6	Äthan	-172	- 88,5	gasförmig
C_3H_8	Propan	-198,5	- 42,06	gasförmig
C_4H_{10}	Butan	-135	+ 0,6	gasförmig
C_5H_{12}	Pentan	-130,8	+ 36,2	flüssig
C_6H_{14}	Hexan	- 94,3	+ 68,6	flüssig
C_7H_{16}	Heptan	- 90	+ 98,4	flüssig
C_8H_{18}	Oktan	- 56,5	+125,8	flüssig
C_9H_{20}	Nonan	- 53,9	+150,6	flüssig
$C_{10}H_{22}$	Dekan	- 30	+173,8	flüssig
$C_{11}H_{24}$	Undekan	- 25,6	+194,5	flüssig
$C_{12}H_{26}$	Dodekan	- 12	+214,5	flüssig
$C_{13}H_{28}$	Tridekan	- 5,4	+234,8	flüssig
$C_{14}H_{30}$	Tetradekan	+ 5,5	+252,8	flüssig
$C_{15}H_{32}$	Pentadekan	+ 10	+270,5	flüssig
$C_{16}H_{34}$	Hexadekan	+ 17,8	+286,2	fest
$C_{17}H_{36}$	Heptadekan	+ 22,5	+303	fest
$C_{18}H_{38}$	Oktadekan	+ 28,1	+317	fest
$C_{19}H_{40}$	Nonadekan	+ 32	+330	fest
$C_{20}H_{42}$	Eikosan	+ 38	+344	fest

Vergleicht man die Summenformeln der Alkane, so kann man feststellen, daß diese Kohlenwasserstoffe eine Reihe bilden, bei der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gliedern stets die gleiche Differenz von $-CH_2-$ auftritt. Eine solche Reihe wird als homologe Reihe¹ bezeichnet.

¹ homologos (griech.) = übereinstimmend

- ① Bilden Sie die Namen für die unverzweigten Alkane C_6H_{14} , $C_{10}H_{22}$, $C_{14}H_{30}$, $C_{18}H_{38}$!
- ② Welche Summenformeln haben die Alkane Oktan, Pentadekan, Eikosan?
- ③ Berechnen Sie, wieviel Liter Gas (Normzustand) aus einer Stahlflasche entnommen werden können, die 5 kg flüssiges Propan enthält und ein Fassungsvermögen von 10 l (Restgas beachten)!
- ④ Vergleichen Sie Schmelztemperatur, Siedetemperatur und Zustand bei Zimmertemperatur der ersten 20 Glieder der homologen Reihe der Alkane! (↗ Tab. 3)

Die Glieder einer homologen Reihe zeigen oft ähnliche chemische Eigenschaften. Von bestimmten chemischen Eigenschaften eines Gliedes einer homologen Reihe kann man also auf die aller Glieder der gleichen Reihe schließen. Einige physikalische und chemische Eigenschaften der Verbindungen einer homologen Reihe ändern sich jedoch gesetzmäßig. Zum Beispiel kann man feststellen, daß mit zunehmender Molekülmasse der Alkane deren Siedetemperaturen ansteigen (Tab. 3). ④

An der homologen Reihe der Alkane ist erkennbar, daß zwischen der Struktur eines Stoffes und seinen Eigenschaften ein Zusammenhang besteht.

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

Struktur der Alkane

7

Beim Methanmolekül ist ein Kohlenstoffatom mit vier Wasserstoffatomen verbunden. Entfernt man aus dem Methanmolekül ein Wasserstoffatom, so bleibt ein einwertiger Rest $-CH_3$ zurück, den man als Methylrest bezeichnet. So wie vom Methan leiten sich auch von anderen Alkanen Alkylreste ab. Ihre Namen ergeben sich aus den Namen der Alkane: Bei gleichbleibendem Wortstamm wird die Endung „an“ des Kohlenwasserstoffnamens durch „yl“ ersetzt.

■ Methan	CH_4	Methylrest	$-CH_3$
Äthan	C_2H_6	Äthylrest	$-C_2H_5$

Die vom Namen „dekan“ abgeleiteten Bezeichnungen von Alkylresten lauten „dezyll“.

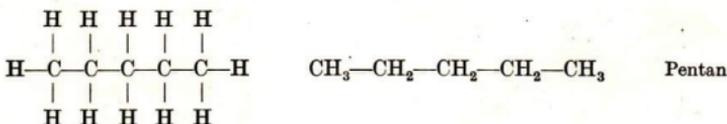
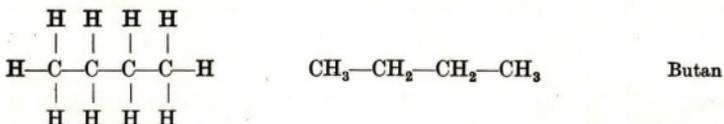
■ Dekan	$C_{10}H_{22}$	Dezylrest	$-C_{10}H_{21}$
Pentadekan	$C_{15}H_{32}$	Pentadezylrest	$-C_{15}H_{31}$

Kohlenwasserstoffreste haben für die organische Chemie große Bedeutung. Sie können zwar allein nicht bestehen, verhalten sich aber bei verschiedenen Umsetzungen als Ganzes und können unverändert von einer Verbindung in eine andere

übergeführt werden. Die freie Wertigkeit eines Alkylrestes wird im allgemeinen durch einen Strich dargestellt, obwohl es sich nicht um ein Elektronenpaar handelt. ① ② ③

▶ Unter Alkylresten versteht man Reste von Alkanen, von denen ein Wasserstoffatom entfernt wurde. Alkylreste sind allein nicht beständig.

Zur eindeutigen Angabe der Struktur einer organischen Verbindung ist immer die Strukturformel notwendig. Da die ausführliche Schreibweise besonders bei höhermolekularen Verbindungen sehr unübersichtlich ist, verwendet man meist eine vereinfachte Schreibweise der Strukturformel:

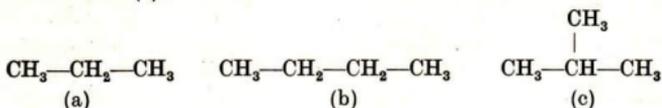


Strukturformel

vereinfachte Strukturformel

Bei den vereinfachten Strukturformeln werden stets jene Gruppen zusammengefaßt, über deren Struktur kein Zweifel besteht.

Ein Butanmolekül C_4H_{10} (b) kann man sich durch Ersatz eines Wasserstoffatoms am Ende eines Propanmoleküls C_3H_8 (a) durch einen Methylrest $-\text{CH}_3$ entstanden denken. Eine Verbindung der Formel C_4H_{10} entsteht aber auch, wenn ein Wasserstoffatom am mittleren Kohlenstoffatom des Propans durch einen Methylrest ersetzt wird (c).



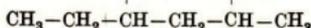
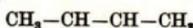
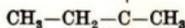
Beide Verbindungen haben die gleiche Summenformel C_4H_{10} , aber verschiedene Strukturen.

▶ Verbindungen mit gleicher Summenformel, aber verschiedener Struktur werden als **isomere¹ Verbindungen** bezeichnet. Das Auftreten solcher Verbindungen nennt man **Isomerie**.

Man unterscheidet verschiedene Arten von Isomerie. Die Isomerie, die auf dem unterschiedlichen Aufbau der Kohlenstoffkette beruht, heißt **Strukturisomerie**. Zur Unterscheidung der zahlreichen isomeren Verbindungen wird ihre Struktur

¹ Isos (griech.) = gleich; meros (griech.) = Teil. In den isomeren Verbindungen liegt die gleiche Anzahl von Atomen der betreffenden Elemente vor.

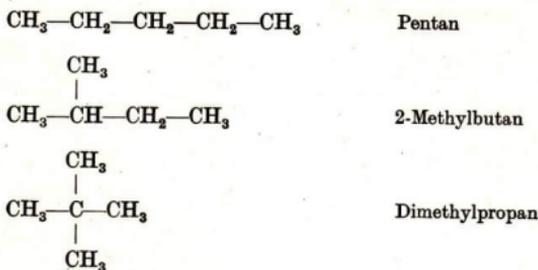
- ① Wie lautet die allgemeine Formel für einen Alkylrest?
 ② Welche Zusammensetzung haben der Butylrest, Oktylrest und Oktadezylrest?
 ③ Welche Namen haben die Kohlenwasserstoffreste
 $-C_3H_7$, $-C_7H_{15}$, $-C_{12}H_{25}$?
 ④ Stellen Sie die Strukturformeln des 2-Methylpentans und die des 2,2-Dimethylhexans auf!
 ⑤ Bilden Sie die Namen folgender Verbindungen:



durch die Namen gekennzeichnet. Die Bezeichnungen Butan, Pentan, Hexan, Heptan bleiben den Verbindungen mit unverzweigter Kohlenstoffkette vorbehalten (Tab. 3). Verzweigte kettenförmige Kohlenwasserstoffe erhalten als Grundnamen die Bezeichnung des unverzweigten Kohlenwasserstoffes (Stammkohlenwasserstoffes), der der längsten Kohlenstoffkette im Molekül entspricht. Die Namen der Alkylreste in der Seitenkette werden vorangestellt; arabische Ziffern mit Bindestrich geben ihre Stellung an. Die Anzahl der Kohlenwasserstoffreste wird mit griechischen Zahlwörtern bezeichnet. ④ ⑤

	Stellung der Kohlenwasserstoffreste	Anzahl der Kohlenwasserstoffreste	Name des Kohlenwasserstoffrestes in der Seitenkette	Name des Stammkohlenwasserstoffs
Name	3,3-	Di	methyl	pentan
3,3-Dimethylpentan				
Bedeutung	2 gleiche Kohlenwasserstoffreste am 3. Kohlenstoffatom	2	Methylrest	5 Kohlenstoffatome bilden im Molekül die längste unverzweigte Kohlenstoffkette
Formel	$ \begin{array}{cccccc} & & & CH_3 & & \\ & & & & & \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & \\ CH_3 & -CH_2- & C- & CH_2- & CH_3 \\ & & & & \\ & & CH_3 & & \end{array} $			

Mit steigender Anzahl der Kohlenstoffatome in einer Verbindung wächst auch die Anzahl der Isomeren. So gibt es drei Isomere mit der Summenformel C_5H_{12} :



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

Häufig werden auch noch ältere Bezeichnungen für isomere Verbindungen verwendet. Verbindungen mit unverzweigter Kohlenstoffkette heißen **Normalverbindungen** (n-Verbindungen), Verbindungen mit verzweigter Kohlenstoffkette dagegen **Isoverbindungen** (i-Verbindungen). Bei dieser Bezeichnungsart erhält die Verbindung ihren Namen nach der Gesamtanzahl der Kohlenstoffatome im Molekül. Das Pentan wird zum Beispiel dann als n-Pentan und das 2-Methylbutan als i-Pentan bezeichnet.

Isomere Verbindungen unterscheiden sich auf Grund ihrer unterschiedlichen Struktur in ihren Eigenschaften (Tab. 4).

Tabelle 4 Eigenschaften isomerer Kohlenwasserstoffe

Name	Summenformel	Schmelztemperatur in °C	Siedetemperatur in °C
Butan	C_4H_{10}	- 135	+ 0,6
Methylpropan	C_4H_{10}	- 145	- 10,2
Pentan	C_5H_{12}	- 130,8	+ 36,2
Methylbutan	C_5H_{12}	- 159,6	+ 28,0
Dimethylpropan	C_5H_{12}	- 16,6	+ 9,5

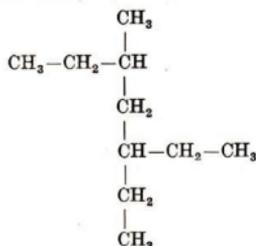
Auch bei isomeren Verbindungen besteht ein Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften der Stoffe. So sinkt im allgemeinen die Siedetemperatur isomerer Stoffe mit zunehmender Verzweigung der Kohlenstoffkette. ① ② ③ ④

Substitution

8

Speisefette, Pflanzenöle und Butter oder Margarine werden in verschlossenen Reagenzgläsern mit Tetrachlormethan geschüttelt. ⑤

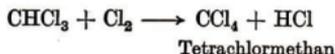
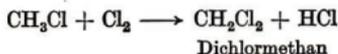
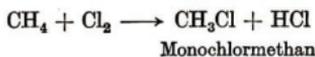
- ① Welchen Aggregatzustand haben die in Tabelle 4 angegebenen Kohlenwasserstoffe
 a) bei Zimmertemperatur (20 °C) und Normaldruck,
 b) im Normzustand?
- ② Weisen Sie nach, daß für die Eigenschaften eines Stoffes nicht nur die Anzahl der im Molekül vorhandenen Atome, sondern auch ihre Anordnung zueinander (Struktur) bestimmend ist!
- ③ Welche Masse haben 44,8 l (Normzustand) gasförmiges Methylpropan?
- ④ Schreiben Sie die Formel für folgende Verbindung ab und markieren Sie die längste Kohlenstoffkette!



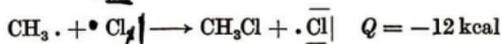
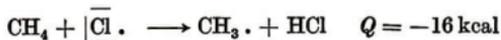
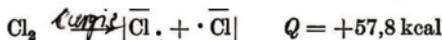
- ⑤ Warum erhalten Sie trübe Flüssigkeiten, wenn Sie Butter oder Margarine in Tetrachlormethan auflösen?

Wirken Chlor oder Brom auf Alkane ein, so werden Wasserstoffatome dieser Verbindungen gegen Halogenatome ausgetauscht. Man nennt solche Umsetzungen **Substitutionsreaktionen**¹. Als Produkte dieser Substitutionen entstehen **Derivate**² der Alkane und als Nebenprodukte Halogenwasserstoffe.

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



Die Bildung von Monochlormethan läuft in folgenden Teilreaktionen ab:



Bei der Umsetzung von Methan zu Monochlormethan wird die Energie des Lichtes nur für die Aufspaltung der Chlormoleküle benötigt.

¹ substituere (lat.) = ersetzen

² derivare (lat.) = ableiten

► Bei einer Substitutionsreaktion werden Atome oder Atomgruppen einer Verbindung durch andere Atome oder Atomgruppen ersetzt. Durch Substitution entstehen Derivate der Grundverbindung.



Alle vier Chlorderivate des Methans und andere Halogenderivate von Alkanen haben technische Bedeutung (Tab. 5).
① ② ③

Monochlormethan ist bei Zimmertemperatur ein Gas, das sich leicht verflüssigen läßt. Alle anderen in Tabelle 5 genannten Verbindungen sind nichtbrennbare Flüssigkeiten. Am bekanntesten ist das **Tetrachlormethan**. Es dient als Lösungsmittel (Experiment 5) und als Löschflüssigkeit in den **Tetralöschern**. Bei der Benutzung von Tetralöschern entsteht das giftige Phosgen COCl_2 . Tetralöschler werden daher allmählich durch **Bromidlöschler** verdrängt, die als Löschflüssigkeit **Monochlormonobrommethan** CH_2ClBr enthalten (Abb. 6). Bromidlöschler sind löscherwirksamer und weniger gefährlich als Tetralöschler. ④ ⑤

Abb. 6 Bromidlöschler enthalten als Löschflüssigkeit Monochlormonobrommethan

Tabelle 5 Halogenderivate von Methan und Äthan

Formel	Name	Handelsname	Verwendung
CH_3Cl	Monochlormethan	Methylchlorid	in der Kühltechnik als wärmeableitender Stoff
CH_2Cl_2	Dichlormethan	Methylenchlorid	Lösungsmittel
CHCl_3	Trichlormethan	Chloroform	Lösungsmittel Mittel zur Narkose
CCl_4	Tetrachlormethan	Tetrachlorkohlenstoff, Tetra	Feuerlösch- und Lösungsmittel
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	Monochloräthan	Äthylchlorid	Mittel zur örtlichen Betäubung
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	Monobromäthan	Äthylbromid	Mittel zur örtlichen Betäubung

Äthen (Äthylen)

9

▼ **Vorsicht!** Im Rundkolben der in Abbildung 7 dargestellten Apparatur wird ein Gemisch von Äthanol und konzentrierter Schwefelsäure erhitzt. Das entstehende Äthen wird gereinigt und pneumatisch aufgefangen.

- ① Vergleichen Sie die Bindungsverhältnisse im Natriumchlorid, im Chlorwasserstoff und im Monochlormethan!
- ② Versuchen Sie, die Strukturformeln von zwei verschiedenen Monochloräthänen aufzustellen, und weisen Sie mit Hilfe eines Molekülmodells aus Plastilina und Holzstäbchen nach, daß sie vollständig übereinstimmen!
- ③ Stellen Sie die Strukturformeln für alle möglichen Dichlorpropane auf und geben Sie ihre Namen an!
- ④ Welche Derivate entstehen bei der Reaktion von Brom und Methan?
- ⑤ Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Monochloräthan!
- ⑥ Was beobachtet man, wenn Bromdämpfe mit Äthen zusammentreffen? Wie deuten Sie diesen Vorgang?
- ⑦ Berechnen Sie die Procente Kohlenstoff und Wasserstoff im Äthan und Äthen!

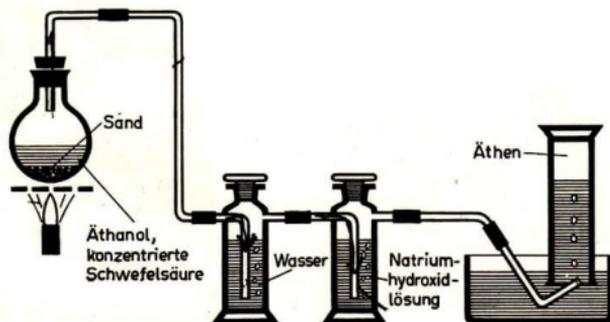


Abb. 7 Darstellung von Äthen aus Äthanol

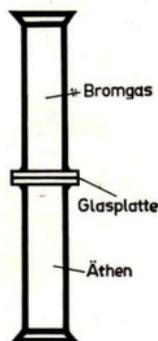
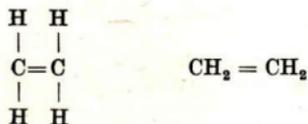


Abb. 8 Reaktion von Äthen mit Brom

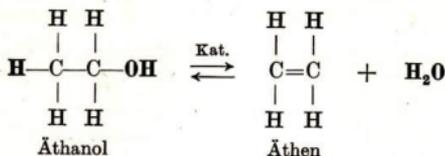
7

Ein Standzylinder wird mit Bromgas gefüllt und mit einer Glasplatte verschlossen. Dann stellt man diesen Zylinder mit der Öffnung nach unten auf einen mit Äthen gefüllten Zylinder und zieht beide Glasplatten weg, so daß die Bromdämpfe in das Äthen herabsinken (Abb. 8). ⑥

Ein anderer Typ von kettenförmigen Kohlenwasserstoffen enthält im Gegensatz zu den Alkanen als besonderes Strukturmerkmal eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen. Die einfachste Verbindung dieser Art ist das Äthen (Äthylen) C_2H_4 : ⑦

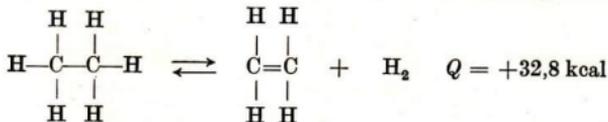


Im Laboratorium wird Äthen durch Erhitzen eines Gemisches von Äthanol (Äthylalkohol) und konzentrierter Schwefelsäure dargestellt (Experiment 6): ①



► Äthen entsteht aus Äthanol durch katalytische Wasserabspaltung.

Äthen kann auch durch Dehydrierung von Äthan hergestellt werden:



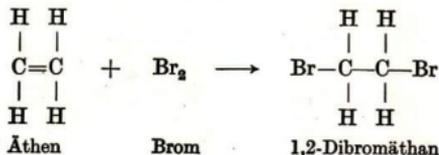
Diese Reaktion ist stark endotherm und verläuft deshalb nur bei hoher Temperatur. Sie wird wegen der auftretenden Abspaltung von Wasserstoff zu den Dehydrierungsreaktionen gerechnet.

Äthen ist ein farbloses Gas mit einem eigenartigen, etwas süßlichen Geruch. Es brennt mit leuchtender Flamme. Äthen-Luft-Gemische sind explosiv. Äthen reagiert sehr leicht mit Brom (Experiment 7).

Addition und Polymerisation

10

Bei der Reaktion von Äthen mit Brom (Experiment 7) wird die Doppelbindung zwischen den Kohlenstoffatomen des Äthens in eine Einfachbindung umgewandelt. Die frei werdenden Valenzen der beiden Kohlenstoffatome werden mit Brom abgesättigt.

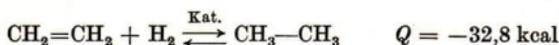


Die Umsetzung mit Brom ist ein einfacher Nachweis für Mehrfachbindungen zwischen Kohlenstoffatomen in organischen Verbindungen.

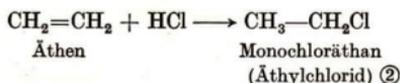
► Doppelbindungen zwischen Kohlenstoffatomen sind reaktionsfähiger als Einfachbindungen.

Leitet man ein Gemisch von Äthen und Wasserstoff über einen Katalysator, so entsteht Äthan:

- ① Wieviel Liter (Normzustand) Äthen bilden sich theoretisch aus 23 g Äthanol?
- ② Wieviel Gramm Chlorwasserstoff werden zur vollständigen Addition von 56 g Äthen verbraucht?
- ③ Welche Substitutionsreaktionen haben Sie kennengelernt?
- ④ Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die Umsetzungen von Chlor mit Äthen und Chlor mit Äthan auf!
Erläutern Sie die Unterschiede beider Reaktionsarten!



Die Anlagerung von Wasserstoff wird **Hydrierung** genannt. Äthen reagiert auch mit Halogenwasserstoffen, wobei Monohalogenderivate des Äthans entstehen:



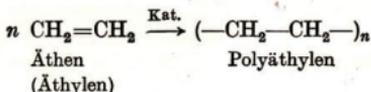
- **Äthen ist eine ungesättigte Verbindung. Es kann Wasserstoff, Halogene oder Halogenwasserstoffe anlagern.**

Die Reaktionen des Äthens mit Brom, Wasserstoff und Halogenwasserstoffen verlaufen alle ohne Bildung von Nebenprodukten. Äthen verbindet sich auf Grund seiner Doppelbindung mit verschiedenen Reaktionspartnern durch **Addition**.

- **Additionen sind Reaktionen, bei denen aus den Ausgangsstoffen eine neue Verbindung gebildet wird, ohne daß Nebenprodukte entstehen.**

Addition und Substitution sind wichtige Reaktionstypen der organischen Chemie. ③ ④

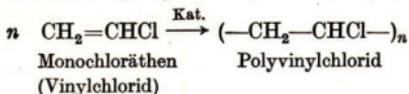
Die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung >C=C< des Äthens geht verhältnismäßig leicht unter Aufnahme anderer Atome in eine Einfachbindung >C-C< über. Dieser Übergang liegt auch vor, wenn sich Äthen-Moleküle infolge der Reaktionsfähigkeit ihrer Doppelbindung zu großen Molekülen vereinigen. Dabei entsteht eine makromolekulare Verbindung, das **Polyäthylen**:



Bei dieser Bildung von **Makromolekülen** zeigen Ausgangsstoff (Äthen) und Endprodukt (Polyäthylen) das gleiche Verhältnis in der Anzahl der Atome (C: H $\hat{=}$ 1 : 2). Eine derartige Reaktion heißt **Polymerisation**¹. Polymerisationen

¹ polys (griech.) = viel; meros (griech.) = Teil

sind nicht nur beim Äthen, sondern auch bei anderen Stoffen mit Mehrfachbindungen möglich. Ein wichtiges Beispiel ist die Polymerisation von Monochloräthen (Vinylchlorid) zu Polyvinylchlorid (PVC):



► Bei der Polymerisation werden einfach gebaute Moleküle ungesättigter Verbindungen unter Umwandlung ihrer Mehrfachbindungen in Einfachbindungen zu Makromolekülen verknüpft.

Äthen und Monochloräthen (Vinylchlorid) sind im Normzustand Gase. Durch Polymerisation entstehen aus diesen Verbindungen Stoffe, die als Plaste große Bedeutung haben. Polyäthylen und Polyvinylchlorid und viele andere makromolekulare Polymerisate werden in großem Umfang von unserer volkseigenen chemischen Industrie erzeugt und wegen ihrer hervorragenden Eigenschaften in Industrie und Haushalt vielseitig verwendet (Abb. 9). ①

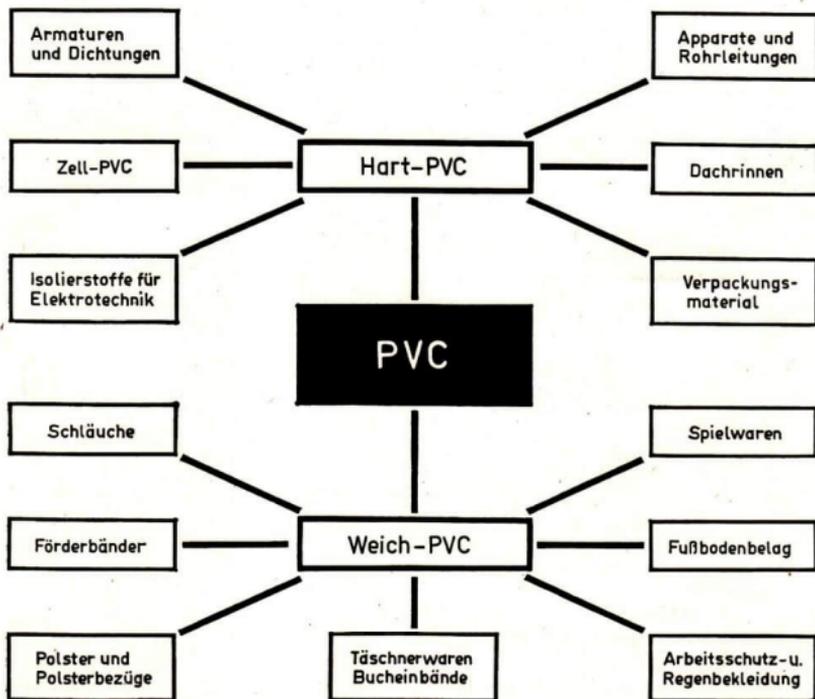


Abb. 9 Einige Verwendungszwecke von PVC

- ① Fertigen Sie ein Diagramm über die Entwicklung der PVC-Produktion in der Deutschen Demokratischen Republik an! (↗ Chemie in Übersichten, S. 123)
- ② Entwickeln Sie die Strukturformeln und die vereinfachten Strukturformeln von Penten-(1), Penten-(2) und Dezen-(4)!
- ③ Bilden Sie die Namen der Alkene mit folgenden Formeln:
 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$

Homologe Reihe der Alkene

11

Äthen ist die einfachste Verbindung aus der Gruppe der Alkene. Ein Alken ist immer um zwei Wasserstoffatome ärmer als das entsprechende Alkan.

■	Äthan	C_2H_4	Äthen	C_2H_4
	Propan	C_3H_6	Propen	C_3H_6

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

Im Erdöl kommen auch Kohlenwasserstoffe vor, die die allgemeine Formel C_nH_{2n} haben, aber eine andere Struktur als die Alkene aufweisen. Diese Verbindungen sind ringförmige Kohlenwasserstoffe und heißen Zyκλοalkane (Naphthene) (↗ S. 43).

Die Namen der Kohlenwasserstoffe mit einer Doppelbindung >C=C< im Molekül setzen sich aus einem Wortstamm und der Endung „en“ zusammen. Die Wortstämme in den Namen der Alkene entsprechen denen der Alkane (↗ S. 15). Sie enden aber für Alkene mit 10 bis 19 Kohlenstoffatomen auf z an Stelle von k (↗ S. 17).

■	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}$	Dezen	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}$	Oktadezen
---	------------------------------	-------	------------------------------	-----------

Bei den Alkenen mit vier und mehr Kohlenstoffatomen gibt es isomere Verbindungen durch verschiedene Lage der Doppelbindung in den Molekülen. In solchen Fällen gibt man die Nummer des Kohlenstoffatoms, von dem die Doppelbindung ausgeht, durch eine in Klammern gesetzte arabische Ziffer mit Bindestrich hinter dem Namen an. Die Kohlenstoffatome werden fortlaufend beziffert, beginnend an dem Ende der Kette, dem die Doppelbindung am nächsten liegt. ② ③

■	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Buten-(1)
	$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$	Buten-(2)

Die Summenformeln der Alkene zeigen, daß von Verbindung zu Verbindung immer die gleiche Differenz $-\text{CH}_2-$ auftritt. Auch hier liegt eine homologe Reihe vor. Die Molekülvergrößerung von Alken zu Alken um die Gruppe $-\text{CH}_2-$ ist eine

Strukturänderung, die auch die Änderung bestimmter Eigenschaften der einzelnen Alkene bedingt, zum Beispiel der Schmelztemperatur und der Siedetemperatur.

Die Schmelztemperaturen und Siedetemperaturen der Alkene liegen nur wenig tiefer als die der Alkane mit gleicher Anzahl von Kohlenstoffatomen. Alkene sind bis zum Buten-(1) bei Zimmertemperatur gasförmig, vom Penten-(1) an flüssig und ab Oktadezen-(1) fest.

In ihrem chemischen Verhalten zeigen die Alkene große Ähnlichkeit. Diese Erscheinung ist durch das allen Alkenen gemeinsame Strukturmerkmal, die Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen, bedingt. Alkene reagieren mit Halogenen, Wasserstoff und Halogenwasserstoffen in analoger Weise wie Äthen. ① ②

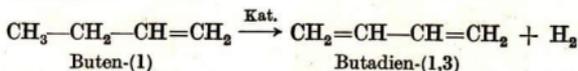
Äthen und seine nächsten Homologen, das Propen C_3H_6 und die Butene C_4H_8 , haben ständig an Bedeutung gewonnen. Sie dienen infolge ihrer großen Reaktionsfähigkeit in zunehmendem Maße als Zwischenprodukte in der chemischen Industrie. Die Herstellung von Propen, Butenen und höhermolekularen Alkenen erfolgt hauptsächlich durch Spaltung von Alkanen. Auf diesen Prozeß wird im Abschnitt „Kracken von Erdöl“ näher eingegangen (→ S. 46...48).

► Alkene bilden eine homologe Reihe von kettenförmigen Kohlenwasserstoffen.

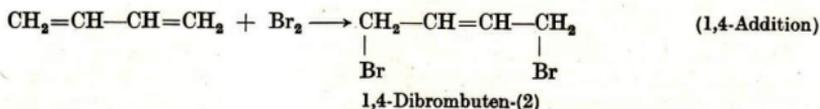
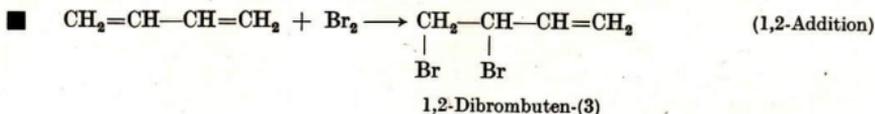
Butadien-(1,3)

12

Ungesättigte kettenförmige Kohlenwasserstoffe, die zwei Doppelbindungen zwischen Kohlenstoffatomen im Molekül enthalten, werden als Alkadiene (Diolefine) bezeichnet. Der wichtigste Vertreter ist das Butadien-(1,3). Seine Herstellung erfolgt am zweckmäßigsten durch katalytische Dehydrierung von Buten:

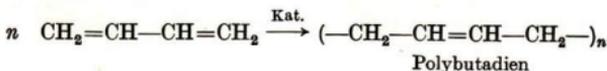


Butadien-(1,3) enthält als besonderes Strukturmerkmal zwei Doppelbindungen, zwischen denen eine Einfachbindung der Kohlenstoffatome liegt. Man nennt eine solche Anordnung konjugierte Doppelbindung. Verbindungen mit konjugierten Doppelbindungen zeigen verschiedene Additionsreaktionen. So reagiert zum Beispiel Butadien-(1,3) mit Brom, wobei eine 1,2- und eine 1,4-Addition abläuft. ③



- ① Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Chlor mit Buten-(2) auf und erläutern Sie diese Reaktion!
- ② Weshalb ist die Umsetzung mit Brom als Nachweisreaktion für organische Verbindungen mit Mehrfachbindungen zwischen Kohlenstoffatomen geeignet?
- ③ Welche Verbindung entsteht, wenn das 1,2-Dibrombuten-(3) beziehungsweise das 1,4-Dibrombuten-(2) weiter mit Brom reagiert?
- ④ Stellen Sie die Formel für ein Polybutadien auf, das durch eine der 1,2-Addition analoge Polymerisation gebildet wurde!

Wegen seiner Doppelbindungen läßt sich Butadien-(1,3) leicht polymerisieren. Durch geeignete Katalysatoren kann die Polymerisation so gelenkt werden, daß sie im Prinzip als 1,4-Addition verläuft. ④



Polybutadien, Buna genannt, wird als synthetischer Kautschuk zu Gummi weiterverarbeitet (Abb. 10). Die Polymerisation von Butadien-(1,3) zu Polybutadien ist deshalb ein volkswirtschaftlich wichtiger Prozeß (/ Chemie in Übersichten, S. 123).

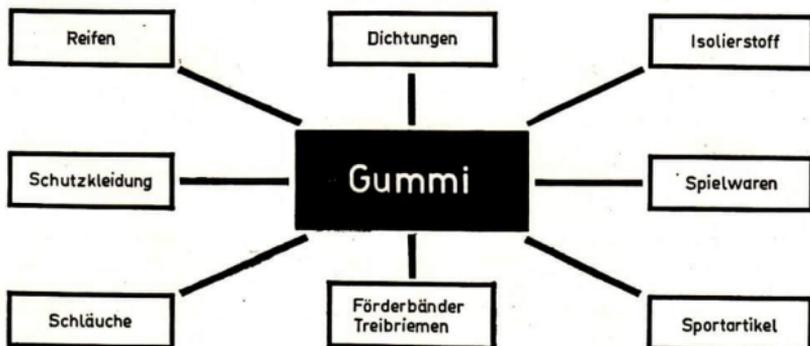


Abb. 10 Einige Verwendungszwecke von Gummi

Äthin (Azetylen)

13

8



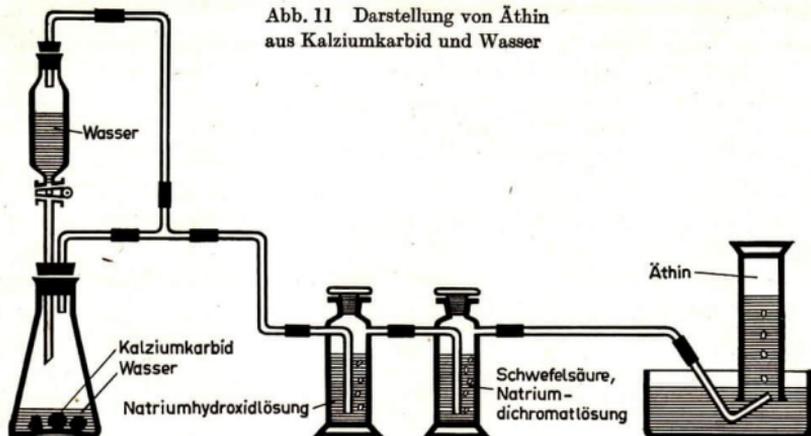
Vorsicht! In der Apparatur nach Abbildung 11 läßt man Wasser auf Kalziumkarbid einwirken. Das entstehende Äthin wird in mehreren Standzylindern aufgefangen.

9



Vorsicht! Das Äthin in dem bei Experiment 8 zuletzt gefüllten Standzylinder wird entzündet, da hier die Abwesenheit von Luft gewährleistet ist.

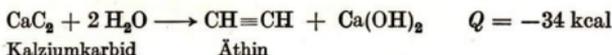
Abb. 11 Darstellung von Äthin aus Kalziumkarbid und Wasser



10

Einige Milliliter Bromwasser werden in einen mit Äthin gefüllten Standzylinder gegeben. Der Zylinder wird mit einer Glasplatte verschlossen und kräftig geschüttelt.

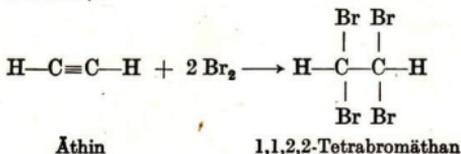
Ein ungesättigter kettenförmiger Kohlenwasserstoff mit einer Dreifachbindung zwischen Kohlenstoffatomen ist das Äthin (Azetylen) $\text{HC}\equiv\text{CH}$. Es entsteht durch Einwirkung von Wasser auf Kalziumkarbid CaC_2 . ① ②



Äthin ist ein farbloses Gas. In großen Mengen eingeatmet, wirkt es narkotisch. Äthin brennt mit leuchtender, stark rußender Flamme (Experiment 9). ③ ④ ⑤ Beim Arbeiten mit Äthin ist große Vorsicht erforderlich, denn Äthin bildet mit Sauerstoff oder Luft hochexplosive Gemische.

Beim Verbrennen von Äthin mit Sauerstoff werden Temperaturen bis 3000°C erreicht. Äthin wird deshalb zum autogenen Schweißen und Schneiden verwendet.

Äthin addiert Brom entsprechend folgender Reaktionsgleichung (Experiment 10):



Äthin vermag auch Wasserstoff zu addieren, wobei zuerst Äthen und schließlich Äthan entstehen. ⑥ ⑦ ⑧

► Äthin hat durch seine Dreifachbindung großes Additionsvermögen.

Von Bedeutung sind Polymerisationen dieser Verbindungen zu Produkten, die als Plaste und Chemiefasern verwendet werden. Äthin ist deshalb ein wichtiger Ausgangsstoff für die chemische Industrie. Wie vielseitig die Verwendung des Äthins ist, geht aus der Tatsache hervor, daß der größte Teil der Erzeugnisse des VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, aus Äthin hergestellt wird. In Abbildung 12 ist die Verwendung des Äthins in einer Übersicht dargestellt.

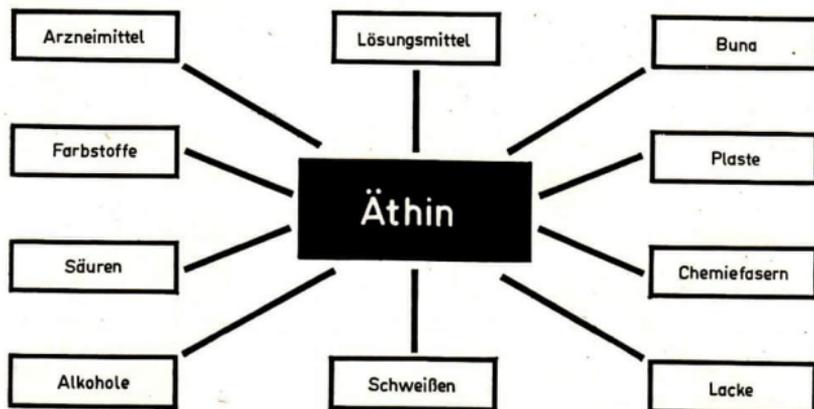


Abb. 12 Einige Verwendungszwecke von Äthin

Herstellung von Kalziumkarbid

14

Äthin wird in unserer Republik technisch in großen Mengen aus Kalziumkarbid CaC_2 hergestellt. Zur Erzeugung von Kalziumkarbid wird Branntkalk (Kalziumoxid) mit Koks zur Reaktion gebracht. ① ②



Die Umsetzung ist eine heterogene Gleichgewichtsreaktion. Sie verläuft stark endotherm. Dabei ist die Bildung von Kalziumkarbid nicht nur vom Mengenverhältnis der reagierenden Stoffe, sondern auch von der Temperatur abhängig. Durch hohe Temperatur wird die Entstehung von Kalziumkarbid begünstigt, weil dadurch das chemische Gleichgewicht nach der Seite des Wärmeverbrauchs verschoben wird. Die Bildung von Kalziumkarbid beginnt unter Normaldruck erst bei 1600°C . ③

Für die technische Durchführung muß Wärme zugeführt werden, um die erforderliche Reaktionstemperatur aufrechtzuerhalten. Darüber hinaus wird ständig Wärme bei der Umsetzung von Branntkalk zu Kalziumkarbid verbraucht.

In der Technik arbeitet man bei 2000°C . Bei dieser Temperatur entsteht Kalziumkarbid, das noch 10...15% Kalziumoxid und Kohlenstoff enthält. Die

- ① Wieviel Tonnen Kohlenstoff sind theoretisch zur Bildung von 32 t Kalziumkarbid notwendig?
- ② Berechnen Sie die Menge Kohlenmonoxid in Kubikmetern (Normzustand), die bei der Erzeugung von 128 t Kalziumkarbid entsteht!
- ③ Vergleichen Sie die Temperaturabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts bei der Ammoniaksynthese und der Karbidherstellung! (/ Chemie in Übersichten, S. 28)
- ④ Stellen Sie den Elektroenergieverbrauch unserer chemischen Industrie in einem Kreisdiagramm dar! (/ Chemie in Übersichten, S. 124)
- ⑤ Fertigen Sie ein Diagramm über die Entwicklung der Karbiderzeugung in unserer Republik an! (/ Chemie in Übersichten, S. 123)

erforderlichen Reaktionsbedingungen werden im **Karbidofen** (Abb. 13 und 14) durch den elektrischen Lichtbogen und durch Widerstandserhitzung im geschmolzenen Material erreicht.

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

Unsere Republik verfügt über bedeutende Karbiderzeugungsanlagen im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, und im VEB Stickstoffwerk Piesteritz. Die Leistung eines Karbidofens 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. Aus dieser Tatsache ergeben sich volkswirtschaftliche Konsequenzen. Die Karbidproduktion kann wegen des gewaltigen Verbrauchs an elektrischer Energie nicht beliebig gesteigert werden. Von den Chemiebetrieben muß vor allem der reichlich zur Verfügung stehende Nachtstrom unserer Kraftwerke ausgenutzt werden. ④ ⑤

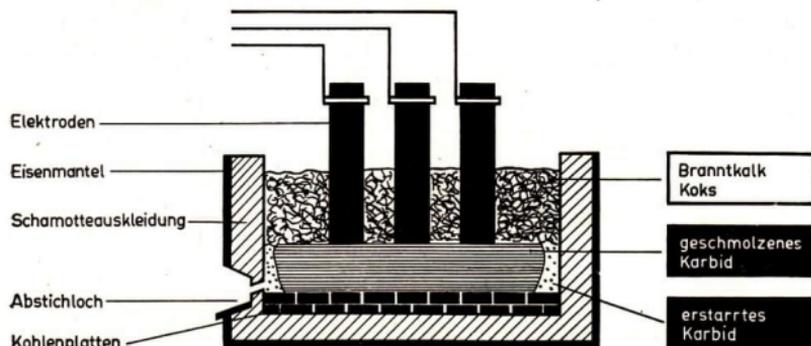
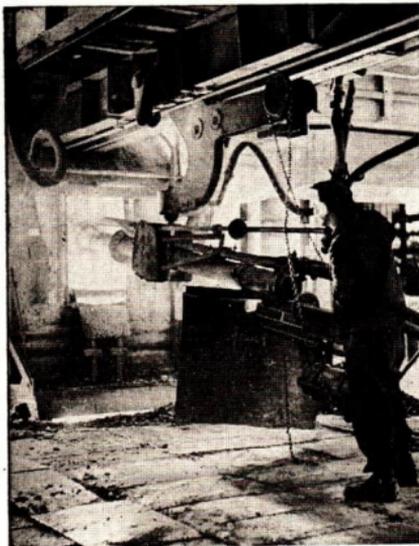


Abb. 13 Kalziumkarbid wird aus Kalziumoxid und Koks im Karbidofen hergestellt



Die Erweiterung unserer Produktion von organisch-chemischen Erzeugnissen wird in Zukunft vor allem auf der Basis von Erdölprodukten erfolgen. Daneben werden Verfahren auf der Grundlage von Kalziumkarbid weiterhin in der Deutschen Demokratischen Republik genutzt, die Produktionsanlagen für Kalziumkarbid werden aber nicht erweitert.

Abb. 14

Ein Karbidofen wird abgestochen

Homologe Reihe der Alkine

15

Außer Äthin gibt es noch weitere kettenförmige Kohlenwasserstoffe mit einer Dreifachbindung im Molekül. Man bezeichnet solche Kohlenwasserstoffe als **Alkine**. Die allgemeine Formel der Alkine ist C_nH_{2n-2} . Alkine sind noch wasserstoffärmer als Alkene. ①

Die allgemeine Formel C_nH_{2n-2} gilt jedoch nicht nur für Alkine. Auch die Alkadiene (↗ S. 28) und andere ungesättigte Kohlenwasserstoffe haben die gleiche allgemeine Formel.

Die Namen der Kohlenwasserstoffe mit einer Dreifachbindung $-C\equiv C-$ im Molekül setzen sich aus einem Wortstamm und der Endung „in“ zusammen. Die Wortstämme in den Namen der Alkine entsprechen denen der Alkene. Ähnlich wie bei den Alkenen wird auch bei den Alkinen die Lage der Mehrfachbindung in der Kohlenstoffkette durch eine in Klammern gesetzte arabische Ziffer mit Bindestrich hinter dem Namen angegeben.

■ $CH\equiv C-CH_2-CH_3$ Butin-(1)

Die Summenformeln der einzelnen Alkine unterscheiden sich jeweils durch die Differenz von $-CH_2-$ oder einem Vielfachen von $-CH_2-$. Auch bei diesen Verbindungen besteht ein Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften, wie er bereits bei Alkanen und Alkenen festgestellt wurde.

▶ **Alkine bilden eine homologe Reihe von kettenförmigen Kohlenwasserstoffen mit einer Dreifachbindung im Molekül. Ihre allgemeine Formel ist C_nH_{2n-2} .**

- ① Berechnen Sie den Kohlenstoffgehalt von Propan, Propen und Propin in Prozenten!
- ② Fertigen Sie eine Tabelle an, in der die Namen und Summenformeln der Alkane, Alkene und Alkine bis zu 10 Kohlenstoffatomen im Molekül angeführt sind!
- ③ Bilden Sie die Strukturformeln und Namen der isomeren Alkane, Alkene und Alkine mit je 5 Kohlenstoffatomen im Molekül!
- ④ Von welchem Alken und von welchem Alkin an muß die Lage der Mehrfachbindung im Namen des Kohlenwasserstoffs angegeben werden?
- ⑤ Stellen Sie in einer Übersicht alle Ihnen bekannten Eigenschaften von Äthan, Äthen und Äthin gegenüber!
- ⑥ Erläutern Sie an Beispielen von kettenförmigen Kohlenwasserstoffen Substitutionen, Additionen und Polymerisationen (Reaktionsgleichungen)!
- ⑦ Erläutern Sie die Hydrierung und die Dehydrierung von Kohlenwasserstoffen an je einem Beispiel (Reaktionsgleichungen)!
- ⑧ Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die vollständige Verbrennung von Propan, Propen und Propin auf!

Vergleichende Betrachtung der Alkane, Alkene und Alkine 16

Die homologen Reihen der Alkane, Alkene und Alkine gehören zu den kettenförmigen Kohlenwasserstoffen. Da Verbindungen mit offener Kohlenstoffkette auch in den Fetten auftreten, wird für kettenförmige Verbindungen häufig der Ausdruck „aliphatische Verbindungen“ benutzt. Nachstehend sind allgemeine Formel und Charakteristik gegenübergestellt: ② ③ ④

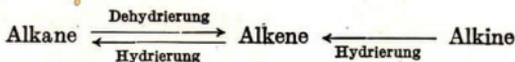
Alkane	Alkene	Alkine
C_nH_{2n+2}	C_nH_{2n}	C_nH_{2n-2}
kettenförmige, gesättigte Kohlenwasserstoffe	kettenförmige, ungesättigte Kohlenwasserstoffe	kettenförmige, ungesättigte Kohlenwasserstoffe
nur Einfachbindungen	eine Doppelbindung	eine Dreifachbindung

Der Aggregatzustand der Kohlenwasserstoffe bei Zimmertemperatur hängt von der Molekülgröße ab. Bis zu 4 Kohlenstoffatomen im Molekül sind die Kohlenwasserstoffe aller drei Reihen gasförmig, von 5 Kohlenstoffatomen an flüchtig. Der Übergang von flüchtig zu fest ist in den Reihen verschieden.

Die Einfachbindungen $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C} \\ \diagdown \end{array} - \begin{array}{c} \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \end{array}$ und $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C} \\ \diagdown \end{array} - \text{H}$ sind stabile Bindungen. Die Mehrfachbindungen zwischen Kohlenstoffatomen sind dagegen nicht stabil. Auf Grund ihrer Bindungsverhältnisse sind die Alkane meist reaktionsträge; Alkene und Alkine weisen jedoch große Reaktionsfähigkeit auf. Alkane sind vor allem zu Substitutionen befähigt. Alkene und Alkine reagieren darüber hinaus durch Addition und Polymerisation. ⑤ ⑥ ⑦ ⑧

¹ aleiphar (griech.) = Fett

Alkane, Alkene und Alkine können durch chemische Reaktionen ineinander umgewandelt werden.



Hydrierung und Dehydrierung von Kohlenwasserstoffen haben große technische Bedeutung.

Benzol

17

Struktur und Eigenschaften

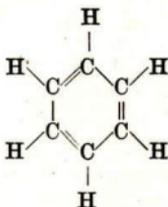
11 **▼** Etwas Benzol wird mit der doppelten Menge Bromwasser versetzt und geschüttelt. ① ②

12 **▼** Man gibt in ein Reagenzglas Benzol, fügt wenig Eisenfeilspäne und etwas Brom zu und erwärmt leicht. Dann hält man eine geöffnete Flasche mit konzentrierter Ammoniaklösung neben die Reagenzglasöffnung. ③

13 **▼** Man gibt einige Tropfen Benzol in eine leicht angewärmte, flache Schale. Dann nähert man der Schale einen brennenden Holzspan.

14 **▼** *Vorsicht!* In einem kleinen Standzylinder läßt man einige Tropfen Benzol verdunsten. Dann wird das Gasgemisch entzündet. Anschließend wird etwas Kalziumhydroxidlösung in den Zylinder gegossen und umgeschüttelt.

Wichtige ringförmige Verbindungen leiten sich von einem Kohlenwasserstoff mit der Summenformel C_6H_6 , dem Benzol, ab. Vergleicht man die Summenformel des Benzols mit den Summenformeln kettenförmiger Kohlenwasserstoffe, zum Beispiel mit Hexen C_6H_{12} oder Hexin C_6H_{10} , so kann man vermuten, daß im Benzolmolekül Mehrfachbindungen mit großer Reaktionsfähigkeit vorhanden sind, so wie sie in den Alkenen oder Alkinen vorliegen. Da das Kohlenstoffatom 4 Valenzelektronen besitzt, könnte man eine ringförmige Anordnung von sechs CH-Gruppen annehmen, bei der die Kohlenstoffatome jeweils abwechselnd durch Einfach- und Doppelbindungen verknüpft sind:



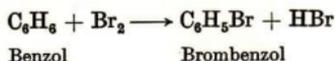
Strukturformel



vereinfachte
Strukturformel

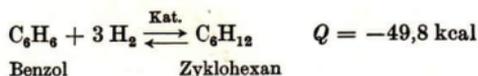
Mit Reagenzien zum Nachweis der Mehrfachbindungen reagiert aber Benzol nicht oder nur sehr langsam (Experiment 11). Bei Anwendung eines Katalysators reagiert es zwar mit Brom, jedoch unter Entwicklung von Bromwasserstoff (Experiment 12).

- ① Wie reagieren Äthen und Äthin mit Bromwasser?
- ② Erläutern Sie die Reaktion von Äthen mit Brom an Hand der Reaktionsgleichung!
- ③ Bei der Einwirkung von Brom auf Benzol in Gegenwart von Eisen entweicht aus dem Reaktionsgemisch ein Gas, das mit Ammoniak einen weißen Rauch von Ammoniumbromid NH_4Br bildet (↗ Experiment 12).
Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Ammoniumbromid auf!
- ④ Erläutern Sie den Reaktionstyp der Umsetzung zwischen Brom und Benzol in Gegenwart von Eisen als Katalysator (↗ Experiment 12)!
- ⑤ Welche Brommenge wird zur Darstellung von 314 g Brombenzol benötigt?
- ⑥ Wieviel Gramm Benzol können durch 33,6 l Wasserstoff (Normzustand) zu Zylohexan umgewandelt werden?



Unter bestimmten Bedingungen verhält sich Benzol also wie eine gesättigte Verbindung. ① ② ③ ④ ⑤

Es gibt aber auch Reaktionen des Benzols, bei denen es sich als ungesättigte Verbindung erweist. So addiert es zum Beispiel in Gegenwart von Katalysatoren Wasserstoff und geht dabei in Zylohexan C_6H_{12} über. ⑥



Zylohexan ist ein ringförmiger Kohlenwasserstoff aus der Gruppe der Zyloalkane (Naphthene) (↗ S. 43).

Benzol nimmt im Hinblick auf sein chemisches Verhalten eine Mittelstellung ein. Es ist sowohl zu Substitutionen wie auch zu Additionen befähigt. Das deutet auf Besonderheiten in den Bindungsverhältnissen hin. Zwischen den Kohlenstoffatomen bestehen sechs gleichartige Einfachbindungen. Berücksichtigt man, daß an jedes Kohlenstoffatom ein Wasserstoffatom gebunden ist, so verbleibt noch je ein Valenzelektron der Kohlenstoffatome. Diese 6 Elektronen sind nicht auf bestimmte Stellen lokalisiert, sondern über den ganzen Ring verteilt.

Rückschlüsse auf die Struktur des Benzols können auch aus der Reaktionswärme gezogen werden, die für einige Umsetzungen des Benzols ermittelt wurde. Dabei hat man festgestellt, daß die Hydrierung des Benzols zu Zylohexan mit einer Reaktionswärme abläuft, die im Widerspruch zu den theoretischen Berechnungen steht, die auf Grund der angegebenen Formel durchgeführt wurden. Die Bildung des Zylohexans aus Benzol müßte theoretisch mit 85,8 kcal/mol exotherm verlaufen; der experimentell ermittelte Wert beträgt jedoch nur 49,8 kcal/mol. Benzol entwickelt also bei chemischen Reaktionen weniger Energie als vergleichbare ungesättigte Verbindungen.

Die Bindungen zwischen den Kohlenstoffatomen im Benzolring sind energieärmer und deshalb stabiler als die Doppelbindungen in Alkenen. Die Bindungs-

verhältnisse im Benzolring bezeichnet man als aromatischen¹ Zustand, Benzolverbindungen als aromatische Verbindungen.

► Im Benzolmolekül C_6H_6 liegen sechs ringförmig angeordnete CH-Gruppen vor.

Die auf Seite 36 dargestellte Sechsringsformel wurde 1865 von dem deutschen Chemiker AUGUST KEKULÉ VON STRADONITZ (Abb. 15) aufgestellt. Die Theorie KEKULÉS von der Benzolstruktur hat wesentlich dazu beigetragen, daß die Struktur zahlreicher anderer Stoffe aufgeklärt wurde. Mit Hilfe der Vorstellungen über den Aufbau des Benzols konnten die Grundlagen für wissenschaftlich und technisch bedeutsame Untersuchungen und Synthesen geschaffen werden. Aus diesem Grund hat KEKULÉS Theorie auch Auswirkungen auf die rasche Entwicklung der chemischen Industrie gehabt.

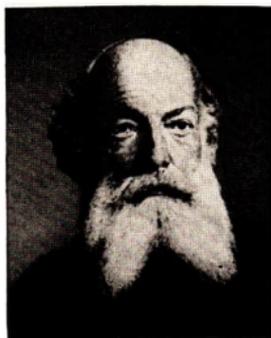


Abb. 15 AUGUST KEKULÉ
VON STRADONITZ

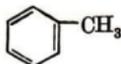


Die Benzolformel von KEKULÉ entspricht nicht mehr unseren Vorstellungen von der Struktur des Benzols, aus Gründen der Zweckmäßigkeit wird sie aber auch heute noch verwendet. Gelegentlich wird zur Darstellung der 6 gleichwertigen Bindungen die folgende Benzolformel benutzt: ①

Benzol ist eine farblose Flüssigkeit, die kaum in Wasser löslich ist. Es ist jedoch ein gutes Lösungsmittel für Fette, Öle, Harze und viele andere organische Stoffe. Benzol bildet bei Zimmertemperatur leicht entzündliche Dämpfe, so daß es schon vor Berührung mit einer Flamme zu brennen beginnt (Experiment 13). Gemische von Benzoldämpfen und Luft können explodieren. Benzoldämpfe sind giftig. ② ③ Die stark rußende Flamme (Experiment 13) und die Bildung von Wassertropfchen und Kohlendioxid bei der Verbrennung (Experiment 14) sind Beweise für die Zusammensetzung des Benzols aus Kohlenstoff und Wasserstoff.

Benzolhomologe und Styrol

Ähnlich wie bei den kettenförmigen Kohlenwasserstoffen können auch Wasserstoffatome des Benzols durch Alkylreste ersetzt werden. Durch Substitution eines Wasserstoffatoms durch einen Methylrest entsteht das Methylbenzol (Toluol)²



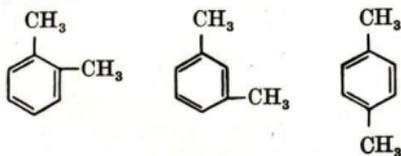
In der vereinfachten Strukturformel bedeutet jeder vom Ring abgehende Strich, daß ein Wasserstoffatom im Benzolmolekül substituiert wurde.

¹ Die Bezeichnung „aromatische Verbindungen“ wurde zu einer Zeit geprägt, als man verschiedene Stoffe in Unkenntnis ihrer Struktur nach äußeren Merkmalen (z. B. nach dem Geruch) einteilte.

² Der Name Toluol ist von Tolubalsam abgeleitet, einem Stoff, aus dem Toluol erstmalig hergestellt wurde.

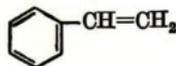
- ① Welche Reaktionen des Benzols stehen mit der Formel von KEKULÉ im Widerspruch?
- ② Begründen Sie aus den physikalischen Eigenschaften, weshalb Benzolbrände nicht mit Wasser gelöscht werden können! (↗ Tafelwerk, S. 48)
- ③ Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden benötigt, um 39 g Benzol vollständig zu Kohlendioxid und Wasser zu verbrennen?
- ④ Stellen Sie fest, ob Styrol als Homologes des Benzols anzusehen ist oder nicht!
- ⑤ Vergleichen Sie die Dichte von Wasser, Benzol und Nitrobenzol! (↗ Tafelwerk, S. 48)

Treten in einem Benzolmolekül an die Stelle von zwei Wasserstoffatomen Methylreste, so erhält man die **Dimethylbenzole (Xylole)**. Es gibt drei isomere Verbindungen der Formel $C_6H_4(CH_3)_2$, die sich durch die Stellung der Methylreste unterscheiden:



Vergleicht man die Summenformeln von Benzol C_6H_6 , Methylbenzol $C_6H_5-CH_3$ und Dimethylbenzol $C_6H_4(CH_3)_2$, so stellt man Differenzen von $-CH_2-$ fest. Methylbenzol und die Dimethylbenzole sind daher **Homologe** des Benzols.

Ein weiterer aromatischer Kohlenwasserstoff ist das **Styrol** $C_6H_5-CH=CH_2$, das sich ebenfalls von Benzol ableitet, jedoch eine ungesättigte Seitenkette aufweist: ④



Methylbenzol, die Dimethylbenzole und Styrol sind leichtentzündliche Flüssigkeiten. Sie sind kaum löslich in Wasser, jedoch löslich in organischen Lösungsmitteln.

Stickstoffderivate des Benzols

18

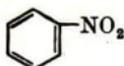
Nitrobenzol

15
▼

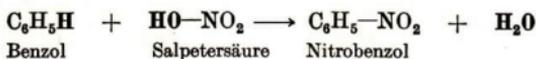
Vorsicht! Einige Milliliter Benzol werden mit einem Gemisch von konzentrierter Salpetersäure und konzentrierter Schwefelsäure geschüttelt. Anschließend wird das Reaktionsgemisch in einen mit Wasser gefüllten Standzylinder gegossen. In einen zweiten mit Wasser gefüllten Zylinder gibt man die gleiche Menge Benzol. ⑤

Brom wirkt unter normalen Bedingungen substituierend auf Benzol ein, so daß Brombenzol entsteht. Auch die Umsetzung von Salpetersäure mit Benzol ist eine

Substitutionsreaktion. Es entsteht Nitrobenzol $C_6H_5-NO_2$.



Nitrobenzol ist ein technisch wichtiges Derivat des Benzols. ①



Bei dieser Reaktion wird ein Wasserstoffatom des Benzols durch die Nitrogruppe $-NO_2$ ersetzt. Die Substitution von Wasserstoff durch Nitrogruppen wird als Nitrierung bezeichnet. ② ③

► Benzol kann mit konzentrierter Salpetersäure nitriert werden.

Nitrobenzol ist eine schwach gelbliche Flüssigkeit, die sich in Wasser nur spureweise löst, ähnlich wie bittere Mandeln riecht und eine größere Dichte als Wasser hat (Experiment 15). Nitrobenzol ist giftig.

Die chemischen Eigenschaften des Nitrobenzols werden sowohl durch den Kohlenwasserstoffrest $-C_6H_5$ als auch durch die Nitrogruppe $-NO_2$ bestimmt. Da das Reaktionsvermögen der Nitrogruppe vorherrschend ist, zeigen Verbindungen, die diese Gruppe enthalten, in einigen chemischen Eigenschaften große Ähnlichkeit. Die Möglichkeit der Umwandlung in andere Stickstoffverbindungen ist die wichtigste Eigenschaft von Nitroverbindungen.

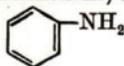
► Atomgruppen, die das chemische Verhalten von Verbindungen weitgehend bestimmen, werden funktionelle Gruppen genannt. Die Nitrogruppe ist eine funktionelle Gruppe.

Die freien Wertigkeiten werden bei funktionellen Gruppen wie bei den Alkylresten durch Striche gekennzeichnet (↗ S. 18).

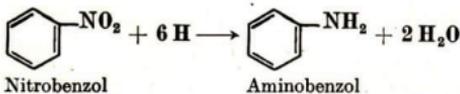
Aminobenzol (Anilin)

16
▼ In einem Kolben wird Nitrobenzol durch Zugabe von Zink und Salzsäure reduziert. Anschließend wird das Reaktionsgemisch mit wenig Wasser verdünnt, filtriert und etwas vom Filtrat auf Zeitungspapier aufgetragen.

Aminobenzol ist ein Benzolderivat, bei dem ein Wasserstoffatom des Benzols durch die (funktionelle) Aminogruppe $-NH_2$ substituiert ist. Es hat die Formel $C_6H_5-NH_2$.



Der Darstellung von Aminobenzol liegen folgende Reaktionen zugrunde: Zink reagiert mit Salzsäure unter Bildung von atomarem Wasserstoff, der Nitrobenzol zu Aminobenzol reduziert (Experiment 16). ④



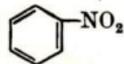
- ① Erläutern Sie den Begriff „Derivat“! Welche Derivate von Kohlenwasserstoffen haben Sie schon kennengelernt?
- ② Wieviel Gramm Nitrobenzol entstehen theoretisch bei der Umwandlung von 7,8 g Benzol zu Nitrobenzol?
- ③ Wieviel Kilogramm 65%ige Salpetersäure würden zur Nitrierung von 156 kg Benzol benötigt, wenn sich nur 50% der Säure umsetzen?
- ④ Wieviel Zink (rel. Atommasse 65,4) wird theoretisch zur Umsetzung von 6,15 g Nitrobenzol zu Aminobenzol benötigt?

Aminobenzol ist eine giftige, schwach riechende, leicht ölige, farblose Flüssigkeit, die sich an der Luft schnell bräunt und bei $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ erstarrt. Aminobenzol ist in Wasser wenig löslich, aber mit vielen organischen Lösungsmitteln unbegrenzt mischbar.

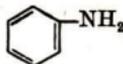
► **Aminobenzol entsteht aus Nitrobenzol durch Reduktion.**

Die Aminogruppe $-\text{NH}_2$ ist ebenso wie die Nitrogruppe $-\text{NO}_2$ eine funktionelle Gruppe. Da beide Gruppen unterschiedliche Zusammensetzung und verschiedene Struktur aufweisen, müssen sie bei den Verbindungen, in denen sie auftreten, verschiedenes chemisches Verhalten bewirken. Es muß jedoch stets bedacht werden, daß diese Eigenschaften einer chemischen Verbindung niemals von der funktionellen Gruppe allein, sondern immer durch das Zusammenwirken von funktioneller Gruppe und Kohlenwasserstoffrest bestimmt werden.

Die Formeln



Nitrobenzol



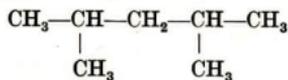
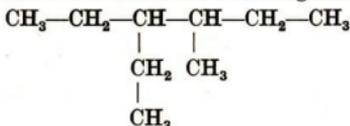
Aminobenzol

lassen eine in der organischen Chemie häufig anzutreffende Strukturbesonderheit erkennen:

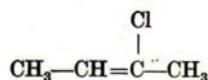
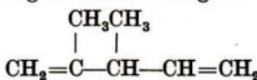
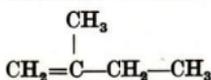
► **Viele organische Verbindungen bauen sich aus Kohlenwasserstoffrest und funktionellen Gruppen auf.**

Aminobenzol wurde 1826 erstmalig von dem deutschen Chemiker OTTO UNVERDORFEN aus dem Naturstoff Indigo hergestellt. 1834 entdeckte FRIEDLIEB FERDINAND RUNGE das Aminobenzol im Steinkohlenteer. Nach der portugiesischen Bezeichnung „anil“ für Indigo gab man im Jahre 1840 der Verbindung den Namen Anilin. 1841 gelang dem russischen Chemiker NIKOLAI NIKOLAJEWITSCH SININ die erste Synthese von Aminobenzol durch Reduktion von Nitrobenzol. Diese Synthese von SININ hat in der Folgezeit große Bedeutung für die chemische Industrie erlangt und ist heute noch Grundlage eines technisch wichtigen Verfahrens. Die Geschichte der Entdeckung, der Strukturaufklärung und der Synthese des Aminobenzols zeigt, wie der Mensch Schritt für Schritt die Natur erforscht.

1. Erläutern Sie aus der Stellung des Kohlenstoffs im Periodensystem, warum der einfachste Kohlenwasserstoff die Formel CH_4 haben muß!
2. Berechnen Sie die Volumenprozent Methan eines Erdgases, das aus Methan und Stickstoff besteht, und von dem 67,2 l (im Normzustand) bei der Verbrennung 88 g Kohlendioxid liefern!
3. Erläutern Sie an Hand der Strukturformeln von Butan, Methylpropan und 2,2-Dimethylbutan, warum diese Verbindungen als gesättigte Kohlenwasserstoffe bezeichnet werden!
4. Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:



5. Stellen Sie die Strukturformeln für die Verbindungen 1,1-Dibromäthan und 1,2-Dibromäthan auf!
6. Berechnen Sie, wieviel Prozent Chlor im Tetrachlormethan enthalten sind!
7. Wie weist man Mehrfachbindungen in (ungesättigten) Kohlenwasserstoffen nach?
8. Vergleichen Sie Addition und Substitution und nennen Sie Beispiele für beide Reaktionstypen (Reaktionsgleichungen)!
9. Welche Menge Brom wird benötigt, um 33,6 l Äthen (Normzustand) in Dibromäthan umzuwandeln?
10. Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:



Achten Sie auf die richtige Bezifferung der Kohlenstoffkette!

11. Erläutern Sie die technische Herstellung von Äthin ausgehend von Kohle!
12. Wieviel prozentig ist ein technisches Kalziumkarbid, wenn bei dessen Umsetzung mit Wasser aus 8 g Karbid 2,24 l Äthin (Normzustand) entstehen?
13. Nennen Sie Reaktionen des Äthins und führen Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen an!
14. Vergleichen Sie das chemische Verhalten des Benzols mit dem ungesättigter kettenförmiger Kohlenwasserstoffe!
15. Wie weist man Kohlenstoff und Wasserstoff als Bestandteile des Benzols nach?
16. Nennen Sie eine Substitutionsreaktion des Benzols!
17. Bei einer Nitrierung entstehen 245 kg Nitrobenzol. Wieviel Wasser wird bei dieser Reaktion gebildet?
18. Erläutern Sie die Darstellung von Aminobenzol aus Nitrobenzol an Hand einer Reaktionsgleichung!
19. Vergleichen Sie Struktur und Eigenschaften von Hexan C_6H_{14} , Hexen C_6H_{12} und Benzol C_6H_6 !

- ① Ermitteln Sie die wichtigsten Erdölvorkommen der Welt! (↗ Atlas)
- ② Rechnen Sie die bei Experiment 17 durch Wägung bestimmten Mengen der einzelnen Fraktionen in Prozente um!

Technische Herstellung von Kohlenwasserstoffen aus Erdöl 20

Erdöl ist eine charakteristisch riechende hellbraune bis schwarzbraune Flüssigkeit, die je nach Zusammensetzung dünnflüssig bis zähflüssig ist. Meist sind Alkane die Hauptbestandteile. Daneben treten in manchen Erdölen große Mengen ringförmiger gesättigter Kohlenwasserstoffe mit der allgemeinen Formel C_nH_{2n} , die **Zykloalkane (Naphthene)**, auf. In geringen Mengen sind im Erdöl auch andere organische Verbindungen enthalten. ①

► Erdöl besteht hauptsächlich aus einem Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe.

Aufarbeitung des Erdöls durch Destillation

17
▼

Man erhitzt eine abgewogene Menge Paraffinöl im Rundkolben (Abb. 16). Die innerhalb bestimmter Siedebereiche überdestillierenden Fraktionen werden in gewogenen Bechergläsern aufgefangen. Bei 180 und 250 °C werden die Bechergläser gewechselt und anschließend gewogen. Der Destillationsrückstand wird errechnet. ②

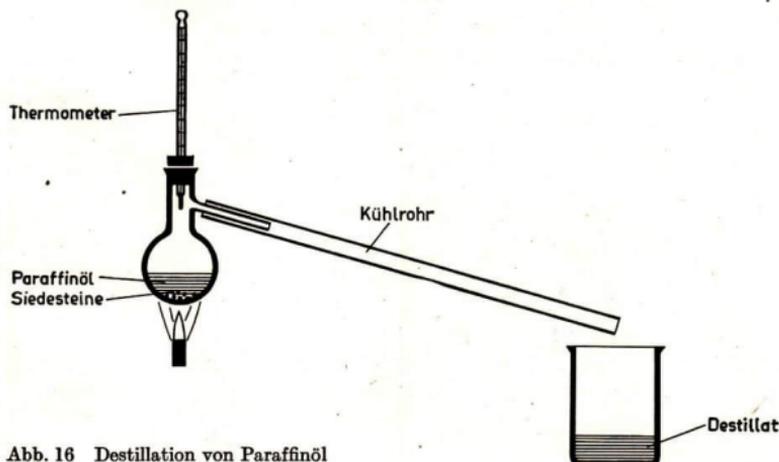


Abb. 16 Destillation von Paraffinöl

Die einzelnen Bestandteile des Erdöls unterscheiden sich physikalisch vor allem durch ihre Siedetemperaturen. Man zerlegt daher das Erdöl durch Destillation in **Fraktionen** bestimmter Siedebereiche (Experiment 17). Bei der technischen

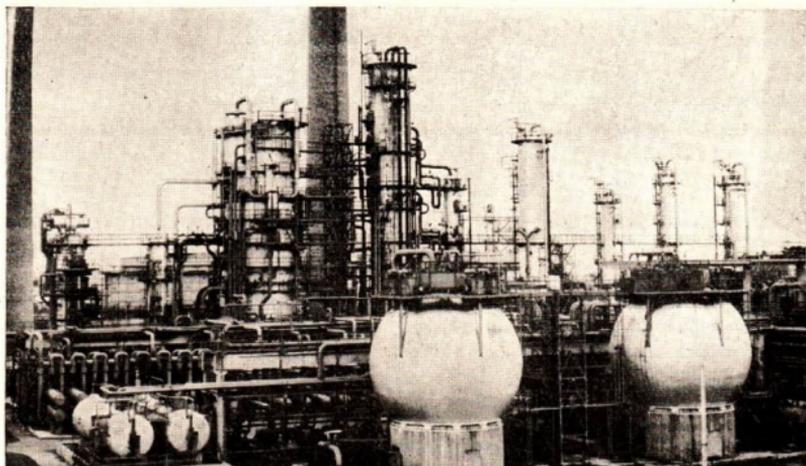


Abb. 17 Fraktioniertürme im VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt

Durchführung der Destillation wird das Erdöl stark erhitzt und dann in einen **Fraktionierturm** (Abb. 17) geleitet, der durch zahlreiche waagerechte **Glockenböden** (Abb. 18 und 19) unterteilt ist. Dort durchströmen die aufsteigenden verdampften Anteile des Erdöls das nach unten fließende **Kondensat**. Dabei werden aus dem Kondensat die leichtsiedenden Anteile verdampft, während aus dem sich abkühlenden Dampf die schwersiedenden Bestandteile durch Verflüssigung (Kondensation) abgetrennt werden. Auf jedem Zwischenboden sammelt sich eine Fraktion. Von bestimmten Zwischenböden werden die Fraktionen in Sammelbehälter abgezogen. ① ②

Der Rückstand der ersten Destillation wird nochmals erhitzt und unter möglichst hohem Vakuum in einer zweiten Fraktionierkolonne weiter zerlegt. Da die Siede-

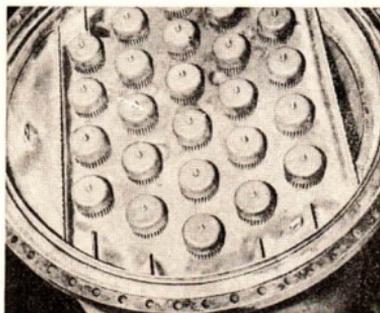


Abb. 18 Glockenböden eines Fraktionierturms

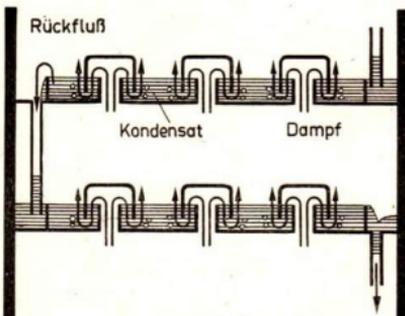


Abb. 19 Wirkungsweise der Glockenböden eines Fraktionierturms

- ① Informieren Sie sich über die Vorgänge beim Sieden eines Stoffes! (/ Physik in Übersichten, S. 64)
- ② Weshalb haben die Glockenböden einen Rückfluß?

temperatur eines Stoffes um so tiefer liegt, je niedriger der Druck ist, bedeutet die **Vakuumdestillation** die einzige Möglichkeit, die temperaturempfindlichen Verbindungen der hochsiedenden Anteile ohne chemische Zersetzung durch Destillation zu trennen. In Abbildung 20 ist die Destillation von Erdöl schematisch dargestellt. Wichtige Destillationsprodukte des Erdöls sind in Tabelle 6 angegeben.

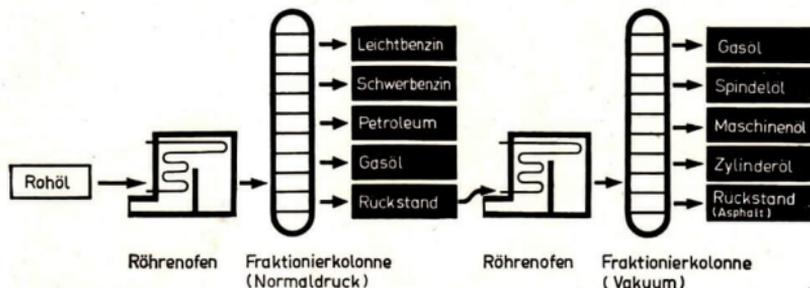


Abb. 20 Technische Aufarbeitung des Erdöls durch Destillation

Tabelle 6 Produkte der Erdöldestillation

Fraktion	Siedebereich	Verwendung
Leichtbenzin	60...100 °C	Lösungsmittel, Vergaserkraftstoff
Schwerbenzin	100...180 °C	Vergaserkraftstoff, Lösungsmittel
Petroleum	150...270 °C	Turbinentreibstoff, Kraftstoff, leichtes Heizöl
Gasöl	270...350 °C	Dieselmotorkraftstoff, Heizöl
Spindelöl, Maschinenöl, Zylinderöl	350...500 °C	Schmierstoffe
Rückstand	oberhalb 500°C	Straßenbelag (Bitumen)

► Das Erdöl wird durch Destillation in Fraktionen bestimmter Siedebereiche zerlegt.

Kracken von Erdöl

18



Der Rundkolben der Apparatur (Abb. 21) wird stark erhitzt, bis die eingefüllte Stahlwolle Rotglut zeigt. Dann läßt man langsam Paraffinöl auf das glühende Eisen tropfen. Das entstehende Gas wird pneumatisch in einem Zylinder aufgefangen.

19



Das in Experiment 18 erhaltene Kondensat und das aufgefangene Gas werden mit Bromwasser geprüft.

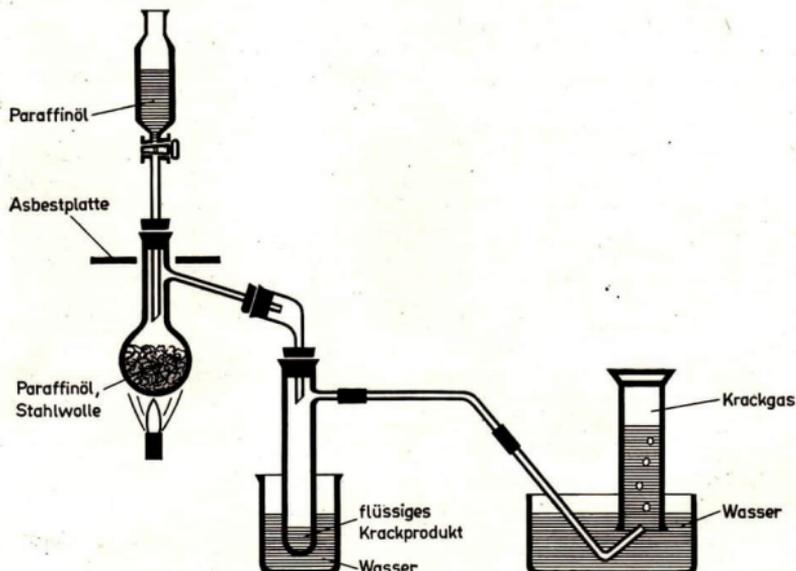
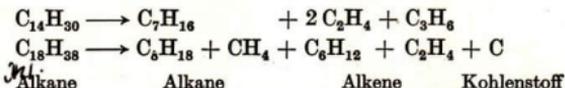


Abb. 21 Kracken von Paraffinöl

Bei der Destillation von Erdöl erhält man meist nur 10...15% niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe, die große technische Bedeutung haben. Dagegen fallen höher-siedende Kohlenwasserstoffe in größeren Mengen an, als man sie direkt verwerten kann. Erhitzt man diese langkettigen Kohlenwasserstoffe auf hohe Temperaturen, so werden ihre Moleküle „aufgesprengt“ und zerfallen in kleinere Bruchstücke. Der Vorgang heißt **Kracken** (Experiment 18). ① ②

Da der Wasserstoff der Alkane nicht ausreicht, um alle Teilprodukte beim Kracken vollständig abzusättigen, müssen bei der Spaltung auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe, teilweise auch Kohlenstoff, entstehen. ③ ④



Beim Kracken werden auch Kohlenwasserstoffe mit 7...9 Kohlenstoffatomen gebildet. Da Kohlenwasserstoffe dieser Kettenlänge wichtige Bestandteile der

- ① Die bei der thermischen Spaltung von höhermolekularen Alkanen entstehenden Produkte bewirken eine Entfärbung von Bromwasser (↗ Experiment 19). Was schließen Sie aus dieser Reaktion?
- ② Erläutern Sie an Hand einer Reaktionsgleichung die Umsetzung, die bei Einwirkung von Brom auf Propen abläuft!
- ③ Benennen Sie die Kohlenwasserstoffe in den beiden Reaktionsgleichungen für den Krackvorgang! (↗ S. 46)
- ④ Stellen Sie zwei Reaktionsgleichungen für das Cracken von Heptadekan $C_{17}H_{36}$ auf!
- ⑤ Berechnen Sie nach der Reaktionsgleichung von Seite 46 den Verlust in Prozent, der durch die Bildung von Methan und Kohlenstoff (Petrolkoks) beim Cracken entsteht!

Benzine sind, wird durch das Cracken die Benzinausbeute bei der Aufarbeitung des Erdöls bis auf etwa 50% erhöht. Unerwünschte Spaltprodukte sind Methan, Äthan und Kohlenstoff, der sogenannte Petrolkoks. ⑤

Das Cracken kann als thermische oder als katalytische Spaltung ausgeführt werden.

Beim **thermischen Cracken** werden bestimmte Destillate des Erdöls bei niedrigem oder hohem Druck stark erhitzt.

Das **katalytische Cracken** ist, obwohl es höhere Kosten verursacht, der thermischen Spaltung überlegen: Es bilden sich weniger Kohlenstoff, Methan und Äthan, die Ausbeute an Benzin steigt. Ein solches Verfahren ist in Abbildung 22 schematisch dargestellt. Der staubfeine (flüssigkeitsähnliche) Katalysator wird zusammen mit den Dämpfen des Erdöldestillats in wenigen Sekunden durch einen Reaktor befördert, wobei der Krackvorgang abläuft. Die Spaltprodukte werden

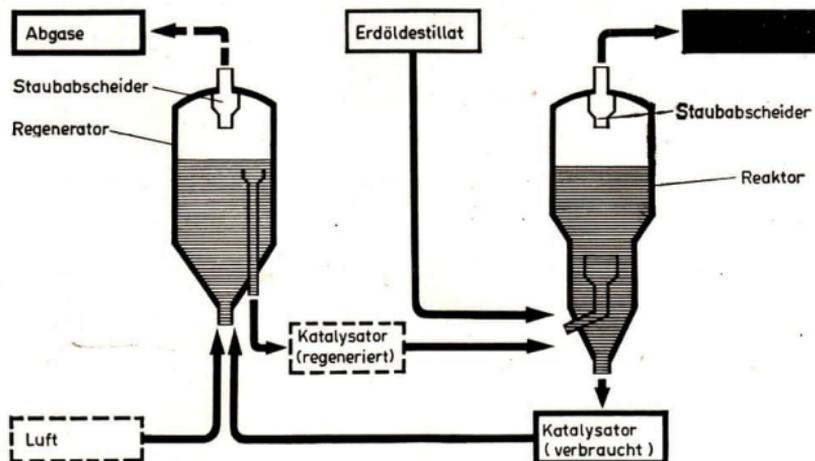


Abb. 22 Katalytisches Cracken von Erdöldestillaten

zur Kondensation geleitet. Der verbrauchte Katalysator wird mit Luft in einen Regenerator geblasen und durch Abbrennen vom abgeschiedenen Koks befreit und damit regeneriert. Anschließend wird er wieder zusammen mit neuem Öldampf dem Reaktor zugeführt.

Beim Krackverfahren werden hochsiedende Kohlenwasserstoffe durch Anwendung von hohen Temperaturen in Benzin, andere niedere Kohlenwasserstoffe und Koks gespalten. Die Krackung kann durch Katalysatoren beschleunigt werden.

Die Aufbereitung von Erdöl wird in unserer Republik in erster Linie im VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt (Abb. 17) durchgeführt. Dieser Betrieb liefert neben Kraftstoffen, Heizöl, Schmierölen und anderen Stoffen auch Ausgangsstoffe für die chemische Industrie. Die Anlagen des VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt wurden nach modernen Gesichtspunkten, zum Teil mit Unterstützung der Sowjetunion, errichtet. In den riesigen Tanklagern des Werkes endet die Erdölleitung „Freundschaft“, die das im Gebiet von Kuibyschew gewonnene sowjetische Erdöl in die Volksrepublik Polen, die Tschechoslowakische Sozialistische Republik, die Ungarische Volksrepublik und in die Deutsche Demokratische Republik führt (Abb. 23).



Abb. 23 Die Erdölleitung „Freundschaft“ auf einer Sonderbriefmarke unserer Republik

Jährlich erhalten wir durch die Erdölleitung mehr als 6 Millionen Tonnen Erdöl aus der Sowjetunion, wodurch eine erhebliche Senkung der Transportkosten für diesen wichtigen Rohstoff erzielt wurde. Von großer Bedeutung für die Weiterverarbeitung von Erdöl und den Transport von Erdölprodukten ist der Bau eines Leitungsnetzes, das Schwedt mit wichtigen Städten unserer Republik, vor allem mit Leuna und Rostock, verbindet. Für dieses Leitungsnetz lieferte die Sowjetunion Spezialrohre. Der Bau der Leitung wurde von einem polnischen Spezialbetrieb ausgeführt. Erdölprodukte werden auch im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, im VEB Mineralölwerk Lützkendorf und im VEB Synthesewerk Schwarzheide verarbeitet.

Die Erdölleitung „Freundschaft“, die sowjetisches Erdöl nach Schwedt liefert, und das System von Rohrleitungen innerhalb unserer Republik sind Beispiele für die Zusammenarbeit der sozialistischen Staaten im Rahmen des Rates für gegenseitige Wirtschaftshilfe.

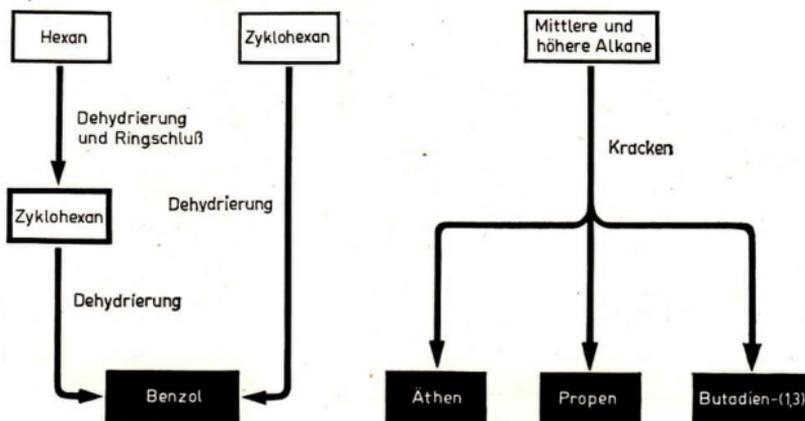
- ① Welche Produkte entstehen bei der Verkokung der Kohle? (↗ Chemie in Übersichten, S. 105)
- ② Vergleichen Sie die Verkokung der Kohle mit dem Kracken von Erdölprodukten hinsichtlich der Ausgangsstoffe und der entstehenden Produkte! (↗ S. 46 ... 48 und Chemie in Übersichten, S. 105)
- ③ Stellen Sie unter Verwendung von Strukturformeln die Reaktionsgleichung für die Umwandlung von Zyklohexan zu Benzol auf!
- ④ Begründen Sie aus der räumlichen Lage der Kohlenstoffatome, warum sich Hexan verhältnismäßig leicht zu Zyklohexan umwandeln läßt! (↗ S. 14)

Herstellung von Petrochemikalien

21

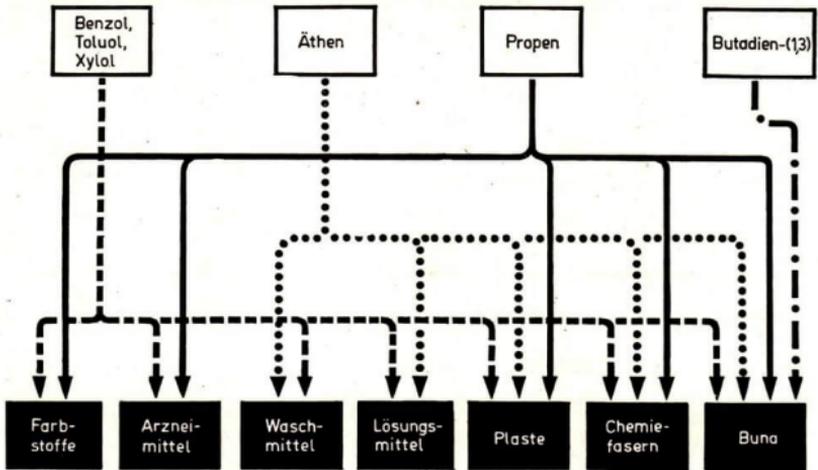
Die wichtigsten Rohstoffquellen für die Erzeugung von volkswirtschaftlich bedeutsamen organischen Verbindungen sind Kohle, Erdöl und Erdgas. Die chemisch-technischen Verfahren, die als Ausgangsstoffe Produkte aus Erdöl und Erdgas verwenden, werden als Sondergebiet der technischen Chemie betrachtet und unter der Bezeichnung **Petrochemie** zusammengefaßt. Der Petrochemie wird die **Kohlechemie** gegenübergestellt. Zur Kohlechemie rechnet man die Verfahren zur Veredlung der Kohle, zum Beispiel die Verkokung. ① ②

Von besonderer Bedeutung für die Petrochemie ist die Umwandlung von Alkanen und Zykloalkanen des Erdöls zu aromatischen Kohlenwasserstoffen und niedermolekularen Alkenen:

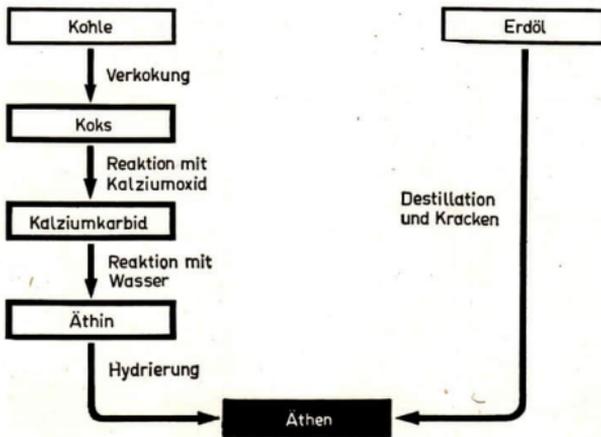


③ ④

Die auf diese Weise hergestellten kettenförmigen und aromatischen Kohlenwasserstoffe werden **Petrochemikalien** genannt. Sie sind wichtige Ausgangsstoffe für Verfahren der chemischen Industrie. Das folgende Schema zeigt Beispiele für Synthesen auf Basis von Petrochemikalien.



Die Herstellung von Synthesewerkstoffen aus Erdöl ist viel einfacher und mit geringerem Energieaufwand verbunden als der Weg der Kohlechemie, der über viele Zwischenprodukte führt. Das zeigt ein Vergleich der Herstellungsverfahren von Äthen aus Kohle oder aus Erdöl:



Die Herstellung von Äthen aus sowjetischem Erdöl wird in unserer Republik in großem Umfang im Werkteil II des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ (Abb. 24) durchgeführt. Ein großer Teil des Äthens wird zu Polyäthylen weiterverarbeitet (S. 25). ① ② ③

- ① Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die Herstellung von Äthen aus Koks über Kalziumkarbid auf!
- ② Erläutern Sie, warum bei der Herstellung von Äthen aus Kohle sehr hohe Energiemengen erforderlich sind!
- ③ Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Polymerisation von Äthen auf!

Petrolchemische Verfahren sind für die Erzeugung von Plasten und vollsynthetischen Chemiefasern in unserer Republik sehr wichtig. Daneben werden jedoch für längere Zeit auch Verfahren der Kohlechemie Bedeutung behalten.

- ▶ Mit der Entwicklung der Petrolchemie erzeugt unsere Republik zusätzlich Ausgangsstoffe für Plaste, Chemiefasern und andere Produkte.

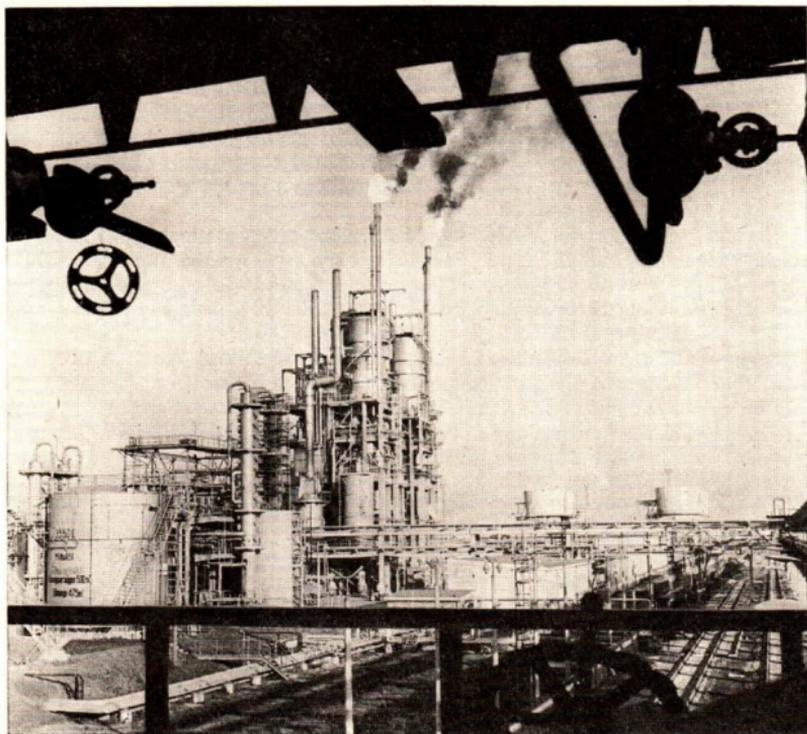


Abb. 24 Rationelle petrolchemische Verfahren werden im Werkteil II des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ angewandt

Als Kraftstoffe bezeichnet man alle brennbaren Stoffe, die zum Betrieb von Verbrennungsmotoren dienen. Sie gelangen mit Luft in den Zylinder des Motors. Dort wird das Gemisch gezündet und verbrannt. Die entstehenden Verbrennungsgase treiben den Kolben des Motors an (/ Physik in Übersichten, S. 68, 69). Für Verbrennungsmotoren werden vor allem flüssige Kraftstoffe, wie Vergaserkraftstoff und Dieselmotorkraftstoff, gelegentlich auch gasförmige Kraftstoffe, zum Beispiel Treibgas, verwendet.

Vergaserkraftstoff (Benzin) ist eine klare, mit Wasser nicht mischbare, leicht brennbare Flüssigkeit. Er ist aus niedrigsiedenden Alkanen (5 ... 12 Kohlenstoffatomen), Alkenen und ringförmigen Kohlenwasserstoffen zusammengesetzt. Vergaserkraftstoffe sind feuergefährlich.

Wichtig für einen Vergaserkraftstoff ist außer seinem Heizwert die **Klopffestigkeit**. Bei Kraftstoffen mit geringer Klopffestigkeit entzünden sich im Zylinder durch Druck- und Temperaturerhöhung einige Bestandteile des Kraftstoff-Luft-Gemisches vorzeitig und explosionsartig. Dabei entsteht ein Stoß, der den Motor stark beansprucht. Man sagt, der Motor „klopft“. Klopferscheinungen erkennt man am Motorengeräusch. ①

Wertmaßstab für die Klopffestigkeit eines Kraftstoffes ist seine **Oktanzahl**. Sie ergibt sich durch den Vergleich mit der Klopffestigkeit eines Isooktan-Heptan-Gemisches. Isooktan (2,2,4-Trimethylpentan) ist ein sehr klopfester Stoff, dem die Oktanzahl 100 zugeteilt wurde; Heptan hat die Oktanzahl 0. Ein Kraftstoff mit der Oktanzahl 60 weist dieselbe Klopffestigkeit auf wie ein Gemisch von 60 % Isooktan und 40 % Heptan. ②

Alkane mit unverzweigter Kette klopfen am stärksten. Mit zunehmender Kettenlänge steigt ihre Klopfneigung. Alkane mit verzweigten Ketten und Alkene klopfen dagegen weniger. Benzol verbrennt in den meisten Motoren klopfrei. Die Klopffestigkeit der Kraftstoffe wird durch Zugabe von **Antiklopfmitteln**, zum Beispiel Bleitetraäthyl $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$, wesentlich erhöht. ③ ④

Dieselmotorkraftstoff (Dieselöl) ist eine helle brennbare Flüssigkeit. Er ist schwer entflammbar und daher weniger feuergefährlich. Dieselmotorkraftstoff ist vor allem aus Kohlenwasserstoffen des Siedebereiches 190 ... 345 °C zusammengesetzt. ⑤

Treibgase enthalten überwiegend Butan, ferner Propan und Pentan. Treibgas hat den Vorteil hoher Klopffestigkeit.

- Kraftstoffe sind Gemische, die sich hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen zusammensetzen.

Vergleich der Erzeugung von Kohlenwasserstoffen aus Kohle und Erdöl

23

Kohlenwasserstoffe, die als Ausgangsstoffe für chemisch-technische Synthesen dienen, können sowohl aus Kohle als auch aus Erdöl erzeugt werden. Beide Rohstoffe werden in unserer Republik genutzt. Um die Bedeutung beider Verfahrenswege richtig einzuschätzen, müssen einige Gesichtspunkte besonders berücksichtigt werden.

- ① Nennen Sie Alkane mit Formel und Namen, deren Siedetemperatur zwischen 50 und 200 °C liegt! (↗ Tab. 3, S. 16)
- ② Stellen Sie die Strukturformeln für Heptan und Isooktan (2,2,4-Trimethylpentan) auf!
- ③ Berechnen Sie, wieviel Masseprozent Blei im Bleitetraäthyl enthalten sind!
- ④ Erkundigen Sie sich, welche Oktanzahlen die vom VEB Minol gehandelten Vergaserkraftstoffe haben!
- ⑤ Welche Alkane können im Dieselmotorkraftstoff auf Grund des angegebenen Siedebereiches enthalten sein? (↗ Tab. 3, S. 16)
- ⑥ Nennen Sie Verbindungen, für deren Herstellung aus Kohle hohe Energiemengen erforderlich sind!
- ⑦ Begründen Sie die vorrangige Entwicklung der Petrochemie aus dem Anteil der chemischen Industrie am Verbrauch von Elektroenergie! (↗ Chemie in Übersichten, S. 124)
- ⑧ Erläutern Sie den Begriff der Arbeitsproduktivität!
- ⑨ Welche Vorteile bietet eine Erdölleitung gegenüber dem Transport mit Fahrzeugen?

Die Deutsche Demokratische Republik hat die höchste Braunkohlenförderung der Welt. Der Rohstoff Braunkohle steht uns noch für Jahrzehnte zur Verfügung. Die Kosten für Gewinnung und Transport der Kohle sind jedoch hoch. Erdöl hingegen läßt sich mit erheblich geringeren Kosten transportieren, besonders zweckmäßig in Rohrleitungen.

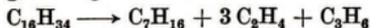
Der Weg der Kohlechemie zu einem bestimmten Endprodukt führt über viele Zwischenstufen und ist mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Die petrochemische Herstellung des gleichen Produktes ist dagegen verhältnismäßig einfach und benötigt erheblich geringere Energiemengen. ⑥ ⑦

Die Erdölverarbeitung erlaubt ferner die automatische Steuerung vieler Verfahrensstufen und ermöglicht dadurch eine hohe Arbeitsproduktivität. Deshalb sind die Herstellungskosten für technisch wichtige Kohlenwasserstoffe aus Erdöl bedeutend niedriger als bei Verfahren der Kohlechemie. Aus diesen Gründen ist die Entwicklung der Petrochemie eine wichtige Aufgabe beim umfassenden Aufbau des Sozialismus in unserer Republik. Der Aufbau des VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt hat deshalb besondere Bedeutung. Das Zentrum der Petrochemie ist das im Bau befindliche Werk II des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, das modernste Anlagen zur Herstellung und Verarbeitung von Petrochemikalien erhält. ⑧ ⑨

Trotz vieler Vorteile der Petrochemie ist die Kohlechemie für unsere Republik ebenfalls wichtig. Viele Anlagen unserer Braunkohlechemie sind auf einem hohen Stand der Technik und erzeugen große Mengen an Kraftstoffen und Ausgangsstoffen für chemische Synthesen.

- **Technisch wichtige Kohlenwasserstoffe werden aus Kohle und Erdöl hergestellt. Kohlechemie und Erdölchemie ergänzen sich in der Deutschen Demokratischen Republik sinnvoll zum größtmöglichen ökonomischen Nutzen.**

1. Aus welchen Stoffen ist Erdöl zusammengesetzt?
2. Erläutern Sie die destillative Aufarbeitung des Erdöls!
3. Nennen Sie wichtige Destillationsprodukte des Erdöls!
4. Warum führt man die Destillation der hochsiedenden Erdölanteile im Vakuum durch? (/ Physik in Übersichten, S. 64, 65)
5. Erläutern Sie das Prinzip des Krackverfahrens!
6. Beim Kracken kann Hexadekan $C_{16}H_{34}$ entsprechend folgender Reaktionsgleichung zerfallen:



Wieviel Prozent Alkene werden hierbei gebildet?

7. Welche Bedeutung haben die Erdölimporte aus der Sowjetunion für unsere Republik?
8. Nennen Sie wichtige Kraftstoffe und ihre Zusammensetzung!
9. Was versteht man unter der Oktanzahl der Vergaserkraftstoffe?

Sauerstoffderivate der Kohlenwasserstoffe

25

Alkohole

20



Vorsicht! Ein Stück entrindetes Natrium wird in ein Reagenzglas mit 5 ml wasserfreiem Methanol gegeben. Das entweichende Gas fängt man pneumatisch auf und prüft es auf Brennbarkeit.

21



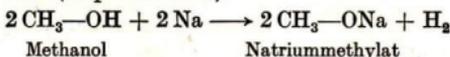
In ein Reagenzglas wird etwas Natriumhydroxidlösung gegeben, in ein zweites etwas Methanol und destilliertes Wasser. Beide Lösungen werden mit Phenolphthaleinlösung auf Indikatorreaktion untersucht.

Die Kohlenwasserstoffe bilden eine große Anzahl von Derivaten, in denen die Reste von Kohlenwasserstoffen mit sauerstoffhaltigen funktionellen Gruppen verknüpft sind. Derivate von kettenförmigen Kohlenwasserstoffen, von Zykloalkanen und einigen anderen Ringverbindungen, die **Hydroxylgruppen —OH** enthalten, werden als **Alkohole** bezeichnet. Von den Alkanen abgeleitete Alkohole mit einer Hydroxylgruppe im Molekül nennt man **Alkanole**.



Alkanole sind Monohydroxylderivate der Alkane.

Reagieren Alkanole oder andere Alkohole mit Natrium, so entstehen salzartige Verbindungen, die als **Alkoholate** bezeichnet werden. Außerdem bildet sich Wasserstoff (Experiment 20):



Quantitative Untersuchungen dieser Umsetzungen erbrachten den Beweis, daß immer nur ein Wasserstoffatom je Alkanolmolekül durch Metall ersetzt wird. Dadurch wird deutlich, daß ein Wasserstoffatom in diesen Verbindungen eine Sonderstellung einnehmen muß: Es ist durch Atombindung über Sauerstoff an Kohlenstoff gebunden.

Da die Alkohole die Gruppe —OH enthalten, könnte man bei ihnen Eigenschaften der anorganischen Basen erwarten. Die wäßrige Lösung von Metallhydroxiden reagiert basisch, in der Lösung liegen Metall-Ionen und Hydroxid-Ionen vor. Die Untersuchung der Alkohole mit Indikatoren zeigt jedoch, daß diese Verbindungen keine Hydroxid-Ionen bilden (Experiment 21). Bezüglich der Indikatorreaktionen besteht zwischen Alkoholen und Basen keine Übereinstimmung, Alkohole sind keine Basen.



Die Hydroxylgruppe der Alkohole ist durch eine Atombindung mit einem Kohlenstoffatom eines Kohlenwasserstoffrestes verbunden und zeigt deshalb ein anderes Verhalten als die Hydroxid-Ionen der Basen.

Struktur der Alkanole

Für Alkohole, die nur eine Hydroxylgruppe enthalten, gilt die allgemeine Formel $R-OH$, wobei R der Rest eines kettenförmigen Kohlenwasserstoffes sein kann. Bei den Alkanolen ist R ein Alkylrest $-C_nH_{2n+1}$ ($n \geq 1$).

- Die allgemeine Formel der Alkanole lautet $C_nH_{2n+1}-OH$. Die Hydroxylgruppe ist die funktionelle Gruppe der Alkanole.

Die Hydroxylgruppe der Alkanole kann sowohl am Ende einer Kohlenstoffkette liegen, sie kann aber auch an ein mittleres Kohlenstoffatom gebunden sein.

- Isomeriemöglichkeiten, die durch unterschiedliche Anordnung von funktionellen Gruppen im Molekül hervorgerufen werden, bezeichnet man als Stellungsisomerie.

Wenn sich Verbindungen nur durch die Lage von Mehrfachbindungen unterscheiden, zum Beispiel Buten-(1) und Buten-(2), handelt es sich gleichfalls um Stellungsisomerie. Die Stellungsisomerie kann man als Sonderfall der Strukturisomerie auffassen. ①

Die endständigen (am Ende einer Kette befindlichen) Kohlenstoffatome eines Kohlenwasserstoffes bezeichnet man als primäre Kohlenstoffatome; sie sind nur an ein anderes Kohlenstoffatom gebunden. 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 Festlegung ausgehend erhalten Alkanole, deren Hydroxylgruppe mit einem primären Kohlenstoffatom verknüpft ist, die Bezeichnung **primäre Alkanole**. Ist die Hydroxylgruppe an ein sekundäres beziehungsweise tertiäres Kohlenstoffatom gebunden, so bezeichnet man diese als **sekundäre beziehungsweise tertiäre Alkanole**.

	Alkanol mit vier Kohlenstoffatomen	typische Gruppe
primäres Alkanol	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$	$\begin{array}{l} \\ -CH_2-OH \end{array}$
sekundäres Alkanol	$CH_3-CH_2-\underset{\begin{array}{c} \\ OH \end{array}}{CH}-CH_3$	$\begin{array}{l} \diagup \\ CH-OH \end{array}$
tertiäres Alkanol	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_3-C-CH_3 \\ \\ OH \end{array}$	$\begin{array}{l} \diagup \\ C-OH \end{array}$

② ③

Die Namen der Alkanole werden aus dem Namen des Kohlenwasserstoffes, von dem sie abgeleitet sind, und der Endung „ol“ gebildet. Nachgestellte, in Klammern gesetzte arabische Ziffern mit Bindestrich bezeichnen die Stellung der funktionellen Gruppe. Daneben werden noch ältere Bezeichnungen benutzt.

- ① Führen Sie Beispiele für die Stellungsisomerie bei ungesättigten Verbindungen an! (↗ S. 27)
- ② Wieviel isomere Verbindungen der Formel $C_5H_{11}-OH$ sind möglich?
- ③ Vergleichen Sie die Anzahl der möglichen Isomeren bei Alkanen und Alkanolen mit gleicher Anzahl von Kohlenstoffatomen an den Beispielen C_3H_8 beziehungsweise C_3H_7-OH und C_4H_{10} beziehungsweise C_4H_9-OH !
- ④ Bilden Sie die Namen für die in der Übersicht auf Seite 56 aufgeführten Alkanole!
- ⑤ Welche gemeinsamen und unterschiedlichen Eigenschaften haben Sie bei den Gliedern anderer homologer Reihen kennengelernt?

	Name des Stammkohlenwasserstoffs	Art der funktionellen Gruppe	Stellung der funktionellen Gruppe
Name der Verbindung	Butan	ol	-(1)
	Butanol-(1)		
Bedeutung	unverzweigter, gesättigter Kohlenwasserstoff mit 4 Kohlenstoffatomen	1 Hydroxylgruppe	endständig
Formel	$ \begin{array}{ccccccc} & H & H & H & H & & \\ & & & & & & \\ H & -C & -C & -C & -C & -OH \\ & & & & & & \\ & H & H & H & H & & \end{array} $		

④

Homologe Reihe der Alkanole

Die Alkanole mit unverzweigter Kohlenstoffkette und endständiger Hydroxylgruppe bilden eine homologe Reihe. Die einzelnen Glieder dieser Reihe unterscheiden sich jeweils durch die Differenz $-CH_2-$. Die Molekülvergrößerung vom Methanol CH_3-OH bis zum Äthanol C_2H_5-OH um $-CH_2-$ bedeutet eine Strukturänderung. Ebenso haben die Moleküle von Propanol C_3H_7-OH gegenüber Äthanol und vom Butanol C_4H_9-OH gegenüber Propanol die gleichen Strukturänderungen erfahren. Strukturänderungen bei chemischen Verbindungen bedingen Änderungen der Eigenschaften dieser Verbindungen. So nimmt die Wasserlöslichkeit der Alkanole mit zunehmender Anzahl von Kohlenstoffatomen im Molekül rasch ab. Höhermolekulare Alkanole sind in Wasser kaum löslich. In vielen chemischen Eigenschaften zeigen die Alkanole Übereinstimmung, da die Reaktionen der Alkanole weitestgehend durch die Hydroxylgruppe bestimmt werden. ⑤

► Alkanole mit unverzweigtem Kohlenwasserstoffrest und endständiger Hydroxylgruppe sind Glieder einer homologen Reihe.

Methanol

22



Vorsicht! Methanol wird mit etwas Kalziumkarbid versetzt. Gasentwicklung zeigt Wasser im Methanol an. ①

23



Die Dichte vom Methanol wird mit Hilfe eines Aräometers bestimmt.

Methanol $\text{CH}_3\text{—OH}$ wird in unserer Republik großtechnisch im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid hergestellt (Abb. 25).

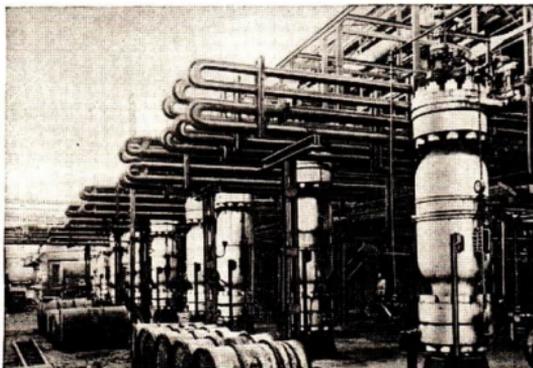
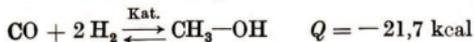


Abb. 25 Methanol wird technisch durch Synthese von Kohlenmonoxid und Wasserstoff hergestellt

Das Gasgemisch wird bei etwa 380 °C und unter einem Druck von 200 at mit Hilfe von Mischkatalysatoren zu Methanol umgesetzt:



Die Bildung von Methanol verläuft unter Volumenverminderung. Der angewendete hohe Druck verschiebt deshalb das chemische Gleichgewicht nach der Seite

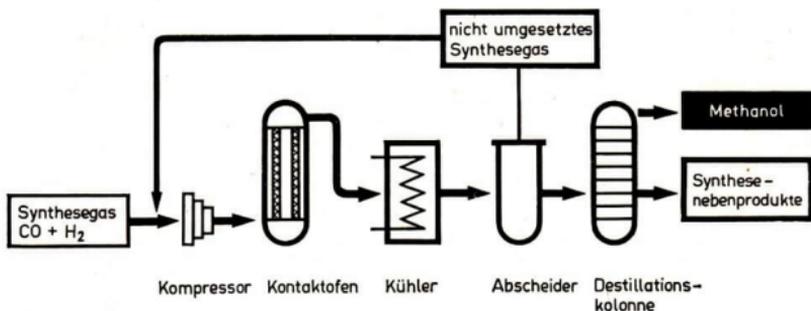


Abb. 26 Technische Methanolsynthese

- ① Erläutern Sie an Hand einer Reaktionsgleichung, warum bei Zusatz von Kalziumkarbid zu einem wasserhaltigen Alkohol Gasentwicklung eintritt!
- ② Wie kann man die Lage des chemischen Gleichgewichts bei der Ammoniaksynthese beeinflussen? (↗ Chemie in Übersichten, S. 27, 28)
- ③ Vergleichen Sie die Temperaturabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts bei der Herstellung von Kalziumkarbid und Methanol (↗ S. 32)
- ④ Inwiefern ist die Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur abhängig? (↗ Chemie in Übersichten, S. 28)
- ⑤ Weshalb wird bei der Methanolsynthese das Kreislaufprinzip angewendet? (↗ Abb. 26)
- ⑥ Bei welcher Temperatur und unter welchem Druck nimmt das Methanolgeleichgewicht die günstigste Lage ein?

des Methanols. Die Methanolbildung verläuft exotherm. Eine hohe Ausbeute ist daher bei niedriger Temperatur zu erwarten. Die für diesen Prozeß benötigten Katalysatoren werden aber erst bei 380 °C wirksam. Unterhalb dieser Temperatur wäre die Reaktionsgeschwindigkeit viel zu gering. In Abbildung 26 ist die Methanolsynthese schematisch dargestellt. ② ③ ④ ⑤

► **Methanol entsteht in einer Gleichgewichtsreaktion aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Die Umsetzung ist von Druck und Temperatur abhängig. ⑥**

Methanol ist eine farblose Flüssigkeit, die sich in Wasser und anderen Lösungsmitteln löst (Experiment 22). Seine Dichte ist kleiner als die des Wassers (Experiment 23). Methanol löst Harze und verschiedene andere Stoffe.

Methanol ist außerordentlich giftig. Bereits nach dem Genuß weniger Milliliter treten Erblindung und Tod ein.

Methanol wird in großen Mengen hergestellt. Es dient als Ausgangsstoff für die chemische Industrie, als Lösungsmittel und gelegentlich als Zusatz zu Kraftstoffen.

Äthanol (Äthylalkohol)

Wasserfreies Äthanol wird im Fraktionierkolben (Abb. 27) zum leichten Sieden erhitzt. Die Temperatur der übergelenden Dämpfe entspricht der Siedetemperatur des Äthanols.

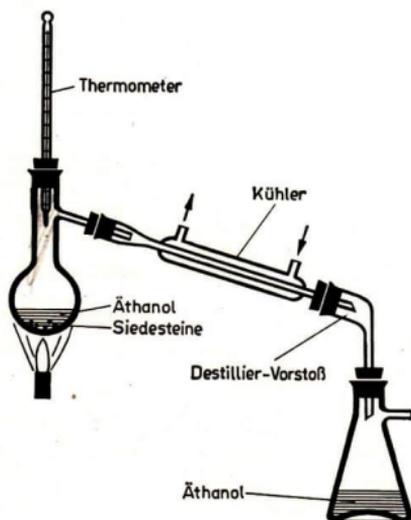


Abb. 27 Bestimmung der Siedetemperatur von Äthanol

Die Dichte von Äthanol wird mit Hilfe eines Aräometers bestimmt.

Äthanol (Brennspiritus) wird analog Experiment 22 auf Wassergehalt geprüft.

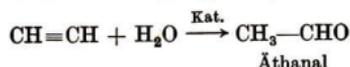
Äthanol C_2H_5-OH , im täglichen Sprachgebrauch kurz als Alkohol bezeichnet, wird in der Hauptsache durch Vergärung zuckerhaltiger Flüssigkeiten mittels Hefe hergestellt. Besonders gut ist Glukose (Traubenzucker) $C_6H_{12}O_6$ für die Gärung geeignet. Sie wird durch den Gärprozeß zu Äthanol und Kohlendioxid abgebaut. ①



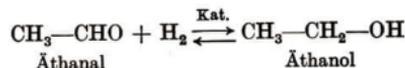
Die Äthanolgärung (alkoholische Gärung) wird durch chemische Verbindungen bewirkt, die in den Hefezellen enthalten sind und als Katalysatoren wirken. Derartige biologische Katalysatoren nennt man **Enzyme**. Die Enzyme der Hefezellen werden unter der Bezeichnung **Zymase** zusammengefaßt.

Die Äthanolgärung ist ein biochemischer Vorgang, bei dem Kohlenhydrate durch den Einfluß von Zymase in Äthanol und Kohlendioxid umgewandelt werden.

Äthanol wird auch synthetisch erzeugt. Dabei geht man vom Äthin aus und lagert an diese Verbindung katalytisch Wasser an.

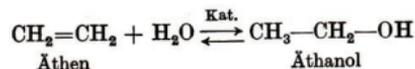


Die Zwischenverbindung Äthanal wird in Gegenwart von Katalysatoren zu Äthanol hydriert.



② ③

Nach einem modernen petrochemischen Verfahren wird Äthanol durch katalytische Wasseranlagerung an Äthen hergestellt:



Äthanol ist eine wasserklare Flüssigkeit, die mit schwach leuchtender Flamme brennt und sich in Wasser, Benzin, Benzol und anderen Flüssigkeiten löst. Für viele Zwecke muß Äthanol völlig wasserfrei sein. Die Anwesenheit von Wasser in Äthanol kann mit Kalziumkarbid nachgewiesen werden (Experiment 26). Äthanol dient als Lösungsmittel, als Zusatz zu Kraftstoffen, als Brennspiritus und als Ausgangsstoff für die chemische Industrie. ④

Äthanol wird auch in Form alkoholischer Getränke verbraucht. Alkoholische Getränke sind Genußmittel, die sich 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 für alle Verkehrsteilnehmer besonders gefähr-

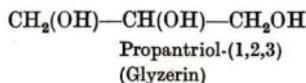
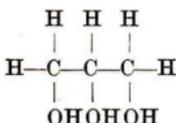
- ① Berechnen Sie mit Hilfe der für die Gärung angegebenen Reaktionsgleichung, wieviel Kilogramm Äthanol und wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) aus 45 kg Glukose $C_6H_{12}O_6$ entstehen!
- ② Welche Hydrierungsreaktionen haben Sie bereits kennengelernt?
- ③ Wieviel Prozent beträgt die Ausbeute gegenüber der Theorie, wenn aus 40 t Äthin bei der Synthese 69 t Äthanol hergestellt werden?
- ④ Aus 100 g eines wasserhaltigen Äthanol werden bei Zugabe einer ausreichenden Menge Kalziumkarbid 5,6 l Äthin (Normzustand) entwickelt. Wieviel Masseprozent Äthanol sind in einer solchen Flüssigkeit enthalten?
- ⑤ Berechnen Sie den Sauerstoffgehalt des Propantriols in Prozenten!

lich. Bei dauerndem Mißbrauch alkoholischer Getränke tritt eine Vergiftung des Körpers ein, die mit einer Reihe von Körperschäden verbunden ist.

- **Äthanol ist besonders gefährlich für den jungen, in der Entwicklung befindlichen Organismus. Daher sollten vor allem Jugendliche den Genuß alkoholischer Getränke meiden.**

Propantriol (Glycerin)

Alkanole enthalten nur eine Hydroxylgruppe im Molekül und gehören deshalb zu den einwertigen Alkoholen. Neben diesen Verbindungen gibt es auch solche mit mehreren Hydroxylgruppen. Sie werden als mehrwertige Alkohole bezeichnet. Zu ihnen gehört das Propantriol-(1,2,3).



Propantriol-(1,2,3) ist eine farblose Flüssigkeit, die sich mit Wasser und Äthanol in jedem Verhältnis mischt. Die Fette des Tier- und Pflanzenreiches sind Verbindungen des Propantriols mit einigen organischen Säuren. Industriell wird Propantriol durch Fettspaltung und auf synthetischem Wege hergestellt. ⑤

Phenole

27

Die bisher behandelten Hydroxylverbindungen, die Alkanole und das Propantriol, gehören zu den Alkoholen. Außer den Alkoholen gibt es Hydroxylverbindungen, bei denen die Hydroxylgruppen unmittelbar an Kohlenstoffatome aromatischer Ringsysteme gebunden sind. Zu dieser Gruppe von Verbindungen gehören die Hydroxylderivate des Benzols. Sie heißen Phenole.

Phenol

27

▼

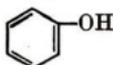
Phenol wird mit Wasser versetzt und geschüttelt. Zur entstandenen trüben Emulsion fügt man Natriumhydroxidlösung bis zur Bildung einer klaren Lösung hinzu. ①

28

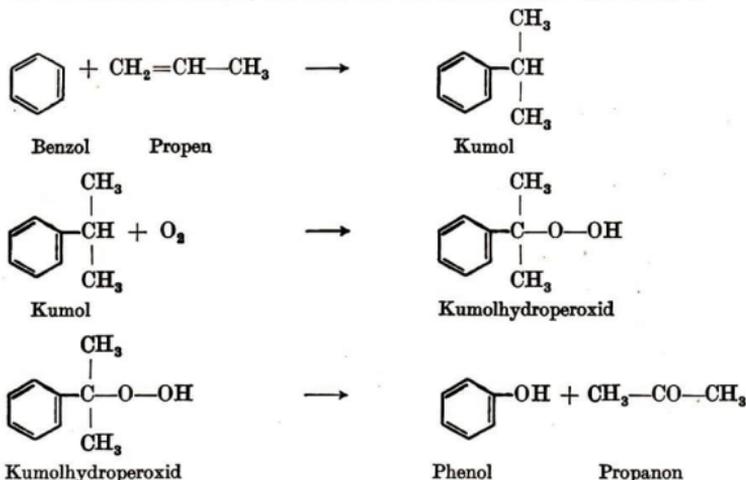
▼

Die klare Lösung von Experiment 27 wird auf zwei Gläser verteilt. In das eine Glas wird konzentrierte Salzsäure bis zur sauren Reaktion zugegeben. In die andere Flüssigkeit leitet man einige Zeit Kohlendioxid ein.

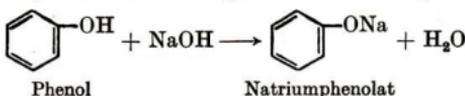
Der einfachste Vertreter der Hydroxylderivate des Benzols ist das **Phenol (Hydroxybenzol)** C_6H_5-OH .



Phenol kann aus Produkten der Kohleveredlung gewonnen werden. Größere Bedeutung hat ein petrochemischer Prozeß, das Kumolverfahren. Durch Reaktion von Benzol mit Propen entsteht **Kumol**, das durch Oxydation mit Luft in Kumolhydroperoxid umgewandelt wird. Diese Verbindung wird anschließend mit verdünnten Säuren zersetzt, wobei zwei wertvolle Produkte entstehen. ②

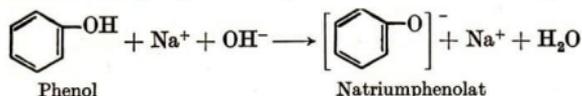


Phenol bildet farblose Nadeln von eigenartigem Geruch, die sich an der Luft nach einiger Zeit rötlich färben. Es ist giftig und wirkt ätzend. Phenol reagiert schwach sauer. Durch Reaktion mit verdünnten Lösungen von Alkalimetallhydroxiden entstehen salzartige Verbindungen, die **Phenolate** (Experiment 27). Natriumphenolat ist in Wasser leichter löslich als Phenol, deshalb geht die Emulsion von Experiment 27 bei Zugabe von Natriumhydroxidlösung in eine Lösung über: ③

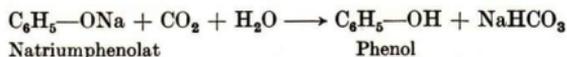


- ① Deuten Sie die Reaktion zwischen Phenol und Natriumhydroxid als Salzbildung!
- ② Wieviel Kubikmeter Propen (Normzustand) werden theoretisch beim Kumolverfahren zur Herstellung von 188 t Phenol benötigt?
- ③ Wieviel Milliliter 10%ige Natriumhydroxidlösung ($\rho = 1,11 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$) werden zur Umwandlung von 4,7 g Phenol in Natriumphenolat benötigt?
- ④ Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Natriumphenolat mit Salzsäure auf!

In der Lösung liegt Natriumphenolat in Ionenform vor, die Ionengleichung lautet:



Bei Säurezusatz zur wäßrigen Phenolatlösung entsteht wieder Phenol, das die Lösung trübt (Experiment 28). ④



► Phenol reagiert schwach sauer. Das Wasserstoffatom in der Hydroxylgruppe des Phenols ist durch Metall ersetzbar. Phenolate sind die Salze des Phenols.

Phenol ist ein wichtiger Ausgangsstoff für chemisch-technische Verfahren. Abbildung 28 gibt einen Überblick über die vielseitige Verwendung des Phenols.

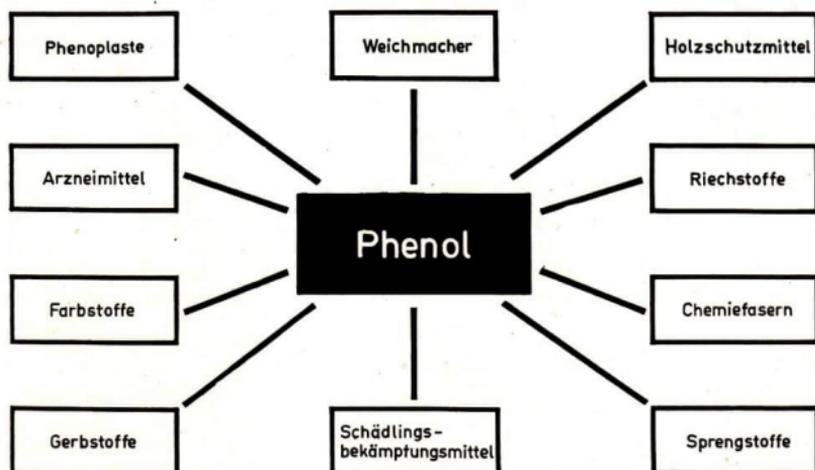
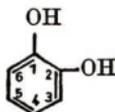


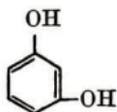
Abb. 28 Einige Verwendungszwecke von Phenol

Zweiwertige Phenole

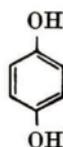
Ersetzt man zwei Wasserstoffatome im Benzolmolekül durch Hydroxylgruppen, so erhält man Dihydroxybenzole $C_6H_4(OH)_2$, von denen es drei stellungsisomere Verbindungen gibt:



1,2-Dihydroxybenzol
(Brenzkatechin)



1,3-Dihydroxybenzol
(Resorzin)



1,4-Dihydroxybenzol
(Hydrochinon)

Die Anordnung der funktionellen Gruppen im Molekül der Dihydroxybenzole wird im Namen durch vorangestellte Ziffern mit Bindestrich angegeben. ①

► Bei Disubstitutionsprodukten des Benzols tritt Stellungsisomerie auf.

Die Dihydroxybenzole sind feste Stoffe. 1,2-Dihydroxybenzol und 1,4-Dihydroxybenzol sind Reduktionsmittel. Beide werden als fotografische Entwickler verwendet.

Vergleichende Betrachtung von Alkoholen und Phenolen

28

Alkohole und Phenole sind Hydroxylderivate von Kohlenwasserstoffen. Beide Stoffgruppen zeigen in mancher Beziehung Ähnlichkeiten, wie aus dem nachstehenden Vergleich hervorgeht.

	Alkohole	Phenole
Kohlenwasserstoffrest, funktionelle Gruppe, Derivate	kettenförmig Hydroxylgruppe Alkoholate	aromatisch Hydroxylgruppe Phenolate

Die Bildung von salzartigen Verbindungen ist eine wichtige Eigenschaft von Alkoholen und Phenolen. Die Substitution von Wasserstoff durch Metall läßt auf Übereinstimmung im chemischen Verhalten beider Stoffe schließen. In den Reaktionsbedingungen bestehen jedoch deutliche Unterschiede zwischen Alkoholen und Phenolen.

Das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe in Phenolen reagiert schon mit verdünnten Lösungen von Alkalimetallhydroxiden unter Salzbildung. Das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe in Alkoholen läßt sich im allgemeinen nur durch Reaktion mit Alkalimetallen oder mit festen Alkalimetallhydroxiden abspalten. In der Hydroxylgruppe der Alkohole ist das Wasserstoffatom fester als in der Hydroxylgruppe der Phenole gebunden. Phenole sind deshalb stärker sauer als Alkohole. ② ③

- ① Welche stellungsisomeren Verbindungen sind beim Dichlorbenzol möglich?
- ② Welche Ionen liegen in einer wäßrigen Lösung von Natriumphenolat vor?
- ③ Formulieren Sie die Umsetzung zwischen Kaliumhydroxid und Äthanol als Reaktionsgleichung!

Die Eigenschaften der Alkohole und Phenole werden nicht allein durch die funktionelle Gruppe bestimmt. Auf die Eigenschaften der Verbindungen hat auch der Kohlenwasserstoffrest Einfluß.

- Der aromatische Kohlenwasserstoffrest verstärkt den Säurecharakter der Hydroxylgruppe in den Phenolen.

Aldehyde

29

Aldehyde sind Derivate von Kohlenwasserstoffen, die als funktionelle Gruppe die **Aldehydgruppe** —CHO enthalten. Das Sauerstoffatom dieser Gruppe ist im Unterschied zur Hydroxylgruppe mit einer Doppelbindung an Kohlenstoff gebunden. In der allgemeinen Formel



steht R für einen kettenförmigen, aromatischen oder anderen zyklischen Kohlenwasserstoffrest.

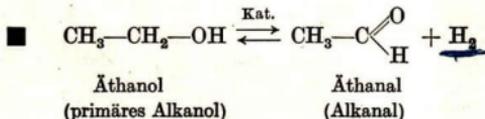
Leiten sich Aldehyde von Alkanen ab, so werden sie als **Alkanale** bezeichnet.

Alkanale

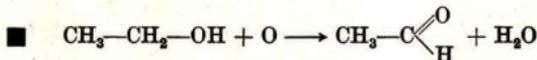
29

▼ Eine glühende Kupferdrahtspirale wird in Äthanol dämpfe getaucht.

Alkanale entstehen durch Dehydrierung primärer Alkanole (Experiment 29).



Die Umwandlung von primären Alkanolen zu Alkanalen kann auch durch Einwirkung von Oxydationsmitteln erfolgen.



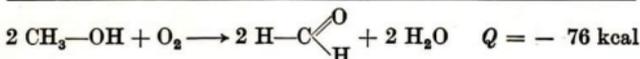
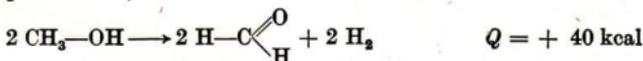
- ① Bilden Sie die Namen der Verbindungen mit folgenden Formeln:
C₂H₅—CHO, H—CHO, C₄H₉—CHO!
- ② Stellen Sie die Strukturformeln und die Summenformeln für folgende Verbindungen auf:
Äthanal, Butanal, Hexanal!
- ③ Welcher Wert muß für *n* in die allgemeine Gleichung eingesetzt werden, um die Formel für Methanal zu erhalten?
- ④ Nennen Sie Beispiele für die Hydrierung und Dehydrierung organischer Verbindungen!
- ⑤ Begründen Sie, warum die Umwandlung von Kupfer-, Silber- und Manganverbindungen durch Alkanale eine Reduktion ist!
- ⑥ Welche Unterschiede stellen Sie bei der Reduktion von Fehlingscher Lösung durch Methanal beziehungsweise Äthanal fest?
- ⑦ Wieviel Gramm Methanal werden durch Dehydrierung von 8 g Methanol gebildet?
- ⑧ Wieviel Prozent beträgt die Ausbeute, wenn aus 96 t Methanol 81 t Methanal erzeugt werden?
- ⑨ Wieviel Gramm wiegen 28 l Methanal (Normzustand)?

Einige Vertreter der Aldehyde

30

Methanal (Formaldehyd)

Methanal H—CHO wird hergestellt, indem man ein Gemisch von Methanol-dämpfen und Luft über erhitztes Kupfer oder Silber als Katalysator leitet (Experiment 29):



Die Luftzufuhr wird so gesteuert, daß die Reaktionstemperatur von 600 °C gerade aufrecht erhalten wird. Die Methanalbildung verläuft daher ohne Energiezufuhr von außen. Methanal wird in unserer Republik im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ hergestellt. ⑦ ⑧

► Methanal entsteht aus Methanol durch Dehydrierung.

Methanal ist ein stechend riechendes, farbloses Gas, das sich in Wasser leicht löst. Es kommt als 35...40% ige wäßrige Lösung unter der Bezeichnung Formalin in den Handel. ⑨

Methanal ist sehr reaktionsfähig. Es reagiert mit Eiweiß und greift aus diesem Grund Fäulnis- und Krankheitserreger an. Methanal wird deshalb zur Raum-

desinfektion, in Form von Tabletten zur Mund- und Rachendesinfektion und zur Konservierung anatomischer Präparate verwendet. Methanal wird auch bei vielen chemisch-technischen Prozessen benötigt. Einige Gruppen von Plasten, zum Beispiel die Phenoplaste, werden unter Verwendung von Methanal hergestellt. ①

Äthanal (Azetaldehyd)

In der Versuchsanordnung nach Abbildung 29 wird Äthin entwickelt, gereinigt und durch die Katalysatorlösung geleitet, deren Temperatur 75 ... 80 °C betragen muß. Eine Violettfärbung in der letzten Waschflasche zeigt die Aldehydbildung an.

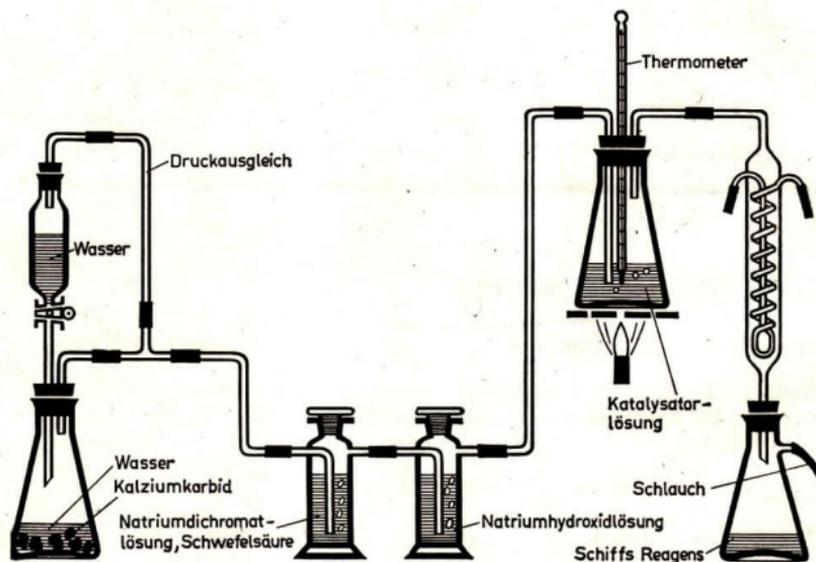
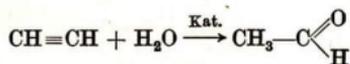


Abb. 29
Katalytische Reaktion von Äthin mit Wasser

Äthanal $\text{CH}_3\text{—CHO}$ entsteht, wenn Äthin in Gegenwart von Katalysatoren mit Wasser reagiert (Experiment 33).



Äthin

Äthanal

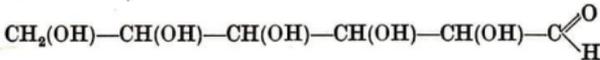
Diese Additionsreaktion ist die Grundlage eines technischen Verfahrens, das im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, durchgeführt wird. ② ③

▶ Äthanal wird aus Äthin durch katalytische Wasseranlagerung hergestellt.

- ① Methanal neigt zur Polymerisation. Begründen Sie diese Eigenschaft aus der Struktur des Methanals!
- ② Welche Menge Wasser wird zur Umwandlung von 33,6 l Äthin (Normzustand) in Äthanal verbraucht?
- ③ Erläutern Sie die Synthese des Äthanals ausgehend vom Rohstoff Kohle!
- ④ Welche Stoffe entstehen bei der alkoholischen Gärung aus Glukose?
- ⑤ Aus welcher Verbindung kann Benzaldehyd durch Dehydrierung entstehen?

Glukose (Traubenzucker)

Glukose $C_6H_{12}O_6$ gehört zu den Verbindungen, in denen verschiedene funktionelle Gruppen nebeneinander vorliegen. Die vereinfachte Strukturformel für Glukose lautet:



Diese Verbindung enthält die Gruppe $-CHO$, also die funktionelle Gruppe der Aldehyde. Da außerdem noch Hydroxylgruppen vorhanden und die Kohlenstoffatome nur durch Einfachbindungen miteinander verknüpft sind, ist Glukose ein Beispiel für ein Hydroxyalkanal.

Neben der kettenförmigen Anordnung der Kohlenstoffatome ist noch eine Ringform des Glukosemoleküls bekannt. Mit Glukose sind daher nicht alle Reaktionen der Aldehyde möglich.

Glukose ist ein weißes, geruchloses, süß schmeckendes Pulver, das sich leicht in Wasser löst und reduzierend wirkt.

Glukose kommt in den meisten süßen Früchten und anderen Pflanzenteilen, ferner im Blut und im Honig vor. Sie entsteht als Stoffwechselprodukt im menschlichen und tierischen Körper sowie in den Pflanzen. ④

Aromatische Aldehyde

34



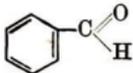
Ammoniakalische Silbernitratlösung wird mit wenig Natriumhydroxidlösung, dann mit Benzaldehyd versetzt und erwärmt.

35



Benzaldehyd wird unter Schütteln mit etwa der doppelten Menge gesättigter Natriumhydrogensulfidlösung versetzt.

Der einfachste aromatische Aldehyd ist der Benzaldehyd C_6H_5-CHO . ⑤

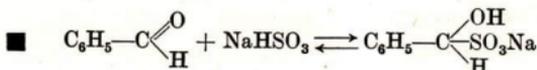


Er kommt in bitteren Mandeln und den Kernen von Aprikosen, Pfirsichen und anderen pflanzlichen Produkten vor, denen er den charakteristischen Bittermandelgeruch verleiht. Aus diesem Grund bezeichnet man Benzaldehyd auch als echtes

Bittermandelöl. Benzaldehyd ist eine farblose, ölige Flüssigkeit, die sich in Wasser nur wenig löst.

Benzaldehyd enthält die gleiche funktionelle Gruppe wie die Alkanale, wodurch Ähnlichkeiten im chemischen Verhalten der genannten Stoffe bedingt sind. Benzaldehyd reduziert in gleicher Weise wie die Alkanale ammoniakalische Silbernitratlösung (Experiment 34).

Ebenso wie die Alkanale addiert Benzaldehyd verschiedene Stoffe, zum Beispiel Natriumhydrogensulfit. ①



Das bei dieser Reaktion entstehende Additionsprodukt fällt in Form farbloser Kristalle aus. Die Additionsprodukte werden durch Säuren oder Natriumcarbonat leicht gespalten, so daß diese Reaktionen als Reinigungsverfahren für Aldehyde geeignet sind (Experiment 35).

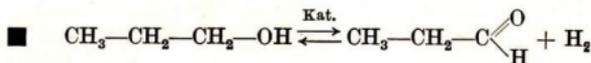
Bei einigen Reaktionen verhält sich Benzaldehyd jedoch anders als die Alkanale. So wird Fehlingsche Lösung durch Benzaldehyd nicht reduziert. Die Ursache liegt in dem Einfluß, den der aromatische Kohlenwasserstoffrest C_6H_5- auf die Gruppe $-\text{CHO}$ ausübt. Wir erkennen auch in diesem Fall, daß es falsch wäre, die Eigenschaften der funktionellen Gruppe $-\text{CHO}$ einfach auf die Verbindung zu übertragen. Die Eigenschaften werden von der funktionellen Gruppe und vom Kohlenwasserstoffrest bestimmt und können daher nur im Zusammenhang betrachtet werden.

► Benzaldehyd $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CHO}$ zeigt im allgemeinen die Reaktionen der Alkanale. Bei einigen Umsetzungen treten Unterschiede zwischen kettenförmigen und aromatischen Aldehyden auf.

Ketone

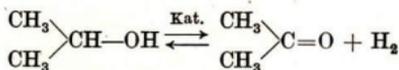
31

Bei der Oxydation beziehungsweise Dehydrierung primärer Alkanole entstehen Verbindungen mit der funktionellen Gruppe $-\text{CHO}$, die Alkanale. Bei der Oxydation (Dehydrierung) der sekundären Alkanole entstehen Stoffe mit einer anderen funktionellen Gruppe.



Propanol-(1)
(primäres Alkanol)

Propanal



Propanol-(2)

Propanon

(sekundäres Alkanol)

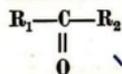
Bei der Dehydrierung sekundärer Alkanole werden Verbindungen gebildet, die

- ① Weshalb ist die Umsetzung des Benzaldehyds mit Natriumhydrogensulfid eine Additionsreaktion?
- ② Welche Zusammensetzung müßte ein aromatisches Keton besitzen?
- ③ Welcher Stoff entsteht durch Hydrierung von Propanon?
- ④ Bilden Sie den Namen für die Verbindung mit der Formel $C_5H_7-CO-C_2H_5$! Stellen Sie die Formel für Pentanon-(3) auf!

zu den **Ketonen** gehören. Sie enthalten als binnenständige funktionelle Gruppe die **Oxogruppe** (Ketogruppe)



Die Oxogruppe ist auch in den Aldehyden, jedoch dort immer endständig, vorhanden. Für die Ketone kann man die allgemeine Formel



aufstellen, wobei R_1 und R_2 Kohlenwasserstoffreste verschiedener Zusammensetzung darstellen können.

► **Ketone sind Verbindungen mit einer Oxogruppe** >C=O zwischen zwei Kohlenwasserstoffresten.

Alkanone

Ketone, die sich von den Alkanen ableiten und demnach als Kohlenwasserstoffreste zwei Alkylreste enthalten, heißen **Alkanone**. ②

Alkanone und Alkanale enthalten Alkylreste und die gleiche Gruppe >CO . Sie zeigen daher bei Additionsreaktionen ein ähnliches chemisches Verhalten. Alkanone wirken aber nicht reduzierend, da ihnen das Wasserstoffatom der Aldehydgruppe $-\text{CHO}$ fehlt. ③

Die Namen der Alkanone werden aus dem Namen des Kohlenwasserstoffs mit der gleichen Anzahl von Kohlenstoffatomen und der Endung „on“ gebildet. Vom Pentanon an muß die Stellung der Oxogruppe im Namen durch nachgestellte, in Klammern gesetzte arabische Ziffern mit Bindestrich angegeben werden. ④

Propanon (Azeton, Dimethylketon)

36

▼

Propanon wird auf Mischbarkeit mit Wasser und Äthanol untersucht.

37

▼

Pflanzenöl und Maschinenöl werden mit Propanon geschüttelt.

Das wichtigste Alkanon ist das **Propanon** $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$. Es ist eine wasserklare Flüssigkeit, die in reinem Zustand erfrischend riecht.

Propanon verdampft leicht und ist feuergefährlich. Es mischt sich mit Wasser

und Äthanol und ist ein gutes Lösungsmittel für Fette und Mineralöle (Experimente 36 und 37). ①

Zur Herstellung von Propanon benutzt man ein petrochemisches Verfahren, das von Benzol und Propen ausgeht. Es ist das bereits erläuterte Kumolverfahren (S. 62). ②

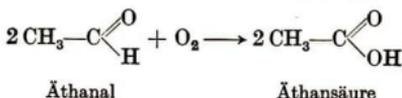
► Propanon wird nach dem Kumolverfahren aus Propen und Benzol hergestellt.

Propanon dient als Ausgangsstoff für chemisch-technische Verfahren, als Lösungsmittel, Quellungsmittel für Zelluloid in der Filmindustrie und für die Herstellung von rauchlosem Pulver.

Karbonsäuren

32

Durch Oxydation von Aldehyden entstehen Verbindungen mit der funktionellen Gruppe —COOH , der **Karboxylgruppe**:



Verbindungen, die aus einem Kohlenwasserstoffrest und einer Karboxylgruppe —COOH zusammengesetzt sind, heißen **Monokarbonsäuren**. Sie haben die allgemeine Formel R—COOH .

Monokarbonsäuren, die sich von den Alkanen ableiten, werden als **Alkansäuren** bezeichnet.

Alkansäuren

38



Eine glühende Kupferdrahtspirale wird in Äthanal-dämpfen getaucht.

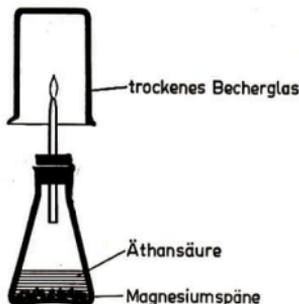
39



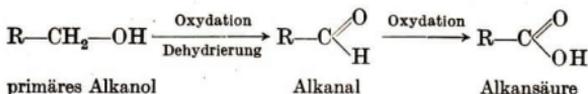
Magnesium, Eisenfeil- und Aluminiumspäne werden mit 10%iger Äthansäure übergossen. Das entstehende Gas wird entzündet (Knallgasprobe). Über die Flamme hält man ein trockenes Becherglas (Abb. 30).

Abb. 30

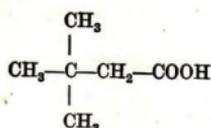
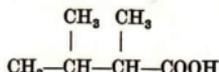
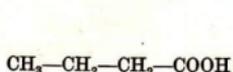
Reaktion von Äthansäure mit unedlen Metallen



Alkansäuren sind die Oxydationsprodukte von Alkanalen beziehungsweise von primären Alkanolen (Experiment 38):



- ① Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Propanon zu Kohlendioxid und Wasser auf!
- ② Erläutern Sie die Herstellung von Propanon nach dem Kumolverfahren an Hand von Reaktionsgleichungen!
- ③ Stellen Sie für die Bildung von Eisen(II)-äthanat und Aluminiumäthanat die Ionengleichungen auf!
- ④ Ist die Darstellung von Magnesiumäthanat (/ Experiment 39) eine Redoxreaktion?
- ⑤ Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Äthansäure mit Kupfer(II)-oxid auf!
- ⑥ Bilden Sie die Namen folgender Verbindungen:



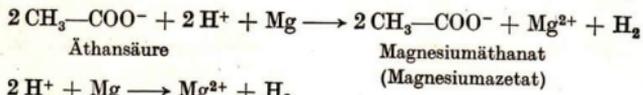
Beachten Sie bei der Namensbildung, daß das Kohlenstoffatom der Karboxylgruppe immer die Nummer 1 erhält!

► Alkansäuren sind kettenförmige gesättigte Monokarbonsäuren. Sie entstehen aus primären Alkanolen beziehungsweise aus Alkanalen durch Dehydrierung oder Oxydation.

In wäßriger Lösung dissoziieren die Alkansäuren und reagieren sauer.



Unedle Metalle reagieren mit Alkansäuren unter Salzbildung (Experiment 39):



► Alkansäuren sind schwache Säuren. Sie können in Wasserstoff-Ionen und Säurerest-Ionen dissoziieren. ③ ④ ⑤

Die Namen der Alkansäuren werden aus dem Namen des Kohlenwasserstoffs mit der gleichen Anzahl von Kohlenstoffatomen und der Endung „säure“ gebildet. Die Namen für die Salze der Alkansäuren setzen sich in entsprechender Weise aus den Namen des Kohlenwasserstoffs mit der gleichen Anzahl von Kohlenstoffatomen und der Endung „at“ zusammen. Überwiegend sind jedoch ältere Bezeichnungen gebräuchlich: ⑥

■ Säuren: Methansäure	H---COOH	Salze: Methanate (Formiate)
Äthansäure	CH ₃ ---COOH	Äthanate (Azetate)
Propansäure	C ₂ H ₅ ---COOH	Propanate (Propionate)
Butansäure	C ₃ H ₇ ---COOH	Butanate (Butyrate)

Die Alkansäuren mit unverzweigtem Kohlenwasserstoffrest bilden eine homologe Reihe. Sie haben die allgemeine Formel $C_nH_{2n+1}-COOH$ ($n \geq 0$). Mit zunehmender Molekülgröße ändern sich die Eigenschaften der einzelnen Glieder der homologen Reihe. Die niedrigmolekularen Alkansäuren sind wasserlöslich. Mit steigender Molekülmasse der Alkansäuren nimmt die Wasserlöslichkeit ab, in den Molekülen dieser Säuren überwiegt der Einfluß des Alkylrestes.

Einige Vertreter der Alkansäuren

33

Methansäure (Ameisensäure)

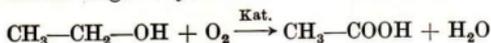
Methansäure $HCOOH$ kommt in den Giftdrüsen der Ameisen und Bienen und in den Brennhaaren der Brennessel vor. Sie ist eine farblose Flüssigkeit, die stechend riecht, stark ätzend wirkt und auf der Haut Blasen erzeugt.

Äthansäure (Essigsäure)

40
▼

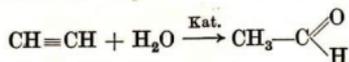
Natriumäthanat wird mit konzentrierter Schwefelsäure übergossen, das Gemisch leicht erwärmt. Der Geruch der entweichenden Dämpfe wird geprüft.

Die Äthansäure CH_3-COOH ist die wichtigste der niedrigmolekularen Alkansäuren. Sie wird vorwiegend nach zwei Verfahren hergestellt. Das eine Verfahren, das schon seit Jahrtausenden bekannt ist, beruht auf der Essigsäuregärung äthanolhaltiger Flüssigkeiten. Hierbei handelt es sich um eine katalytisch beschleunigte Oxydation von Äthanol zu Äthansäure.



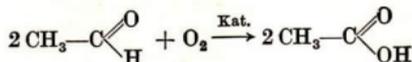
Als Oxydationsmittel dient der Sauerstoff der Luft. Als Katalysatoren wirken Enzyme, die von Essigsäurebakterien erzeugt werden. Die gebildete Äthansäure ist im günstigsten Fall etwa 14% ig, da die Bakterien nur bis zu dieser Säurekonzentration lebensfähig sind. ① ②

Das wichtigste Herstellungsverfahren ist die Äthansäuresynthese, die in unserer Republik im VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, durchgeführt wird. Man geht dabei vom Äthin aus und bildet durch katalytische Anlagerung von Wasser Äthanal. Das Äthanal wird dann katalytisch mit Luft zu Äthansäure oxydiert.



Äthin

Äthanal



Äthanal

Äthansäure

Die entstandene rohe Säure wird durch Destillation gereinigt. ③
Äthansäure wurde erstmalig Mitte des vorigen Jahrhunderts von dem deutschen

- ① Wieviel Äthansäure entsteht theoretisch bei der Essiggärung von 23 kg 10%iger Äthanol-
lösung?
- ② Wie hoch ist die Ausbeute in Masseprozenten, wenn bei der Essiggärung aus 6,9 kg Äthanol
8,1 kg Äthansäure erzeugt werden?
- ③ Welche Menge an Äthansäure kann theoretisch erzeugt werden, wenn 33600 m³ Äthin (Norm-
zustand) umgesetzt werden?

Chemiker HERMANN KOLBE, einem Schüler WÖHLERS, synthetisch hergestellt. KOLBE konnte damit die Forschungsergebnisse WÖHLERS erneut bestätigen (S.11).

▶ Äthansäure wird synthetisch aus Äthin oder durch Gärung äthanolhaltiger Flüssigkeiten hergestellt.

Äthansäure ist wie alle niedrigmolekularen Alkansäuren eine leichtflüchtige Verbindung und kann daher durch schwerer flüchtige Säuren aus ihren Salzen verdrängt werden (Experiment 40).

Wasserfreie Äthansäure ist eine stechend riechende, farblose, stark ätzende Flüssigkeit, die bereits bei 16,6 °C zu einer eisartigen Masse erstarrt. Aus diesem Grund wird wasserfreie Äthansäure als Eisessig bezeichnet. Der handelsübliche Speiseessig enthält 10 % Äthansäure. 40%ige Äthansäure wird für Speisezwecke unter der Bezeichnung Essigessenz verkauft. Essigessenz wirkt stark ätzend und darf nur in mindestens 4facher Verdünnung verwendet werden!

Wichtige Verwendungszwecke der Äthansäure sind in Abbildung 31 zusammengestellt.

Die Salze der Äthansäure heißen Äthanate (Azetate). Meist sind sie in Wasser gut löslich. Da Äthansäure mit unedlen Metallen unter Salzbildung reagiert

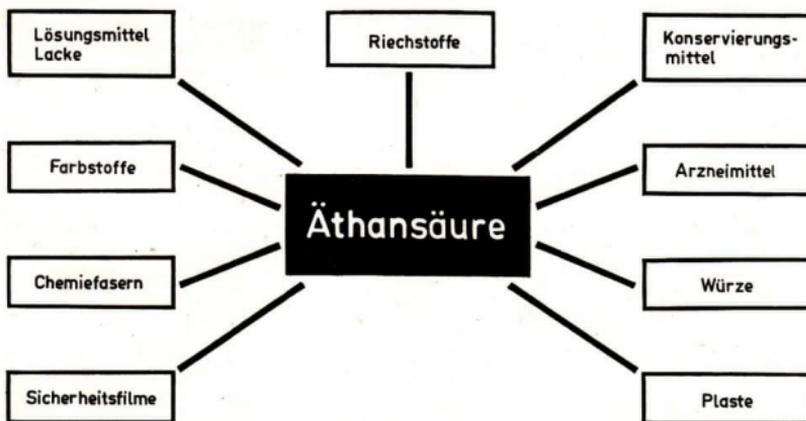


Abb. 31 Einige Verwendungszwecke von Äthansäure

(↗Experiment 39), dürfen mit Essig angesäuerte Speisen nicht in Metallgefäßen zubereitet oder aufbewahrt werden. Selbst Kupfer reagiert in Gegenwart von Luft mit Äthansäure unter Bildung verschiedener giftiger Kupfersalze, die man als Grünspan bezeichnet. ①

Höhermolekulare Alkansäuren

Zwei wichtige Alkansäuren mit verhältnismäßig langer Kohlenstoffkette sind:

Hexadekansäure (Palmitinsäure) $C_{16}H_{31}-COOH$

Oktadekansäure (Stearinsäure) $C_{17}H_{35}-COOH$

Beide Verbindungen sind wichtige Bausteine der pflanzlichen und tierischen Fette.

Hexadekansäure und Oktadekansäure sind weiße, geruchlose, bei Zimmertemperatur feste Stoffe, die in Wasser schwerlöslich sind. Dagegen lösen sie sich gut in organischen Lösungsmitteln.

Beide Alkansäuren haben große Bedeutung für die Herstellung von Seifen und Neutralwaschmitteln. Als Seifen bezeichnet man allgemein die Metallsalze höherer Monokarbonsäuren. Zur Reinigung werden die festen oder halbfesten Natrium- und Kaliumseifen verwendet.

Kettenförmige Karbonsäuren mit mehreren funktionellen Gruppen

34

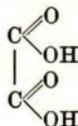
Äthandisäure (Oxalsäure)

41



Kalziumchloridlösung wird mit Ammoniumäthandiatlösung versetzt.

Alkanderivate mit zwei Karboxylgruppen im Molekül werden Alkandisäuren genannt. Sie gehören zu den Dikarbonsäuren. Alle Alkandisäuren sind feste Stoffe, die gut kristallisieren. Der einfachste Vertreter ist die Äthandisäure (Oxalsäure) $(COOH)_2$:



Äthandisäure (Oxalsäure) ist ein weißer, geruchloser, wasserlöslicher Stoff, der aus Sauerklee isoliert werden kann und 1824 erstmalig von WÖHLER synthetisch dargestellt wurde. Diese Synthese hatte Bedeutung für die Entwicklung der organischen Chemie (↗ S. 10). ② ③

Die Salze der Äthandisäure heißen Äthandiate (Oxalate). Die Alkalisalze der Äthandisäure sind in Wasser leichtlöslich. Die geringe Löslichkeit des Kalziumäthandiats wird in der chemischen Analyse sowohl zur Fällung von Äthandisäure als auch zum Nachweis von Kalzium-Ionen benutzt (Experiment 41). ④ ⑤ ⑥

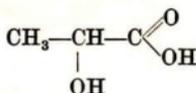
- ① Welche Mengen 40%iger Äthansäure und Wasser müssen gemischt werden, um 200 g einer 10%igen Äthansäure (Speiseessig) zu erhalten?
- ② Welche Ionen liegen in einer wäßrigen Lösung von Äthandisäure vor?
- ③ Erläutern Sie die Bedeutung der Oxalsäuresynthese durch WÖHLER für die Entwicklung der Wissenschaften im 19. Jahrhundert!
- ④ Schreiben Sie die Formeln von Kalzium-, Natrium-, Magnesium- und Ammoniumäthandiat auf!
- ⑤ Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Kalziumäthandiat auf!
- ⑥ Wieviel Kalziumäthandiat wird aus 50 g einer 5%igen Äthandisäurelösung durch Kalzium-Ionen ausgefällt?
- ⑦ Berechnen Sie den Sauerstoffgehalt der 2-Hydroxypropansäure in Prozenten!

2-Hydroxypropansäure (Milchsäure)

Organische Verbindungen, die sowohl Hydroxyl- als auch Karboxylgruppen enthalten, werden als **Hydroxysäuren** bezeichnet. Sie besitzen Eigenschaften von Hydroxylverbindungen (z. B. von Alkanolen) und von Karbonsäuren.

Eine wichtige Hydroxysäure ist die **2-Hydroxypropansäure (Milchsäure)**

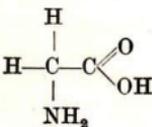
$\text{CH}_3\text{—CH(OH)—COOH}$: ⑦



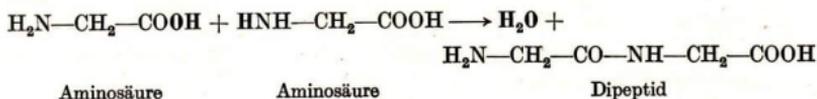
2-Hydroxypropansäure entsteht bei der Milchsäuregärung aus Zucker durch Einwirkung von Enzymen, die von Milchsäurebakterien gebildet werden. Sie kommt in saurer Milch, in Sauerkraut, in sauren Gurken und im Silofutter vor. 2-Hydroxypropansäure wirkt schon bei einer Konzentration von 1% hemmend auf die Lebensvorgänge vieler Bakterien und ist deshalb ein gutes Konservierungsmittel für Gemüse und Futterpflanzen. Im menschlichen und tierischen Organismus entsteht 2-Hydroxypropansäure durch Abbau von Glukose (Traubenzucker) bei der Muskelarbeit.

Aminoäthansäure (Glykokoll, Glyzin)

Karbonsäuren, die außer der Karboxylgruppe noch die Aminogruppe —NH_2 im Molekül enthalten, heißen **Aminosäuren**. Der einfachste Vertreter ist die Aminoäthansäure (Aminoessigsäure) $\text{H}_2\text{N—CH}_2\text{—COOH}$:



Aminoäthansäure ist ein Baustein der Eiweiße. Die Aminogruppe eines Aminosäuremoleküls kann mit der Carboxylgruppe eines zweiten Aminosäuremoleküls reagieren. Dabei entsteht unter Wasserabspaltung ein **Dipeptid**:



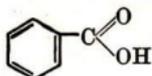
Die Peptidbildung ist aber nicht nur auf zwei Aminosäuremoleküle beschränkt. Es können sich auch mehrere Aminosäuremoleküle miteinander verbinden. Die entstehenden Verbindungen werden als **Polypeptide** bezeichnet. Durch weitere Verknüpfung von Polypeptiden entstehen hochmolekulare Verbindungen, die Eiweiße. ①

Aromatische Karbonsäuren

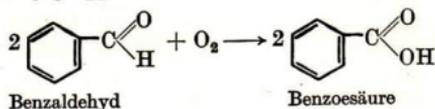
35

Benzoessäure

Die einfachste aromatische Karbonsäure ist die **Benzoessäure** $\text{C}_6\text{H}_5-\text{COOH}$.

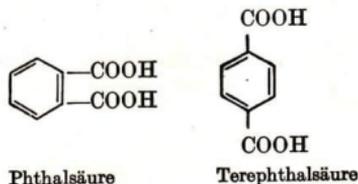


Sie leitet sich vom Benzol durch Ersatz eines Wasserstoffatoms durch eine Carboxylgruppe ab. Benzoessäure entsteht durch Oxydation von Benzaldehyd. ② ③



Phthalsäure, Terephthalsäure

Es gibt drei stellungsisomere aromatische Dikarbonsäuren $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$, von denen zwei praktische Bedeutung haben:

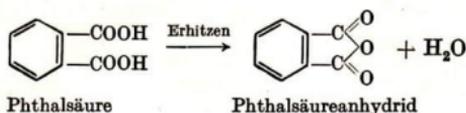


Phthalsäure

Terephthalsäure

Bei der **Phthalsäure** befinden sich die beiden Carboxylgruppen in Nachbarstellung. Beim Erhitzen entsteht durch Wasserabspaltung **Phthalsäureanhydrid**. ④ ⑤

- ① Stellen Sie die Formel eines Tripeptids auf, das aus Aminoäthansäure entstanden ist!
- ② Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden zur Umwandlung von 53 g Benzaldehyd zu Benzoesäure benötigt?
- ③ Wieviel Gramm 10% ige Natriumhydroxidlösung müssen zur Neutralisation von 30,5 g Benzoesäure zugesetzt werden?
- ④ Vergleichen Sie die Zusammensetzung von Säureanhydriden anorganischer und organischer Säuren! (/ Chemie in Übersichten, S. 31)
- ⑤ Welche Menge Wasser wird abgespalten, wenn 83 g Phthalsäure vollständig zum Anhydrid umgewandelt werden?



Die **Terephthalsäure** besitzt eine andere Struktur als die Phthalsäure und zeigt daher ein anderes chemisches Verhalten. So bildet sie beim Erhitzen kein Anhydrid. Terephthalsäure wird vor allem zur Herstellung von Polyestern verwendet. Polyester sind wichtige Plaste und Chemiefasern.

Am Beispiel der Phthalsäure und Terephthalsäure erkennen wir erneut, daß unterschiedliche Strukturen verschiedene Eigenschaften der betreffenden Stoffe zur Folge haben.

Vergleich von Sauerstoffderivaten der Kohlenwasserstoffe 36

In den Derivaten von Kohlenwasserstoffen tritt Sauerstoff in verschiedenen funktionellen Gruppen auf:

Hydroxylgruppe —OH

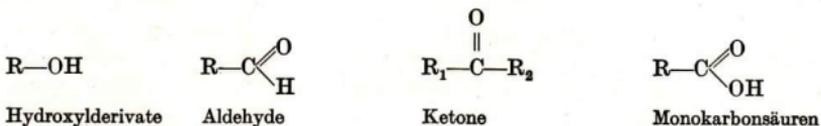
Aldehydgruppe $\begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—} \\ \text{H} \end{array}$

Karboxylgruppe $\begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—} \\ \text{OH} \end{array}$

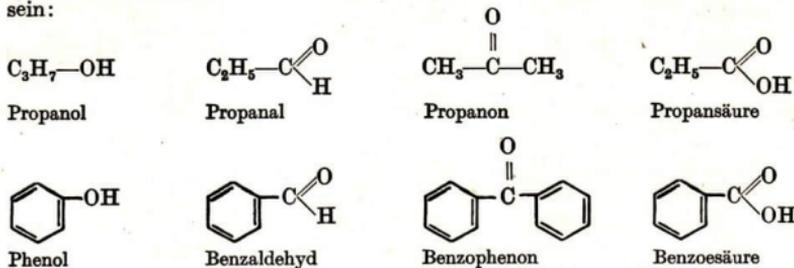
Oxogruppe $\begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{>C=O} \end{array}$

Diese funktionellen Gruppen sind mit verschiedenen Kohlenwasserstoffresten verknüpft. Dadurch ergeben sich mehrere Reihen sauerstoffhaltiger organischer Verbindungen.

Für die Sauerstoffderivate der Kohlenwasserstoffe gelten folgende allgemeine Formeln:



Die Kohlenwasserstoffreste können sowohl kettenförmig als auch aromatisch sein:



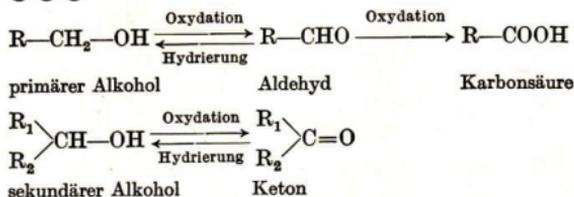
In verschiedenen Sauerstoffderivaten sind übereinstimmende Strukturmerkmale festzustellen. Die betreffenden Verbindungen müssen daher ähnliche chemische Eigenschaften aufweisen. So enthalten Alkohole, Phenole und Karbonsäuren Hydroxylgruppen. Das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe ist in allen drei Stoffgruppen durch Metall ersetzbar. Der saure Charakter nimmt in der Reihenfolge Alkanole-Phenole-Karbonsäuren zu. ① ②

Alkohole, Phenole und Karbonsäuren besitzen Hydroxylgruppen mit unterschiedlichem saurem Charakter.

Die Oxogruppe tritt in den Molekülen von Aldehyden, Ketonen und Karbonsäuren auf. Durch Hydrierung (Additionsreaktion) können diese Verbindungen in andere Sauerstoffderivate umgewandelt werden. ③ ④

Aldehyde und Ketone zeigen infolge der gemeinsamen Oxogruppe Additionsreaktionen, bei Karbonsäuren ist das Additionsvermögen nur gering ausgeprägt.

Die chemischen Eigenschaften einer Verbindung sind von der Anordnung der funktionellen Gruppen im Molekül abhängig. Deshalb entstehen durch Oxydation von primären und sekundären Alkoholen unterschiedliche Reaktionsprodukte: ⑤ ⑥ ⑦



Durch Oxydation steigt der prozentuale Sauerstoffanteil einer Verbindung, durch Reduktion verringert er sich. Von den behandelten Sauerstoffderivaten mit gleicher Kohlenstoffanzahl sind die Alkohole die sauerstoffärmsten Verbindungen. ⑧

Die Eigenschaften einer Verbindung resultieren aus dem Zusammenwirken von funktioneller Gruppe und Kohlenwasserstoffrest. Strukturunterschiede im Kohlenwasserstoffrest wirken sich aber weniger auf die Eigenschaften der Stoffe aus als unterschiedliche funktionelle Gruppen.

- ① Wie kann man Alkoholate, Phenolate und Salze der Karbonsäuren herstellen? Welche Rückschlüsse auf den Säurecharakter der organischen Ausgangsstoffe kann man aus den unterschiedlichen Reaktionsbedingungen, die für die Herstellung obiger Stoffe notwendig sind, ziehen?
- ② Wie wirkt sich die Anwesenheit mehrerer funktioneller Gruppen in den Molekülen von Alkoholen, Phenolen und Karbonsäuren auf den sauren Charakter aus?
- ③ Welche Verbindung entsteht durch Hydrierung von Benzaldehyd?
- ④ Begründen Sie, warum Alkanale und Alkanone teils ähnlich, teils verschieden reagieren!
- ⑤ Erläutern Sie an Hand von Reaktionsgleichungen das unterschiedliche Verhalten von Propanol-(1) und Propanol-(2) bei der Dehydrierung!
- ⑥ Wieviel Gramm Benzaldehyd werden theoretisch zur Bildung von 24,4 g Benzoesäure benötigt?
- ⑦ Kann Phenol zu Benzaldehyd oxydiert werden? Begründen Sie Ihre Antwort!
- ⑧ Berechnen Sie den prozentualen Anteil von Sauerstoff in Äthanol, Äthanal und Äthansäure und vergleichen Sie die erhaltenen Werte!
- ⑨ Welche Unterschiede bestehen zwischen einer Neutralisation und einer Veresterung?

Esterbildung und Verseifung

37

42



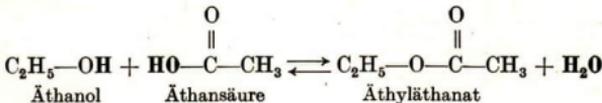
In zwei Rundkolben mit aufgesetzten Rückflußkühlern werden Äthanol und konzentrierte Äthansäure, in einen Kolben außerdem konzentrierte Schwefelsäure gegeben. Man läßt 20 Minuten sieden und gießt dann die Flüssigkeiten in Zylinder, die Wasser enthalten.

43



Äthyläthanat wird mit Natriumhydroxidlösung versetzt und erwärmt, bis der Geruch des Esters verschwunden ist.

Reagiert eine Säure mit einem Alkohol, so entsteht ein Ester. Bei der Esterbildung werden die Hydroxylgruppe der Säure und das Wasserstoffatom aus der Hydroxylgruppe des Alkohols abgetrennt. ⑨



Die Entstehung des Esters ist mit einer Abspaltung von Wasser verbunden. Die Vereinigung zweier Verbindungen unter Abspaltung einfach gebauter Stoffe wird als **Kondensation** bezeichnet.

► Ester entstehen durch Kondensation von Alkoholen mit Säuren.

Die Esterbildung ist eine Gleichgewichtsreaktion. Die Geschwindigkeit, mit der sich das Gleichgewicht einstellt, ist bei Zimmertemperatur sehr klein, sie nimmt

jedoch mit steigender Temperatur zu. Läßt man das Reaktionsgemisch siedend, so verläuft die Esterbildung mehr als hundertmal schneller als bei Zimmertemperatur. Fügt man kleine Mengen starker anorganischer Säuren (Salzsäure oder Schwefelsäure) hinzu, so wird die Einstellung des Gleichgewichts katalytisch beschleunigt.

Der entstandene Ester ist fast wasserunlöslich und scheidet sich als dünne Schicht auf dem Wasser ab (Experiment 42). Er besitzt einen angenehmen Geruch. Das zweite Stoffgemisch hat sich kaum verändert. Der stechende Geruch der Äthansäure ist geblieben und beweist, daß sich dieser Stoff nicht umgesetzt hat.

- Die Esterbildung ist eine Gleichgewichtsreaktion. Bei Temperaturerhöhung und Zugabe von Katalysatoren stellt sich das Gleichgewicht schneller ein.

Das Gleichgewicht kann auch im Sinne der Zerlegung eines Esters durch Wasser beeinflußt werden. Versetzt man zum Beispiel einen Ester mit verdünnter Natriumhydroxidlösung und erwärmt, so wird die entstandene Säure durch Neutralisation aus dem Reaktionsgemisch entfernt (Experiment 43). Dadurch ergibt sich eine Gleichgewichtsverschiebung; der Ester wird zerlegt. ①

Die Zerlegung eines Esters durch Wasser in Alkohol und Säure bezeichnet man als Verseifung.

- Verseifung ist die Umkehrung der Veresterung.

Ester anorganischer und organischer Säuren

38

Die Namen der Ester werden entsprechend den Namen der Salze dieser Säuren gebildet, wobei an Stelle des Metalls der Name des Kohlenwasserstoffrests im Alkohol genannt wird. In Tabelle 7 sind auch ältere Bezeichnungen angegeben.

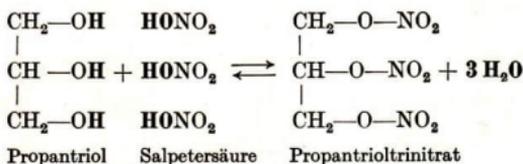
②

Tabelle 7 Ester

Formel	Name	ältere Bezeichnung
$(\text{CH}_3\text{O})_2\text{SO}_2$	Dimethylsulfat	Schwefelsäuredimethylester
$\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{NO}$	Äthylnitrit	Salpetrigsäureäthylester
$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$	Methyläthanat	Methylazetat Essigsäuremethylester
$\text{C}_2\text{H}_5-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$	Äthyläthanat	Äthylazetat Essigsäureäthylester
$\text{C}_5\text{H}_{11}-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$	Pentyläthanat	Amylazetat Essigsäureamylester
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{O}-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_5$	Phenylbenzoat	Benzoesäurephenylester

- ① Stellen Sie für die Esterverseifung durch Natriumhydroxidlösung die Reaktionsgleichung auf!
- ② Benennen Sie folgende Ester:
 $C_2H_5-O-CO-CH_3$ und $CH_3-O-CO-C_2H_7!$
- ③ Vergleichen Sie die Bindung der Gruppe $-NO_2$ im Propantrinitrat und im Nitrobenzol (↗ S. 40) und erläutern Sie die Strukturunterschiede von Nitroverbindungen und Salpetersäureestern!
- ④ Wieviel Äthanol wird zur Bildung von 44 g Äthyläthanat benötigt, wenn nur zwei Drittel des Äthanol verestert werden?

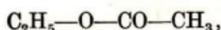
Die Ester anorganischer Säuren haben technische, biologische und medizinische Bedeutung. Besonders wichtig sind die Ester der Salpetersäure. Läßt man Salpetersäure auf Propantriol einwirken, so entsteht Propantrinitrat (Glyzeryltrinitrat).



Da es sich beim Propantrinitrat (Glyzeryltrinitrat) um einen Salpetersäureester handelt, ist die heute noch oft gebrauchte Bezeichnung „Nitroglycerin“ falsch und bezüglich der Struktur dieser Verbindung irreführend. ③

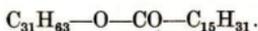
Propantrinitrat ist ein hochexplosibles Öl. Es wird zur Herstellung eines wichtigen Sprengstoffes, des Dynamits, verwendet.

Wichtige Alkansäureester sind die Fruchteter und die Wachse. Fruchteter sind Ester aus niedrigmolekularen Alkanolen und niedrigmolekularen Alkansäuren. Ein solcher Ester ist das Äthyläthanat



das aus Äthanol und Äthansäure entsteht. Die Fruchteter werden meist synthetisch hergestellt. Sie sind in Wasser schwerlöslich und besitzen einen angenehmen, fruchtartigen Geruch. Man verwendet sie als Backaroma und zur Limonadenherstellung. Außerdem dienen niedrigmolekulare Ester als Lösungsmittel für Klebstoffe und Lacke. ④

Wachse enthalten Ester aus höheren Alkanolen mit ebensolchen Alkansäuren. Es sind geruchlose, weiße bis gelbliche Stoffe. So enthält zum Beispiel das Bienenwachs den Ester



Die Wachse werden zur Herstellung von Schuhcrem, Bohnermassen, Polituren, Kerzen, Farbstiften und Schmierstoffen verwendet.

Fette und fette Öle sind Gemische von Estern des Propantriols (Glycerins) mit mittleren und höheren kettenförmigen Monokarbonsäuren. Sind diese Ester bei Zimmertemperatur fest, so nennt man sie Fette, sind sie flüssig, so spricht man von **fetten Ölen**.

Fette Öle haben eine grundlegend andere Zusammensetzung als die aus Kohlenwasserstoffen bestehenden Mineralöle und die ätherischen Öle, die verschiedenen Stoffgruppen angehören.

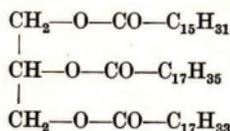
Die wichtigsten in den Fetten chemisch gebundenen Karbonsäuren sind: ①

Hexadekansäure (Palmitinsäure) $C_{15}H_{31}-COOH$

Oktadekansäure (Stearinsäure) $C_{17}H_{35}-COOH$

Oktadezensäure (Ölsäure) $C_{17}H_{33}-COOH$

Die natürlichen Fette und fetten Öle bestehen aus gemischten Propantriolestern sehr unterschiedlicher Zusammensetzung. Die nachstehende Verbindung ist ein Beispiel für einen solchen Ester. ②



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

Der Aggregatzustand der Fette bei Zimmertemperatur ist von der chemischen Zusammensetzung abhängig. Enthält ein Fett vorwiegend die Reste gesättigter Monokarbonsäuren, so ist es fest, enthält es überwiegend Reste ungesättigter Monokarbonsäuren, so ist es flüssig. Die festen pflanzlichen Fette (z. B. Kokosfett, Palmkernfett) und die Körperfette der Landtiere sind vor allem aus Resten der Hexadekansäure und Oktadekansäure aufgebaut. Die Pflanzenöle (z. B. Olivenöl, Erdnußöl, Rapsöl, Sojaöl) sowie Waltran und Fischöle enthalten dagegen überwiegend Reste von Ölsäure und anderen ungesättigten Monokarbonsäuren.

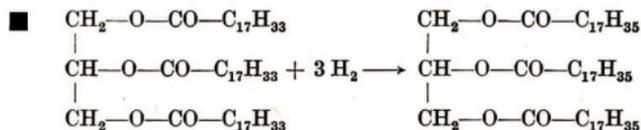
Die pflanzlichen und tierischen Fette und fetten Öle sind schwerlöslich in Wasser, dagegen löslich in vielen organischen Lösungsmitteln. Reine Fette sind geruchlos und geschmackfrei.

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

An festen Fetten besteht ein hoher Bedarf. Deshalb werden beträchtliche Mengen an fetten Ölen durch katalytische Hydrierung gehärtet.

In den fetten Ölen liegen hauptsächlich Propantriol Ester ungesättigter Monokarbonsäuren vor. Diese ungesättigten Monokarbonsäuren addieren Wasserstoff bei etwa 200 °C in Gegenwart von Katalysatoren (meist fein verteiltem Nickel), wobei die Doppelbindungen in den Kohlenwasserstoffresten in Einfachbindungen umgewandelt werden. ③

- ① Welche der angeführten Verbindungen sind gesättigte, welche ungesättigte Karbonsäuren?
- ② Stellen Sie für die Fette eine allgemeine Formel auf!
- ③ Wie kann man Mehrfachbindungen in den Kohlenwasserstoffresten von Karbonsäureerf nachweisen?



Die gehärteten Fette werden als Speisefestfett, zur Margarineherstellung und für technische Zwecke verwendet. Unsere Republik verfügt über eine bedeutende Fetthärtungsanlage im VEB Deutsches Hydrierwerk Rodleben.

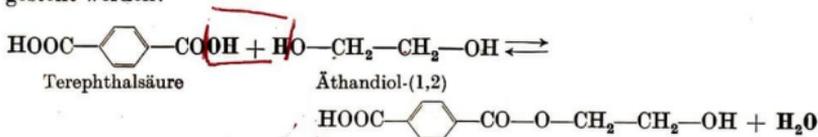
- Die Umwandlung von fetten Ölen zu festen Fetten durch katalytische Hydrierung wird als Fetthärtung bezeichnet.

Polykondensationsprodukte

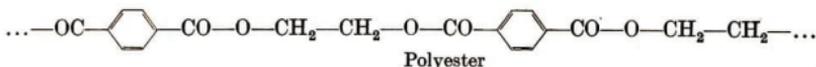
40

Reagieren Dikarbonsäuren mit mehrwertigen Alkoholen, so entstehen makromolekulare Verbindungen, die als **Polyester** bezeichnet werden. Polyester aus Terephthalsäure (S. 78) und Äthandiol-(1,2) (Glykol) haben als Plaste und Chemiefasern große Bedeutung erlangt.

Die Esterbildung zwischen beiden Stoffen kann durch folgende Gleichungen dargestellt werden:



Durch weitere Veresterung entstehen linear gebaute **Makromoleküle**.



Vereinigen sich viele Moleküle niedrigmolekularer Ausgangsstoffe unter Abspaltung niedrigmolekularer Verbindungen (z. B. von Wasser) zu makromolekularen Stoffen, so bezeichnet man diesen Reaktionstyp als **Polykondensation**.

Bei einer Polykondensation vereinigen sich mehrere Verbindungen unter Abspaltung niedrigmolekularer Nebenprodukte zu einem makromolekularen Stoff.

Polymerisation und Polykondensation sind wichtige Reaktionstypen zur Herstellung makromolekularer Stoffe. ① ②

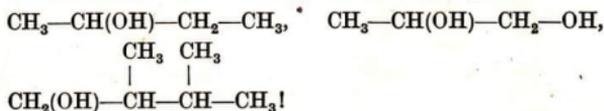
Die in unserer Republik auf Polyesterbasis hergestellte Chemiefaser heißt **Grisuten**. Diese Faserart besitzt ausgezeichnete Eigenschaften. Grisuten zeigt bessere Elastizität als Schafwolle, ist knitterfest, licht- und wetterbeständig, wirkt wärmeisolierend und zeigt gute Haltbarkeit für Bügelfalten und Plissee.

Weitere wichtige Polykondensationsprodukte sind die **Phenoplaste**. Sie entstehen durch Polykondensation von Phenolen mit Methanal unter Wasserabspaltung. Phenoplaste sind wichtige makromolekulare Werkstoffe, die in der Elektroindustrie, im Fahrzeugbau und in der Möbelindustrie verwendet werden.

Wiederholung

41

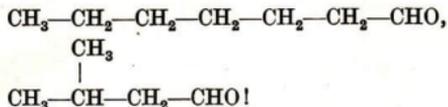
1. Geben Sie die Formeln folgender Alkanole an: Pentanol-(2), Butandiol-(1,2), 2,2-Dimethylpentanol-(3)!
2. Berechnen Sie die Methanolmenge, die bei der Synthese theoretisch aus 896 m³ Kohlenmonoxid (Normzustand) und der entsprechenden Menge Wasserstoff entsteht!
3. Erläutern Sie die Unterschiede zwischen anorganischen Basen und organischen Hydroxylverbindungen (Alkanolen)!
4. Weshalb darf Methanol im Handel nicht als „Methylalkohol“ bezeichnet werden?
5. Erläutern Sie, weshalb man die Alkanole als Derivate der Alkane bezeichnen kann!
6. Wieviel Glukose C₆H₁₂O₆ muß theoretisch vergoren werden, damit 92 kg Äthanol entstehen?
7. Wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) entstehen bei der vollständigen Verbrennung von 23 g Äthanol?
8. Wieviel Liter Äthin (Normzustand) werden zur Synthese von 184 kg Äthanol benötigt?
9. Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:



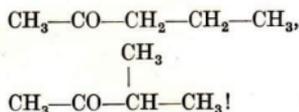
10. Weshalb unterscheidet sich ein Phenol in seinem chemischen Verhalten von den Alkanolen?
11. Wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) werden theoretisch gebraucht, um aus 11,6 kg einer 10%igen Natriumphenolatlösung das Phenol frei zu machen?
12. Wieviel Phenol entsteht aus 34,8 g Natriumphenolat?
13. Erklären Sie das chemische Verhalten der Alkanale aus der Struktur dieser Verbindungen!
14. Erläutern Sie den Begriff „Dehydrierung“ an Hand einer Reaktionsgleichung!
15. Begründen Sie das unterschiedliche chemische Verhalten von Methanol und Methanal aus der Struktur dieser Verbindungen!

- ① Erläutern Sie die Bildung von Polypeptiden aus Aminosäuren als Polykondensationsreaktion! (/ S. 78)
- ② Vergleichen Sie Polymerisation und Polykondensation miteinander! (/ S. 25)

16. Bilden Sie die Namen für folgende Verbindungen:



17. Schreiben Sie die Reaktionsgleichung für die Dehydrierung von $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—OH}$ auf und benennen Sie alle Stoffe dieser Umsetzung!
18. Wieviel Äthanol entsteht theoretisch bei der Hydrierung von 22 g Äthanal?
19. Erläutern Sie das Additionsvermögen des Benzaldehyds an Hand einer Reaktionsgleichung!
20. Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden zur Oxydation von 53 g Benzaldehyd benötigt?
21. Erläutern Sie das unterschiedliche Verhalten der primären und sekundären Alkanol^s bei der Oxydation an Hand von Reaktionsgleichungen!
22. Bilden Sie die Namen folgender Verbindungen:



23. Wieviel Liter Kohlendioxid (Normzustand) werden bei der vollständigen Verbrennung von 116 g Propanon gebildet?
24. Das bei der Verbrennung von Propanon entstehende Kohlendioxid wird durch Kalkwasser als Kalziumkarbonat gebunden. Wieviel Propanon wurde verbrannt, wenn 20 g Kalziumkarbonat gebildet wurden?
25. Stellen Sie die Formeln für 2,2-Dimethylpropansäure und 2-Methylbutansäure auf!
26. Erläutern Sie an Hand von Reaktionsgleichungen verschiedene Herstellungsverfahren für Äthansäure!
27. Vergleichen Sie die alkoholische Gärung mit der Essiggärung!
28. Wieviel Liter Sauerstoff (Normzustand) werden gebraucht, um 45 g Methanal zu Methansäure zu oxydieren?
29. Wieviel Kilogramm Äthansäure entstehen theoretisch aus 690 kg Äthanol?
30. Berechnen Sie die Menge 10%ige Äthansäure, die theoretisch zum Lösen von 32,7 g Zink benötigt wird!
31. Wieviel Liter Wasserstoff (Normzustand) entstehen, wenn 12,16 g Magnesium mit ausreichenden Mengen Äthansäure reagieren?
32. Wieviel Äthansäure entsteht, wenn 41 g Natriumäthanat (Natriumacetat) mit Schwefelsäure reagieren?
33. Wieviel Gramm 5%ige Äthansäure kann man aus 50 g 40%iger Äthansäure herstellen?

34. Erläutern Sie die Besonderheiten einer Gleichgewichtsreaktion am Beispiel der Bildung von Äthyläthanat!
35. Erläutern Sie den Begriff „Ester“ und nennen Sie Beispiele für Ester anorganischer und organischer Säuren!
36. Wieviel Gramm 10%ige Natriumhydroxidlösung sind notwendig, um die bei der Verseifung von 37 g Methyläthanat freiwerdende Äthansäure zu binden?
37. Nennen Sie Ester mit Formel und Namen, die zu den Fruchtestern gehören!
38. Erläutern Sie die Struktur der Fette!
39. Welchen Strukturunterschied weisen Fette und fette Öle auf?
40. Erklären Sie das Prinzip der Fetthärtung!
41. Stellen Sie die Formel eines Fettes auf, das im Molekül zwei Reste der Oktadekansäure und einen Rest der Hexadekansäure enthält!
42. Wir nehmen an, ein Fett würde in seiner durchschnittlichen Zusammensetzung der Formel des Esters auf Seite 84 entsprechen. Wieviel Propantriol entsteht theoretisch bei der Spaltung (Verseifung) von 430 kg dieses Fettes?

Prinzip von Le Chatelier-Braun bei chemisch-technischen Verfahren

42

In der chemischen Industrie werden chemische Reaktionen und physikalische Vorgänge genutzt, um Produkte für den industriellen und persönlichen Bedarf herzustellen. Viele dieser chemischen Reaktionen sind umkehrbar. Masse- und Energieumsatz von Gleichgewichtsreaktionen sind für einen hohen ökonomischen Nutzeffekt chemisch-technischer Verfahren von besonderer Bedeutung.

► Die Lage des chemischen Gleichgewichts bestimmt die maximale Ausbeute bei einer chemischen Reaktion.

Die folgenden Gleichgewichtsreaktionen sind Grundlage für wichtige chemisch-technische Verfahren.

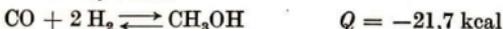
Ammoniaksynthese:



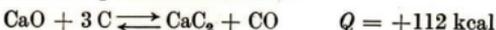
Oxydation von Schwefeldioxid:



Methanolsynthese:



Herstellung von Kalziumkarbid:



Das chemische Gleichgewicht kann durch äußere Bedingungen (Druck, Temperatur, Konzentration) verschoben werden. Die Abhängigkeit des Gleichgewichts von diesen Bedingungen ist im „Prinzip von LE CHATELIER-BRAUN“ formuliert:

► Wird auf ein System, das sich im Gleichgewicht befindet, durch Änderung der äußeren Bedingungen (Druck, Temperatur, Konzentration) ein Zwang ausgeübt, so verschiebt sich das Gleichgewicht derart, daß das System dem äußeren Zwang ausweicht.

Tabelle 8 auf Seite 90 enthält Beispiele für die Anwendung des Prinzips von LE CHATELIER-BRAUN auf chemisch-technische Verfahren.

Die verschiedenen Reaktionsbedingungen chemisch-technischer Verfahren haben auf die Konstruktion der Reaktionsapparate wesentlichen Einfluß.

Das Ammoniak- und Methanolgeleichgewicht kann durch Druckeinwirkung nach der Seite der gewünschten Reaktionsprodukte verschoben werden. Hochdruck-

Tabelle 8 Anwendung des Prinzips von LE CHATELIER-BRAUN bei chemisch-technischen Verfahren

Hauptprodukt der technischen Synthese	Besonderheiten der Hauptreaktion	Anwendung des Prinzips von LE CHATELIER-BRAUN	Reaktionsbedingungen
Ammoniak	unter Volumenabnahme verlaufende exotherme Gasreaktion	hoher Druck im Syntheseofen und Abscheidung des Endproduktes aus dem Kreislaufgas	250 ... 300 at 500 °C Katalysator
Schwefeltrioxid	unter Volumenabnahme verlaufende exotherme Gasreaktion	großer Überschuß von Sauerstoff (Luft) bei der Schwefeltrioxidbildung	normaler Druck 420 °C Katalysator
Methanol	unter Volumenabnahme verlaufende exotherme Gasreaktion	hoher Druck im Syntheseofen und Abscheidung des Endproduktes aus dem Kreislaufgas	200 at 380 °C Katalysator
Kalziumkarbid	in der Schmelze ablaufende stark endotherme Reaktion	Zufuhr großer Energiemengen und Entweichen von Kohlenmonoxid aus dem Reaktionsgemisch	2000 °C

reaktionen waren aber erst technisch durchführbar, als geeignete Werkstoffe zur Verfügung standen. ① ② ③

- ▶ **Apparate für Hochdruckreaktionen sind zylindrisch und starkwandig. Bis auf die Öffnungen zur Zuleitung und Ableitung sind sie allseitig geschlossen.**

Gleichgewichtsreaktionen, bei denen technisch wichtige Produkte in exothermer Reaktion entstehen, können durch niedrige Temperaturen begünstigt werden. Temperaturveränderungen beeinflussen auch die Reaktionsgeschwindigkeit (/ S. 92). Für die Einhaltung optimaler Temperaturbedingungen sind in den Reaktionsapparaten zur Ammoniak- und Methanolsynthese sowie zur Oxydation von Schwefeldioxid Einrichtungen zur Temperaturregulierung vorhanden. ④ ⑤

- ▶ **Zur Herstellung von Stoffen, die in exothermer Reaktion entstehen, ist Energiezufuhr im allgemeinen nicht erforderlich. Die Temperaturregulierung kann durch Wärmeaustausch zwischen Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten erfolgen.**

Bei Gleichgewichtsreaktionen steigert Temperaturerhöhung die Konzentration von Reaktionsprodukten, die in endothermer Reaktion entstehen. Deshalb müssen zur Karbidherstellung günstige Reaktionstemperaturen durch ständige Energiezufuhr erhalten werden. ⑥

- ▶ **Zur Herstellung von Stoffen, die in endothermer Reaktion entstehen, muß den Reaktionsapparaten ständig Energie zugeführt werden.**

- ① In welcher Weise wirkt sich Druckerhöhung auf die Lage des chemischen Gleichgewichts bei der Ammoniaksynthese aus?
Beantworten Sie diese Frage an Hand der Reaktionsgleichung mit Hilfe des Prinzips von LE CHATELIER-BRAUN!
- ② Welche Ähnlichkeiten sind bei der technischen Durchführung der Ammoniak- und Methanolsynthese festzustellen?
- ③ Warum ist bei der Schwefeltrioxidsynthese die Volumenabnahme bei Verwendung eines großen Luftüberschusses nur unbedeutend?
- ④ In welcher Weise verschiebt eine Temperatursteigerung das Gleichgewicht der Schwefeltrioxidsynthese?
- ⑤ Wie würde sich die Ammoniakausbeute ändern, wenn die Reaktionswärme, die bei der Synthese frei wird, nicht abgeführt würde?
- ⑥ Warum kann die Erzeugung von Kalziumkarbid in unserer Republik nicht beliebig gesteigert werden?
- ⑦ Erläutern Sie mit Hilfe des Prinzips von LE CHATELIER-BRAUN, warum bei der Ammoniak- und Methanolsynthese hohe Temperaturen die Ausbeute der Endprodukte stark vermindern!
- ⑧ Warum wird im Kreislauf des Synthesegases (↗ Chemie in Übersichten, S. 100) erst Ammoniak abgeschieden, ehe das Gas wieder mit dem Katalysator in Berührung gebracht wird?
- ⑨ In „Chemie in Übersichten“ (S. 95 ... 112) sind mehrere chemisch-technische Verfahren genannt, bei denen Katalysatoren zum Einsatz kommen. Stellen Sie diese Verfahren zusammen und führen Sie an, bei welchen Prozessen Gasreaktionen zugrunde liegen!

Chemische Gleichgewichtsreaktionen können durch Änderung der Konzentration einzelner Reaktionsteilnehmer beeinflusst werden. Durch höhere Konzentration an Sauerstoff wird die Ausbeute an Schwefeltrioxid bei der Oxydation von Schwefeldioxid erhöht. Die Entfernung von Kohlenmonoxid aus dem Reaktionsgemisch verschiebt das Karbidgleichgewicht zugunsten der Karbidentstehung.

- **Großtechnische Verfahren verfügen über Einrichtungen zur Veränderung der Konzentration von Reaktionspartnern.**

Einstellung des chemischen Gleichgewichts bei chemisch-technischen Verfahren

43

Für die Durchführung eines chemisch-technischen Verfahrens müssen solche Reaktionsbedingungen gewählt werden, die neben einer günstigen Lage des chemischen Gleichgewichtes auch dessen rasche Einstellung gewährleisten.

Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen wächst mit zunehmender Temperatur stark an. Noch wichtiger für die chemische Technik ist die Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit durch geeignete Katalysatoren. Da durch die Katalysatoren die Geschwindigkeit sowohl der Hinreaktion als auch der Rückreaktion

erhöht wird, üben die Katalysatoren keinen Einfluß auf die Lage des Gleichgewichts aus, sie verkürzen nur dessen Einstellzeit.

- ▶ **Die Reaktionsgeschwindigkeit steigt mit der Temperatur. Katalysatoren können ebenfalls die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen.**

Katalysatoren zeigen ihre volle Wirksamkeit häufig erst bei erhöhter Temperatur. Das ist bei exothermen Reaktionen von Nachteil. Höhere Temperaturen beschleunigen zwar die Reaktionsgeschwindigkeit (Einstellung des Gleichgewichtes), sie verschieben jedoch das chemische Gleichgewicht nach der Seite der Ausgangsstoffe.

Die Katalysatoren bei der Ammoniaksynthese erhöhen erst oberhalb 400 °C die Reaktionsgeschwindigkeit in ausreichendem Maße. Man ist deshalb gezwungen, bei etwa 500 °C zu arbeiten. Bei dieser Temperatur beträgt die Ausbeute an Ammoniak bei 1 at Druck nur noch etwa 0,1 Vol.-%. Diesen Nachteil muß man bei der Ammoniaksynthese durch hohen Druck ausgleichen. ⑦ ⑧ ⑨ (↗ S. 91)

- ▶ **Für die Wahl der Reaktionsbedingungen eines großtechnischen Prozesses sind die Lage des chemischen Gleichgewichtes und die Reaktionsgeschwindigkeiten von entscheidender Bedeutung.**

Schülerexperimente

Im folgenden werden ausführliche Anweisungen zur selbständigen Durchführung einiger Schülerexperimente gegeben.

Die einzelnen Aufgaben können nur erfolgreich gelöst werden, wenn man dabei schrittweise vorgeht. Die Anleitungen bestimmen die Reihenfolge der Schritte und die damit zusammenhängenden Tätigkeiten. Es ist deshalb unbedingt erforderlich, vor jedem Schritt erst die dazugehörenden Ausführungen genau zu lesen.

Bei einzelnen Schritten wird mit der Bezeichnung „Vorsicht“ auf Gefahren und Unfallquellen aufmerksam gemacht. Diese Hinweise sind sorgfältig zu beachten, damit Schäden vermieden werden.

Zu jedem Schülerexperiment ist ein Protokoll anzufertigen. Diese Protokolle sollten im Sinne der Anleitungen gegliedert werden und folgende Punkte enthalten:

1. Aufgabe
2. Geräte und Chemikalien
3. Geräteanordnung (schematische Skizze)
4. Angabe zu den angeführten Tätigkeiten
5. Auswertung des Experiments (Beobachtungen, Schlußfolgerungen, Reaktionsgleichungen)

Weitere Hinweise zur Protokollierung sind in den Arbeitsanweisungen enthalten.

Darstellung eines Kohlenwasserstoffs

Aufgabe

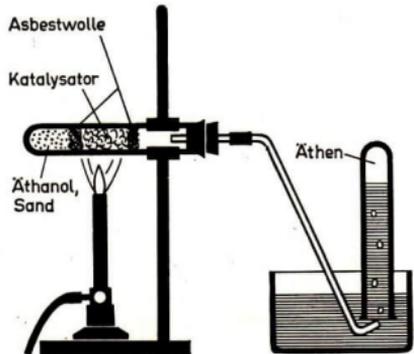
▼ Stellen Sie Äthen durch katalytische Wasserabspaltung aus Äthanol her!

Vorbetrachtung

1. Stellen Sie die Strukturformel von Äthen auf und nennen Sie Eigenschaften dieses Stoffes!
2. Welchen Einfluß übt ein Katalysator auf den Verlauf einer chemischen Reaktion aus?
3. Erläutern Sie an Hand der Strukturformel von Äthanol, daß aus dieser Verbindung durch Wasserabspaltung Äthen gebildet wird!

Geräte und Chemikalien

Reagenzglas aus schwerschmelzbarem Glas	Äthanol
passender durchbohrter Gummistopfen	Aluminiumoxid
Reagenzglas	Bimssteinkörner
passender Gummistopfen	Sand
Kristallisierschale	Asbestwolle
Porzellanschale	Bromwasser
Brenner	Wasser
Glasstab	
Spatel	
2 Glasrohre	
Gummischlauch	
Stativmaterial	



Arbeitsanweisung

1. Stellen Sie den benötigten Katalysator her, indem Sie in einer kleinen Schale Bimssteinkörner mit gepulvertem Aluminiumoxid gründlich vermischen!
2. Stellen Sie die Apparatur nach der Abbildung zusammen, wobei das eingespannte Reagenzglas vorläufig leer bleibt!
3. Füllen Sie Wasser in die als pneumatische Wanne benutzte Kristallisierschale und in das zweite Reagenzglas und legen Sie den dazu passenden Verschlußstopfen griffbereit!
4. Nehmen Sie das erste Reagenzglas aus schwerschmelzbarem Glas wieder aus der Stativklemme und füllen Sie etwa 5 cm hoch Sand ein!
5. Nun lassen Sie bei lotrecht gehaltenem Glas soviel Äthanol zufließen, daß der Sand gründlich mit Flüssigkeit durchtränkt wird! Auf den Sand geben Sie mit Hilfe des Glasstabes eine dünne Schicht Asbestwolle!
6. Füllen Sie nun bei lotrecht gehaltenem Glas etwa 5 cm hoch das vorbereitete Gemisch aus Bimsstein und Aluminiumoxid ein! Dann schieben Sie mit dem Glasstab etwas Asbestwolle vor den Katalysator, damit dieser auch bei horizontaler Lage den ganzen Querschnitt des Glases ausfüllt!
7. Befestigen Sie das gefüllte Reagenzglas wieder in der Stativklemme und schließen Sie das Gasableitungsrohr nach der Abbildung an!
8. Nun erhitzen Sie den Katalysator auf Rotglut! Dadurch wird auch der Sand erwärmt, wodurch das Äthanol langsam verdampft. Zum Erhitzen benötigen Sie einige Zeit. Sollte jedoch die Reaktion auch bei längerem Erhitzen nicht in Gang kommen — erkennbar an der fehlenden Gasentwicklung —, so rücken Sie den Brenner etwas gegen den Sand hin!
9. Nachdem etwas Gas aus dem Rohrende in die pneumatische Wanne ausgetreten ist (es handelt sich um die verdrängte Luft), fangen Sie das entstehende Gas in einem Reagenzglas auf, das Sie nach Füllung sofort (Öffnung noch unter Wasser) mit einem Gummistopfen verschließen!

- Nun nehmen Sie zuerst das Gasableitungsrohr aus dem Wasser und löschen dann den Brenner!
- In das mit dem entstandenen Gas gefüllte Reagenzglas geben Sie etwa 1 ml Bromwasser, verschließen sofort wieder die Öffnung des Glases und schütteln kräftig!
Beobachten Sie die Lösung!
Welche Schlußfolgerung ziehen Sie aus der Veränderung von Bromwasser?

Untersuchung der Eigenschaften des Äthins

Aufgabe

Prüfen Sie das Verhalten von Äthin gegen Bromwasser sowie das Aussehen der Äthinflamme!

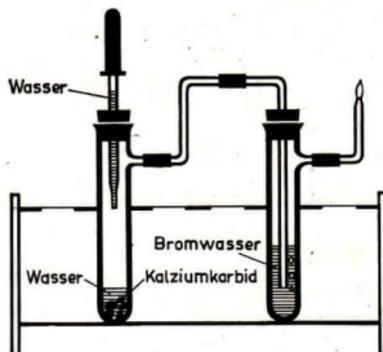
Vorbetrachtung

- Welche Kohlenwasserstoffe werden als „ungesättigt“ bezeichnet?
- Welche Strukturbesonderheit weist Äthin auf?
- Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Darstellung von Äthin aus Kalziumkarbid und Wasser auf!
- Warum entsteht bei der Umsetzung von Kalziumkarbid mit Wasser kein Kalziumoxid?
- Welche Reaktionen werden als Additionen bezeichnet?

Geräte und Chemikalien

2 Reagenzgläser mit seitlichem Ansatzrohr
2 dazu passende durchbohrte Gummistopfen
langer Halbmikrotropfer
2 rechtwinklig gebogene Glasrohre, ein Schenkel lang
rechtwinklig gebogenes Glasrohr, ein Ende zur Spitze ausgezogen
Reagenzglasgestell
Spatel
3 Gummischlauchstücke

Kalziumkarbid
Bromwasser, verdünnt
Wasser



Arbeitsanweisung

Vorsicht! Äthin-Luft-Gemische sind explosiv! Zu Anfang des Versuches darf sich keine offene Flamme in der Nähe der Apparatur befinden! Das ausströmende Gas darf erst gegen Ende des Experiments entzündet werden, wenn das Bromwasser deutlich mit Äthin reagiert hat.

1. Bauen Sie die Apparatur mit leeren Reagenzgläsern nach der Abbildung auf! Bevor Sie die Glasrohre in die Stopfenbohrungen einschieben, feuchten Sie die Bohrungen gut mit Wasser an!
Vorsicht! Glasrohre brechen besonders leicht an den gewinkelten Stellen. Benutzen Sie niemals den gewinkelten Teil des Glasrohres beim Einschieben des Rohres in die Bohrungen als Hebelarm!
Feuchten Sie auch die Schlauchstücke vor dem Aufschieben auf die Glasrohre gut an!
2. Füllen Sie in das linke Reagenzglas, das trocken sein muß, etwa 1 cm hoch Kalziumkarbid ein!
3. Geben Sie in das rechte Reagenzglas etwa 2 cm hoch verdünntes Bromwasser! Die Farbe dieser Lösung soll nur blaßgelb sein.
4. Nun füllen Sie den Halbmikrotropfer, der bereits durch die Stopfenbohrung geführt ist, mit Wasser, und setzen Sie ihn mittels des Stopfens fest auf das linke Reagenzglas!
5. Nachdem Sie den festen Sitz aller Stopfen nachgeprüft haben, lassen Sie durch sanften Druck auf das Gummihütchen des Tropfers langsam Wasser auf das Kalziumkarbid tropfen! Die Wasserzugabe muß so geregelt werden, daß ein mäßiger Gasstrom durch das Bromwasser perlt.
Welche Veränderung können Sie am Bromwasser beobachten?
6. Nachdem die Veränderung deutlich sichtbar geworden ist, entzünden Sie das am Ende der Apparatur ausströmende Äthin! Welches Aussehen hat die Äthinflamme?
Warum dürfen Sie das ausströmende Gas nicht sofort zu Beginn des Experiments entzünden?
7. Fassen Sie mit der Hand an die Stelle des linken Reagenzglases, dort wo sich das Kalziumkarbid beziehungsweise sein Reaktionsprodukt befindet!
Was stellen Sie fest?
Erläutern Sie diese Beobachtung!
8. Löschen Sie die Äthinflamme und stellen Sie dann die Apparatur unter den Abzug!
9. Erläutern Sie an Hand einer Reaktionsgleichung die Veränderung, die Äthin bei Bromwasser verursacht hat!

Schmelztemperaturbestimmung

Aufgabe

- ▼ Bestimmen Sie die Schmelztemperatur von Kerzenparaffin nach einer sehr vereinfachten Methode!

Vorbetrachtung

1. Welche Zusammensetzung hat Paraffin?
2. Welche Alkane sind bei Zimmertemperatur fest?
3. Erläutern Sie die Begriffe „Schmelztemperatur“ und „Schmelzwärme“!
(↗ Physik in Übersichten, S. 63)

Geräte und Chemikalien

Porzellanschale	Kerzenparaffin
Thermometer (Meßbereich bis 100 °C)	
Asbestdrahtnetz	
Dreifuß	
Brenner	
Glasstab	

Arbeitsanweisung

1. Erwärmen Sie Kerzenparaffin vorsichtig in einer kleinen Porzellanschale bei kleinstellter Brennerflamme, so daß das Paraffin schmilzt! Rühren Sie dabei mit einem Glasstab um, damit die Masse gleichmäßig erwärmt wird und die Temperatur nur wenig über die Schmelztemperatur ansteigt!
2. Wenn der größte Teil des Paraffins geschmolzen ist, löschen Sie den Brenner! Dann tauchen Sie das Thermometer so lange in die Schmelze, bis es die Temperatur des flüssigen Paraffins angenommen hat!
3. Nun nehmen Sie das Thermometer wieder aus der Schmelze heraus und drehen es langsam in horizontaler Lage, bis das anhaftende Paraffin erstarrt!
4. Lesen Sie die beim Erstarren des Paraffins angezeigte Temperatur ab! Die Erstarrungstemperatur ist deutlich zu erkennen: Der Paraffintropfen folgt der Umdrehung des Thermometers, sobald er fest wird.

Siedetemperaturbestimmung

Aufgabe

▼ Bestimmen Sie die Siedetemperatur von Methanol!

Vorbetrachtung

1. Welcher Wechsel des Aggregatzustandes erfolgt beim Sieden eines Stoffes?
(↗ Physik in Übersichten, S. 64)
2. Wann wird der Wechsel des Aggregatzustandes als Sieden und wann als Kondensation bezeichnet?
3. Erläutern Sie den Begriff „Verdampfungswärme“! (↗ Physik in Übersichten, S. 65)
4. Erläutern Sie die Abhängigkeit der Siedetemperatur einer Flüssigkeit vom Druck!

Geräte und Chemikalien

Reagenzglas mit seitlichem Ansatzrohr

Rundkolben

2 passende durchbohrte

Gummistopfen

Thermometer

(Meßbereich bis 100 °C)

Erlenmeyerkolben

doppelt gebogenes Glasrohr,
etwa 30 cm lang

rechtwinklig gebogenes Glasrohr,
ein Schenkel lang

rechtwinklig gebogenes Glasrohr
mit kurzen Schenkeln

2 kurze Schlauchstücke

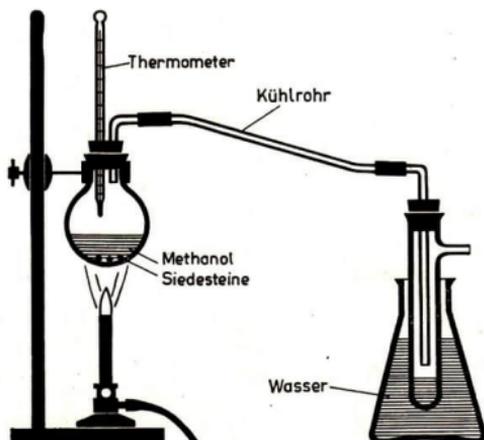
Brenner

Stativmaterial

Methanol

Siedesteine

Wasser



Arbeitsanweisung

Vorsicht! Methanol ist giftig und feuergefährlich!

1. Fügen Sie die Glasteile der Apparatur nach der Abbildung zusammen! Bevor Sie das Thermometer und die gewinkelten Glasrohre durch die Stopfenbohrungen schieben, müssen Sie die Bohrungen erst gut mit Wasser anfeuchten! **Vorsicht!** Glasrohre brechen leicht! Feuchten Sie auch die Schlauchstücke vor dem Auf-schieben auf die Glasrohre an!
2. Nun geben Sie Methanol in den Rundkolben, fügen ein oder zwei Siedesteine hinzu und verschließen den Kolben wieder mit dem Stopfen, der das Thermometer trägt!
3. Anschließend füllen Sie eine entsprechende Menge Wasser in den Erlenmeyerkolben!
4. Jetzt erst wird die Brennerflamme entzündet und klein gestellt. Bringen Sie das Methanol durch kreisende Bewegung der kleinen Brennerflamme zum leichten Sieden!
5. Beobachten Sie das Thermometer! Wenn der Quecksilberfaden nicht mehr steigt, lesen Sie die Temperatur ab! Die Temperatur des übergehenden Dampfes entspricht der Siedetemperatur des Methanols.

Umwandlung eines primären Alkanols in ein Alkanal

Aufgabe

Stellen Sie Methanal durch katalytische Dehydrierung von Methanol her!

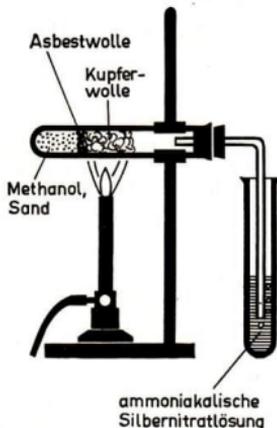
Vorbetrachtung

1. Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Dehydrierung von Methanol auf!
2. Erläutern Sie an Hand der Reaktionsgleichung mit Hilfe der Oxydationszahlen, daß die Dehydrierung eine Oxydation ist!
3. Nennen Sie Reaktionen der Alkanale (/ S. 66)!

Geräte und Chemikalien

Reagenzglas aus
schwermelzbarem Glas
dazu passender durch-
bohrter Gummistopfen
Reagenzglas
rechtwinklig gebogenes
Glasrohr,
ein Schenkel lang
Glasstab
Brenner
Stativmaterial

Methanol
Silbernitratlösung 5% ig
Ammoniaklösung 10% ig
Sand
Kupferwolle
Asbestwolle



Arbeitsanweisung

1. In das Reagenzglas aus schwermelzbarem Glas füllen Sie etwa 4 cm hoch Sand!
2. Halten Sie das Glas lotrecht und lassen sie so viel Methanol zuffießen, daß der Sand gründlich durchtränkt ist!
3. Auf den Sand drücken Sie vorsichtig mit dem Glasstab eine dünne Schicht Asbestwolle! Darauf schieben Sie eine etwa 4 cm lange Schicht Kupferwolle!
4. Anschließend verschließen Sie das Glas mit dem Stopfen, durch den das Gasableitungsrohr geführt ist, und spannen die Apparatur in eine Stativklemme! (Abbildung)
5. In ein Reagenzglas geben Sie etwa 3 ml Silbernitratlösung und fügen so viel Ammoniaklösung hinzu, daß der anfänglich gebildete Niederschlag wieder gelöst wird! Dieses Reagenzglas erwärmen Sie auf etwa 50 °C und schieben es dann über den langen Schenkel des Gasableitungsrohres (Abbildung)! Die Mündung dieses Rohres soll tief in das Reagenzglas eintauchen!

6. Nun erhitzen Sie die Kupferwolle auf Rotglut! Dabei wird auch der Sand erwärmt, wodurch das Methanol langsam verdampft. Dessen Dämpfe kommen mit der stark erhitzten Kupferwolle in Berührung und werden dadurch dehydriert.

Erläutern Sie im Protokoll die Funktion der Kupferwolle bei dieser Reaktion!

7. Setzen Sie das Erhitzen der Kupferwolle einige Minuten fort! Sollten am Gasableitungsrohr in der ammoniakalischen Silbernitratlösung keine Gasblasen mehr austreten, so rücken Sie den Brenner etwas gegen die Sandschicht hin oder befächeln mit der Brennerflamme in Abständen kurz den Teil des Reagenzglases, wo sich die Sandschicht befindet!

Vorsicht! Unterbrechen Sie bei der Durchführung des Experimentes nicht das Erhitzen des oberen Reagenzglases, da sonst die Silbernitratlösung in das heiße Reagenzglas emporsteigt!

Wodurch wird diese Erscheinung verursacht?

8. Beobachten Sie die Veränderung in der ammoniakalischen Silbernitratlösung! Nachdem Sie diese Veränderung deutlich erkannt haben, nehmen Sie zuerst das untere Reagenzglas vom Gasentwicklungsrohr und dann erst den Brenner vom oberen Reagenzglas weg!
9. Die Reaktion in der ammoniakalischen Silbernitratlösung kann noch deutlicher gemacht werden, wenn Sie das Reagenzglas anschließend unter dauerndem Schütteln über der Brennerflamme erwärmen! **Vorsicht!** Siedeverzug!
Welcher Stoff wird aus der Lösung ausgeschieden?
Welche Eigenschaft des Methanals bewirkt diese Reaktion?

Darstellung eines Karbonsäureesters

Aufgabe

- ▼ Stellen Sie Äthyläthanat aus Äthansäure und Äthanol dar, wobei die Äthansäure erst im Reaktionsgemisch gebildet wird!

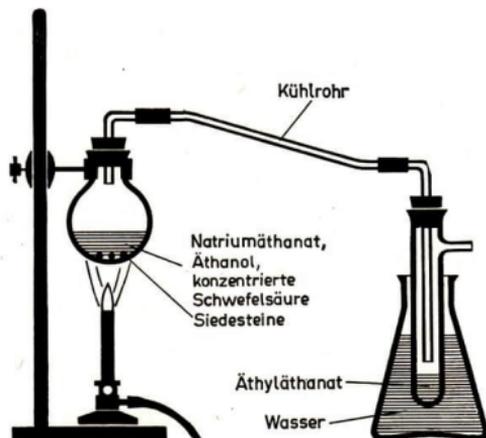
Vorbetrachtung

1. Welche Reaktion läuft ab, wenn konzentrierte Schwefelsäure auf Natriumäthanat (Natriumacetat) einwirkt? Begründen Sie diese Umsetzung!
2. Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Esterbildung aus Äthansäure und Äthanol auf und charakterisieren Sie diese Umsetzung als Gleichgewichtsreaktion! (↗ Chemie in Übersichten, S. 27)
3. Nennen Sie die Bedingungen, von denen die Lage eines chemischen Gleichgewichtes abhängig sein kann! Welche Bedingungen beeinflussen die Lage des Estergleichgewichtes?
4. Welche Bedeutung hat das Erhitzen des Reaktionsgemisches für die Esterbildung?
5. Erläutern Sie die zweifache Bedeutung, die der Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure zum Gemisch von Natriumäthanat und Äthanol für die Esterbildung hat!

Geräte und Chemikalien

- 1 Rundkolben
- 1 Reagenzglas mit seitlichem Ansatzrohr
- 2 passende durchbohrte Gummistopfen
- rechtwinklig gebogenes Glasrohr, ein Schenkel lang
- rechtwinklig gebogenes Glasrohr mit kurzen Schenkeln
- doppelt gebogenes Glasrohr, etwa 30 cm lang
- 2 kurze Schlauchstücke
- Erlenmeyerkolben
- Waage mit Wägestücken
- Spatel
- Meßzylinder (5 ml)
- Schutzbrille
- Brenner
- Stativmaterial

- Natriumäthanat (Natriumacetat), entwässert
- Äthanol
- konzentrierte Schwefelsäure
- Wasser
- Siedesteine



Arbeitsanweisung

Vorsicht! Konzentrierte Schwefelsäure ätzt stark die Haut und zerstört Textilien. Beim Arbeiten mit konzentrierter Schwefelsäure müssen Sie Schutzbrille tragen und sorgsam jedes Vergießen vermeiden! (↗ Chemie in Übersichten, S. 90)

1. Bauen Sie die Apparatur nach der Abbildung auf! Bevor Sie die rechtwinklig gebogenen Glasrohre durch die durchbohrten Stopfen schieben, feuchten Sie die Bohrungen gut mit Wasser an! **Vorsicht!** Glasrohre brechen leicht, besonders an den Biegungen! Feuchten Sie auch die Schlauchstücke vor dem Auf-schieben auf die Glasrohre an!
2. Füllen Sie eine entsprechende Menge Wasser in den Erlenmeyerkolben!
3. Geben Sie 2 g entwässertes Natriumäthanat (Natriumacetat) in den trockenen Rundkolben!
4. Nun messen Sie 2 ml Äthanol ab und fügen es zum Natriumäthanat hinzu!
5. Als letzten Zusatz geben Sie in den Rundkolben 2 ml konzentrierte Schwefelsäure! **Vorsicht!** Spritzgefahr! Achten Sie darauf, daß beim Abmessen und Einfüllen in das Reagenzglas nichts neben die Gefäße tropft! Beim Arbeiten mit konzentrierter Schwefelsäure ist größte Sauberkeit geboten! Nach Zugabe der Schwefelsäure schließen Sie sofort den Rundkolben mit dem Gummistopfen!
6. Jetzt wird der Kolben, der das Stoffgemisch enthält, durch Befächeln mit kleingestellter Flamme leicht erwärmt. Die Reaktion kommt sofort in Gang. Wenn der Inhalt des Reagenzglases stark aufschäumt, müssen Sie die Flamme eine kurze Zeit vom Kolben wegnehmen! Ist die Reaktion nach einiger Zeit abgeklungen, dann löschen Sie die Brennerflamme!

7. Anschließend nehmen Sie den Stopfen mit dem Glasrohr vom Reagenzglas ab und prüfen den Geruch des entstandenen Esters! Was stellen Sie fest?
8. Geben Sie zum Ester einige Milliliter Wasser, schütteln Sie und warten Sie dann einige Sekunden bei ruhig gehaltenem Glas! Was beobachten Sie? Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie aus dieser Beobachtung bezüglich der Dichte und der Wasserlöslichkeit von Äthyläthanat (Äthylazetat)?
9. Nachdem der Rundkolben etwas abgekühlt ist, versetzen Sie den Inhalt mit reichlich Wasser! **Vorsicht!** Schutzbrille tragen! Erst jetzt — nach dem Verdünnen der Chemikalien mit Wasser — entleeren Sie den Rundkolben, wobei Sie Verspritzen und Vergießen vermeiden! Zum Schluß nehmen Sie die Schutzbrille ab!

Abbildungen

Neues Deutschland, Bildarchiv, Berlin (2); Maximilian Selfert (23); VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (18); VEB Feuerlöschgerätekwerk Neuruppin (6); VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ (25); Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin, Bildarchiv (3, 15); Zentralbild, Berlin (14, 17, 24)

Register

A

Additionsreaktion 24, 25
-, von Äthen 24, 25
-, von Äthin 30, 31
-, von Benzol 37
-, von Butadien-(1,3) 28
Akrylnitril 31
Aldehyde 65, 67
Aldehydgruppe 65, 66
aliphatische Verbindungen 35
Alkadiene 28
Alkanale 65
Alkandisäuren 76
Alkane 14-20
-, allgemeine Formel 14
-, homologe Reihe 14-17
-, Struktur 17-20
Alkanole 55-57
-, homologe Reihe 57
-, primäre 56, 65, 66, 70, 72, 73
-, sekundäre 56, 70
-, tertiäre 56
Alkanone 71
Alkansäuren 72-76
-, Dissoziation 73
-, homologe Reihe 74
Alkene 27, 28
-, allgemeine Formel 27
-, homologe Reihe 27, 28
Alkine 34
Alkohole 55, 60, 61
-, einwertige 61
-, mehrwertige 61, 85
Alkylreste 17, 18, 38, 40, 56, 71
Aminoäthansäure 77, 78
Aminobenzol 40, 41
Aminogruppe 40, 41, 77, 78
Aminosäuren 77, 78
Ammoniaksynthese 89, 90
Antiklopfmittel 52
aromatische Verbindungen 38
Äthanal 65, 66, 68
Äthanate 73, 75
Äthandiol-(1,2) 85
Äthandisäure 76
Äthanol 24, 59-61
Äthansäure 72-75

Äthen 22-26
Äthin 29-32
Äthyläthanat 81, 83
Atombindung 8-10
Azetate s. Äthanate
Azetylen s. Äthin

B

Benzaldehyd 69, 70
Benzin 16, 47, 52
-, Leichtbenzin 45
-, Schwerbenzin 45
Benzoesäure 78, 80
Benzol 36-38
Benzolhomologe 38, 39
Bitumen 45
Bleitetraäthyl 52
Brombenzol 37
Bromidlöcher 22
Buna 29
Butadien-(1,3) 28, 29
BUTLEROW, ALEXANDER MICHAILO-
WITSCH 10-12

C

Chemie der Kohlenstoffverbindun-
gen 9, 12
Chemiefasern 32, 51, 79, 85, 86

D

Dehydrierung 24
-, von Äthan 24
-, von Buten 28
-, von Alkanolen 65-67, 70
Derivate 21, 22
-, Halogen- 22
-, Sauerstoff- 55, 79
-, Stickstoff- 39
Destillation 43, 45
Dieselkraftstoff 16, 45, 52
Dihydroxybenzol 64
Dimethylbenzol 39
Diolefine s. Alkadiene
Doppelbindung 23-25, 28, 36, 37
Dreifachbindung 30, 34, 35

E

Einfachbindung 35, 36, 69
Eiweiß 67, 78
Enzyme 60, 74, 77
Erdgas 42, 49
Erdöl 27, 43-50, 52-54
-, Destillation 43, 46
-, Destillationsprodukte 43, 45
-, Kracken von 46
-, -leitung „Freundschaft“ 43
Essigsäure 74
Ester 81-84
-, Frucht- 83
-, Wachse 83
Esterbildung 81, 82, 85

F

Fette 35, 38, 61, 72, 76, 84, 85
Flüssiggase 16
Formaldehyd s. Methanal
Fraktionierturm 44
funktionelle Gruppe 40, 41
-, Aldehydgruppe 65, 66
-, Aminogruppe 40, 41, 77, 78
-, Hydroxylgruppe 55, 56
-, Karboxylgruppe 72
-, Nitrogruppe 40, 41
-, Oxogruppe 71

G

Gärung 60
-, alkoholische 60
-, Essiggärung 74, 75
-, Milchsäure- 77
Gleichgewichtsreaktion 32, 59, 81,
82, 89-92
Glukose 60, 69, 77
Grisuten 86

H

Hauptgruppe, IV, 7, 8
Heptan 52
Hexadekansäure 76, 84
homologe Reihe 14-17
-, der Alkane 14-17
-, der Alkene 27, 28

homologe Reihe 14-17

-, der Alkine 34

-, der Alkanole 57

-, der Alkanale 66

-, der Alkansäuren 74

Hydrierung 25

-, von Alkanalen 66

-, von Äthen 25

-, von fetten Ölen 84, 85

Hydroxybenzol 62

Hydroxylgruppe 55, 56

Hydroxyverbindungen 61, 77

2-Hydroxypropanensäure 77

Hydroxysäuren 77

I

isomere Verbindungen 18-20, 27, 39, 64, 78

Isomerie 18, 56

-, Struktur- 18, 56

-, Stellungs- 56, 64, 78

Isoktan s. 2,2,4-Trimethylpentan

K

Kalziumkarbid 29, 30, 32-34

Karbonsäuren 72

-, aromatische 78

-, Di- 76, 78, 85

-, kettenförmige 73

-, Mono- 72, 73

Karboxylgruppe 72

KEKULÉ VON STRADONITZ, AUGUST 38

Ketone 70, 71

Kohle 49, 50, 52, 53

Kohlechemie 50, 51, 53, 62

Kohlenhydrate 60

Kohlenwasserstoffe 13-54

-, aromatische 49

-, gesättigte 14, 35, 49

-, kettenförmige 19, 49

-, ungesättigte 35, 46

Kohlenwasserstoffrest 41

-, aromatischer 64, 65, 70

-, kettenförmiger 64, 65

-, zyklischer 65

KOLBE, HERMANN 75

Kondensationsreaktion 81

-, von Alkoholen mit Säuren 81

Kracken 46-48, 54

Kraftstoffe 52, 53

Kumol 62, 72

L

LAVOISIER, ANTOINE LAURENT 10

LIEBIG, JUSTUS VON 11

M

Makromoleküle 25

Mehrfachbindung 24, 26, 35, 36, 56

Methan 13, 14

Methanal 66-68

Methanol 55, 58

Methansäure 73, 74

Methylbenzol 38, 39

Milchsäure s. 2-Hydroxypropanensäure

Mineralöl s. Öle

Monochloräthen 26, 31

N

Naphthene s. Zykoalkane

Nitrierung 40

Nitrobenzol 39-41

Nitrogruppe 40, 41

O

Oktadekansäure 76, 84

Oktadezensäure 84

Oktanzahl 52

Öle 38, 84

-, ätherische 84

-, fette 20, 84, 85

-, Mineral- 72, 84

Olefine s. Alkene

organische Chemie 9-12

Oxogruppe 71

Oxydationszahl 7, 8, 66

P

Paraffin 16

Paraffine s. Alkane

Peptide 78

-, Di- 78

-, Poly- 78

Petrochemie 49, 51, 53, 60, 62, 72

Petroleum 16, 45

Phenol 61-64

Phenoplaste 68, 66

Phthalsäure 78, 79

Plaste 32, 51, 79, 85

Polyäthylen 25, 26

Polybutadien 29

Polyester 79, 85

Polykondensationsreaktion 85

-, von Terephthalsäure mit Äthandiol-(1,2) 85

Polymerisationsreaktion 24-26

-, von Äthen 25

-, von Butadien-(1,3) 28

-, von Monochloräthen 26

-, von Propennitril 32

Polyvinylchlorid 26

Prinzip von LE CHATELIER-BRAUN

89

Propanon 62, 70-72

Propantriol-(1,2,3) 61, 83, 84

Propantrioltrinitrat 83

Propennitril 31

R

Reaktionswärme 37

Reaktionsgeschwindigkeit 90, 91, 92

RUNGE, FRIEDLIEB FERDINAND 41

S

Sauerstoffderivate der Kohlenwasserstoffe 55-88

Schwefeltrioxid 89, 90, 91

Seife 76

SININ, NIKOLAI NIKOLAJEWITSCH 41

Strukturformel 18, 36

-, vereinfachte 18, 36

Styrol 38, 39

Substitutionsreaktion 20-22

-, von Alkanen 21

-, von Benzol 37, 40

Systematisierung 89

T

Terephthalsäure 78, 79, 85

Tetrachlormethan 20-22

Tetraeder 13, 14

tetraedrischer Valenzwinkel 13-15

Tetraäolischer 22

Traubenzucker 60, 69, 77

Treibgas 52

2,2,4-Trimethylpentan 52

U

UNVERDORBEN, OTTO 41

V

VEB Chemische Werke Buna, Schkopau 33, 68, 74

VEB Deutsches Hydrierwerk Rodleben 85

VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt 44, 48, 53

VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ 48, 50, 53, 58, 67

VEB Mineralölwerk Lützkendorf 48

VEB Stickstoffwerk Piesteritz 33

VEB Synthesewerk Schwarzeiche 48

Vergaserkraftstoff 45, 48, 52

-, Klopffestigkeit 52

-, Oktanzahl 52

Versäuerung 81, 82

Vinylchlorid s. Monochloräthen vis vitalis 11

W

WÖHLER, FRIEDRICH 10, 11, 12, 75, 76

Wolprrya 31

Z

Zelluloid 72

Zykoalkane 27, 37, 43

