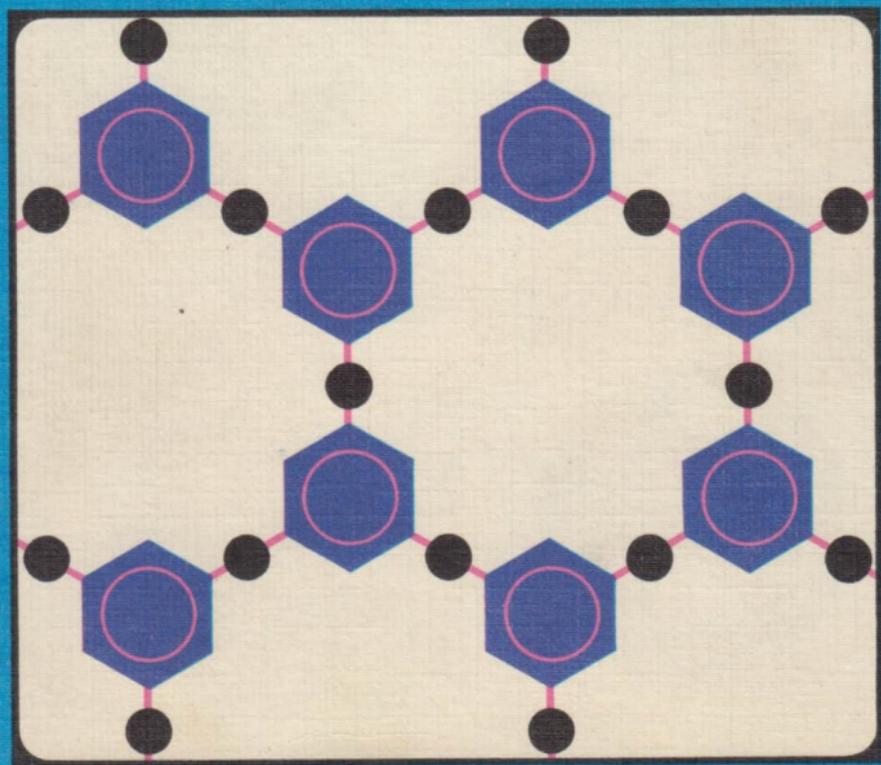
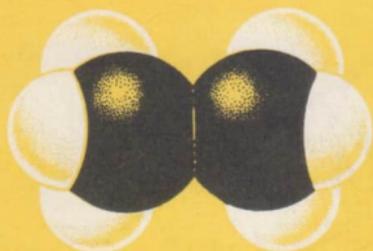


Chemie

5

9

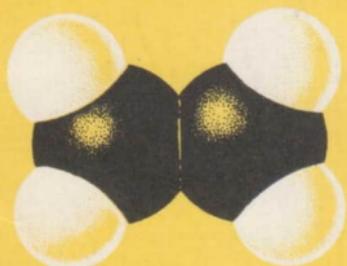




Äthan



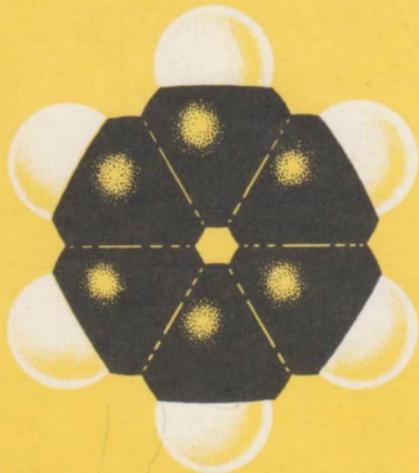
Chlormethan



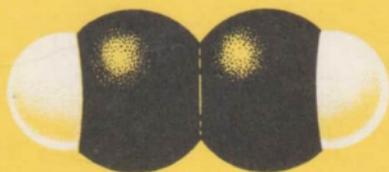
Äthen



Chloräthen



Benzen



Äthin

Chemie

Lehrbuch für Klasse 9



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin
1987

Autoren:

Dr. Barbara Arndt (Abschnitte 1 bis 10 und 38 bis 42)
Prof. Dr. sc. Gerhard Meyendorf (Abschnitte 30 bis 37)
Doz. Dr. sc. Heinz Obst (Abschnitte 11 bis 29)
Dr. Karin Schwinge (Abschnitte 43 bis 46)
Dr. Jochen Teichmann (Abschnitte 1 bis 10)

Leiter des Autorenkollektivs: Prof. Dr. sc. Gerhard Meyendorf

Redaktion: Edward Gutmacher, Werner Trebling

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

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin 1984

4. Auflage

Ausgabe 1985

Lizenz-Nr. 203 · 1000/86 (DN 03 09 06-4)

LSV 0681

Zeichnungen: Fritz Hampel

Einband: Manfred Behrendt

Typografische Gestaltung: Wolfgang Lorenz, Manfred Schütz

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden

Schrift: 9/10 Gill MONOTYPE

Redaktionsschluß: 27. März 1986

Bestell-Nr. 731 200 1

Schulpreis DDR: 2,25

Inhalt

Chemische Reaktion

| | |
|--|----|
| 1 Wesentliche Merkmale der chemischen Reaktion | 5 |
| 2 Zeitlicher Ablauf chemischer Reaktionen – Reaktionsgeschwindigkeit | 6 |
| Geschwindigkeit der Stoffumwandlung 7 Konzentrationsänderungen von reagierenden Stoffen 8 | |
| 3 Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration und von der Temperatur | 12 |
| 4 Verlauf der chemischen Reaktion und die Teilchen der Stoffe | 14 |
| 5 Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit durch Katalysatoren | 16 |
| 6 Umkehrbare chemische Reaktion – Einstellung des chemischen Gleichgewichts | 19 |
| 7 Temperaturabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts | 24 |
| 8 Druckabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts | 26 |
| 9 Zusammenfassende Betrachtung | 28 |
| 10 Aufgaben zur Festigung | 31 |

Einige organische Stoffe mit einer funktionellen Gruppe im Molekül

| | |
|--|----|
| 11 Alkanole | 33 |
| 12 Methanol | 38 |
| 13 Äthanol (Äthylalkohol) | 40 |
| 14 Darstellung der Alkanole | 44 |
| 15 Phenol | 46 |
| 16 Aufgaben zur Festigung | 48 |
| 17 Alkanale | 48 |
| 18 Methanal (Formaldehyd) | 52 |
| 19 Äthanal (Azetaldehyd) | 52 |
| 20 Vergleich der Alkanole und Alkanale | 53 |
| 21 Alkansäuren | 54 |
| 22 Methansäure (Ameisensäure) | 57 |
| 23 Äthansäure (Essigsäure) | 58 |
| 24 Höhermolekulare Alkansäuren | 60 |
| 25 Ester | 61 |
| 26 Vergleich einiger organischer Stoffe | 66 |
| 27 Chemische Reaktionen einiger organischer Stoffe | 68 |
| 28 Chemisches Gleichgewicht und Wirkung von Katalysatoren bei chemischen Reaktionen organischer Stoffe | 69 |
| 29 Aufgaben zur Festigung | 70 |

Einige organische Stoffe mit mehreren funktionellen Gruppen im Molekül

| | |
|--|----|
| 30 Glycerol | 71 |
| 31 Fette | 72 |
| 32 Glukose | 74 |
| 33 Maltose und Saccharose als Disaccharide | 76 |
| 34 Stärke und Zellulose | 77 |
| 35 Aminosäuren und Peptide | 80 |

| | | |
|----|------------------------|----|
| 36 | EiweiÙe | 82 |
| 37 | Aufgaben zur Festigung | 85 |

Plaste, Elaste und Chemiefaserstoffe

| | | |
|----|--|-----|
| 38 | Synthetische makromolekulare Stoffe als Werkstoffe | 86 |
| 39 | Polymerisate | 89 |
| | Polyakrylnitril 90 Synthetischer Kautschuk 91 | |
| 40 | Polykondensate | 93 |
| | Phenoplaste 94 Aminoplaste 96 Polyamide 98 | |
| 41 | Vergleich von Polymerisation und Polykondensation | 100 |
| 42 | Aufgaben zur Festigung | 100 |

Systematisierung

| | | |
|----|--|-----|
| 43 | Organische Stoffe | 101 |
| 44 | Chemische Reaktionen mit organischen Stoffen | 103 |
| | Arten chemischer Reaktionen 103 Gesetzmäßigkeiten der chemischen Reaktion 105 | |
| 45 | Organische Stoffe aus Kohle, Erdöl und Erdgas | 106 |
| 46 | Aufgaben zur Festigung | 108 |
| | Lösungen zu den Aufgaben | 110 |
| | Register | 111 |

Erläuterungen

- 1 Lehrbuchabschnitte
- ▼ Experimente
- ① Aufgaben
- * Kennzeichnung von Aufgaben mit etwas höherer Schwierigkeit als andere Aufgaben
- ▶ Zusammenfassungen und Merkstoff
- Beispiele
- ↗ Hinweise
- LB Lehrbuch
- ChiÜb Chemie in Übersichten
- BioÜb Biologie in Übersichten
- TW 7–10 Tafelwerk Mathematik–Physik–Chemie Klassen 7 bis 10
- Ch-SE 9/10 Chemie Schülerexperimente für die Klassen 9 und 10
- Stoff Ausgangsstoffe
- Stoff Reaktionsprodukte

Chemische Reaktion

Chemische Reaktionen laufen in unübersehbarer Vielfalt im täglichen Leben und in unserer Umwelt ab. Vielen Vorgängen im lebenden Organismus liegen chemische Reaktionen zugrunde. Durch sie werden Nährstoffe in körpereigene Stoffe umgewandelt oder zugeführte und gespeicherte Stoffe abgebaut. Energieumwandlungen bei diesen chemischen Reaktionen dienen auch als „Energiequelle“ zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen. ① (↗ S. 7)

Chemische Reaktionen sind die Grundlage für chemisch-technische Verfahren. Für die Volkswirtschaft wichtige Stoffe, wie Stahl, Baustoffe, Benzin, Plaste und Chemiefasern, werden dabei hergestellt. Die Verbrennung von Kohle und Erdgas wird überwiegend zur Umwandlung von chemischer Energie in andere Energieformen genutzt. ② (↗ S. 7)

Aus dem Chemieunterricht ist für viele chemische Reaktionen bereits bekannt, welche Stoffe entstehen und ob dabei Wärme aufgenommen oder abgegeben wird. Aber es gibt auch Fragen, die Sie bisher noch nicht beantworten können:

In welcher Zeit entsteht bei einer technisch genutzten chemischen Reaktion ein möglichst großer Anteil am gewünschten Reaktionsprodukt?

Unter welchen Bedingungen verläuft eine chemische Reaktion?

Welche Bedingungen erweisen sich für die Produktion eines bestimmten Stoffes als ökonomisch günstig?

Wie können die chemischen Reaktionen im lebenden Organismus günstig beeinflusst werden?

Wesentliche Merkmale der chemischen Reaktion

1

1



Vorsicht! Ein Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff wird mit einer Zündflamme in Berührung gebracht.

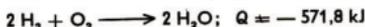
2



Ein Gemisch aus Hexan und Brom wird der Einwirkung von Licht ausgesetzt.

Jede chemische Reaktion ist gekennzeichnet durch eine **Stoffumwandlung**, die mit einer **Energieumwandlung** verbunden ist.

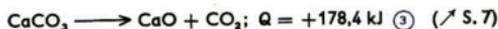
- Bei der Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff entsteht Wasser, ein neuer Stoff mit anderen Eigenschaften als sie die Ausgangsstoffe haben. Dabei wird auch Wärme abgegeben (Experiment 1).



Diese chemische Reaktion verläuft exotherm, ausgedrückt durch das negative Vorzeichen der **Reaktionswärme** Q . Bei der Bildung von 2 mol Wasser werden 571,8 kJ als Wärme frei.

Andere chemische Reaktionen verlaufen endotherm.

- Beim Kalkbrennen wird Wärme aufgenommen.



- Bei der Reaktion von Hexan mit Brom entstehen Bromhexan und Bromwasserstoff (Experiment 2).



Die Stoffumwandlung ist hier an einer Entfärbung des Stoffgemisches und einer Gasentwicklung erkennbar. Auch diese chemische Reaktion ist eine exotherme Reaktion. ④⑤⑥⑦⑧ (↗ S. 7)

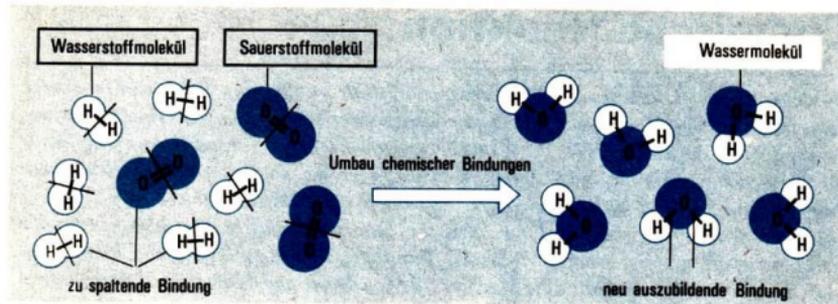


Abb. 1 Chemische Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff, im Bereich der Teilchen betrachtet

Bei chemischen Reaktionen ist der Übergang der Ausgangsstoffe in die Reaktionsprodukte häufig gehemmt.

Die chemische Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff (Experiment 1) wird durch Berühren des Gasgemischs mit einer Zündflamme, die chemische Reaktion von Hexan mit Brom (Experiment 2) durch Belichtung ausgelöst. ⁹

Jede chemische Reaktion ist auch gekennzeichnet durch die **Veränderung von Teilchen**, verbunden mit einem **Umbau chemischer Bindungen**.

Bei der chemischen Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff bilden sich aus Wasserstoffmolekülen und Sauerstoffmolekülen Wassermoleküle.

Chemische Bindungen in den Teilchen der Ausgangsstoffe werden gespalten und andere in den Teilchen des Reaktionsproduktes neu ausgebildet (Abb. 1). ¹⁰

Bei der chemischen Reaktion von Hexan mit Brom bilden sich aus Hexanmolekülen und Brommolekülen Bromhexanmoleküle und Bromwasserstoffmoleküle. Die Spaltung der chemischen Bindungen erfordert Energie. Durch Licht werden in den Brommolekülen die Atombindungen gespalten. Dabei entstehen aktivierte Teilchen. Erst dann kommt es zur Bildung von Bromhexanmolekülen und Bromwasserstoffmolekülen.

Man stellt sich vor, als läge auf dem Weg von den Teilchen der Ausgangsstoffe zu den Teilchen der Reaktionsprodukte ein zu überwindendes Hindernis, eine „Schwelle“. Um diese „Schwelle“ zu überwinden, ist es notwendig, daß sich aktivierte Teilchen bilden. Die **aktivierten Teilchen** haben im Vergleich zu den Teilchen der Ausgangsstoffe eine größere Energie. Diese Energiedifferenz wird bei der chemischen Reaktion als **Aktivierungsenergie** bezeichnet.

Wesentliche Merkmale jeder chemischen Reaktion sind die Stoffumwandlung, verbunden mit Energieumwandlung, und die Teilchenveränderung, verbunden mit dem Umbau chemischer Bindungen. ¹¹

Zeitlicher Ablauf chemischer Reaktionen — Reaktionsgeschwindigkeit

2

Für jede chemische Reaktion ist eine gewisse Zeit erforderlich. Eine genaue Kenntnis des zeitlichen Verlaufes einer technisch genutzten chemischen Reaktion ist für die Überwachung, Kontrolle und Steuerung des entsprechenden chemisch-technischen Verfahrens

- ① Erläutern Sie den Abbau von Nährstoffen im Organismus als chemische Reaktion (✓ Biologie, Klasse 8)!
- ② Geben Sie für drei chemisch-technische Verfahren die Produkte und ihre Verwendung sowie die eingesetzten Rohstoffe an!
- ③ Warum wird beim Kalkbrennen für das chemisch-technische Verfahren ein Gemisch aus Kalkstein und Koks eingesetzt?
- ④ Erläutern Sie an Beispielen den Unterschied zwischen einer exothermen und einer endothermen Reaktion!
- ⑤ Erklären Sie die Erscheinungen beim Einwirken von Brom auf Hexan! Beschreiben Sie eine Möglichkeit, das Reaktionsprodukt Bromwasserstoff bei dieser Reaktion nachzuweisen!
- ⑥ Erläutern Sie die Kopplung exothermer und endothermer Reaktionen a) beim Hochofenprozeß, b) beim Kalkbrennen! Welche ökonomischen Vorteile ergeben sich daraus für die Temperaturregulierung?
- ⑦* Vergleichen Sie die Kohleveredlungsverfahren Verkokung und Vergasung hinsichtlich Stoffumwandlung und Reaktionswärme!
- ⑧* Erläutern Sie am Beispiel folgender chemischer Gleichungen deren Aussagen über die Stoffumwandlung und die Reaktionswärme:
 - a) $\text{CH}_3\text{—CH}_3 \longrightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2; Q = + 125 \text{ kJ,}$
 - b) $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{—CH}_3; Q = - 125 \text{ kJ!}$
 Ermitteln Sie die Massenverhältnisse und die Volumenverhältnisse zwischen Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten!
- ⑨ Beschreiben Sie die chemische Reaktion als Stoffumwandlung, die mit energetischen Erscheinungen verbunden ist, am Beispiel a) der chemischen Reaktion von Eisen(III)-oxid mit Aluminium, b) der thermischen Zersetzung von Kalziumkarbonat!
- ⑩ Beschreiben Sie die Veränderung der Teilchen und den Umbau chemischer Bindungen bei der chemischen Reaktion a) von Wasserstoff mit Sauerstoff anhand der Abbildung 1, b) von Wasserstoff mit Chlor!
- ⑪* Erörtern Sie Merkmale der chemischen Reaktion am Beispiel
 - a) der exotherm verlaufenden Hydrierung von Äthen,
 - b) der endotherm verlaufenden Dehydrierung von Äthan!
 Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen mit Angabe der Reaktionswärme (125 kJ)! Beschreiben Sie die Stoffumwandlung und die Vorgänge im Bereich der Teilchen!

eine wichtige Voraussetzung. Vor allem besteht ein Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Verlauf einer chemischen Reaktion und der Wirtschaftlichkeit eines chemisch-technischen Verfahrens. Volkswirtschaftlich wichtige Produkte können beim schnellen Ablaufen einer chemischen Reaktion in kurzer Zeit hergestellt oder in größerer Menge in einer bestimmten Zeit produziert werden.

Geschwindigkeit der Stoffumwandlung

Die wäßrige Lösung eines Bromids wird mit wenigen Tropfen Silbernitratlösung versetzt.

Verdünnte Chlorwasserstoffsäure wirkt jeweils auf Magnesiumspäne und Eisenspäne ein. Die Zeiten für den Verbrauch an festem Ausgangsstoff oder für die Bildung an gasförmigem Reaktionsprodukt sind zu vergleichen (✓ Ch-SE 9/10, Abb. 1).

Es gibt chemische Reaktionen, bei denen sich die Reaktionsprodukte sehr schnell bilden.

- Ein Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff reagiert explosionsartig, also sehr schnell, wenn es mit einer Zündflamme in Berührung gebracht wird (↗ Experiment 1, S. 5). Auch die Neutralisation einer Säurelösung mit einer Basenlösung erfolgt in kurzer Zeit. Beim Versetzen einer Bromidlösung mit einer Silbernitratlösung bildet sich der charakteristische gelblichweiße Niederschlag von Silberbromid sehr rasch (Experiment 3).

Bei anderen chemischen Reaktionen wiederum setzen sich die Ausgangsstoffe nur sehr langsam zu den Reaktionsprodukten um.

- Brom reagiert mit Hexan langsam und erst bei Lichteinwirkung zu Bromwasserstoff und Bromhexan (↗ Experiment 2, S. 5).

▶ Jede chemische Reaktion läuft in einer bestimmten Zeit ab.

Es gibt schnell (↗ Experiment 1, S. 5, und Experiment 3) und weniger schnell (↗ Experiment 2, S. 5) verlaufende chemische Reaktionen.

- Die unedlen Metalle Magnesium und Eisen reagieren unterschiedlich schnell mit der gleichen Säurelösung unter Bildung von Wasserstoff (↗ Experiment 4). Magnesium wird in kürzerer Zeit umgesetzt als Eisen. Ein vorher festgelegtes Volumen an Wasserstoff entsteht bei der chemischen Reaktion mit Magnesium eher als mit Eisen. Die Reaktion von Magnesium mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure verläuft also schneller als die mit Eisen.

Auch die Bedingungen, unter denen eine chemische Reaktion verläuft, sind ausschlaggebend für deren Geschwindigkeit. Wie wäre sonst zu erklären, daß viele Lebensmittel, die nicht kühl gelagert werden, schnell verderben. Farbanstriche härten meist bei warmem, trockenem Wetter schneller aus als bei niedrigen Temperaturen.

Durch welche Größen kann die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion gemessen werden? Von welchen Faktoren ist die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion abhängig?

In der Physik wird angegeben, mit welcher *Geschwindigkeit* sich Körper bewegen. Diese physikalische Größe ist so nicht übertragbar auf den Verlauf einer chemischen Reaktion.

① ② ③

Konzentrationsänderungen von reagierenden Stoffen

5
▼ Eine violette Kaliumpermanganatlösung wird mit einer farblosen Säurelösung (wässrige Lösung eines Gemischs aus Oxalsäure und Schwefelsäure) versetzt. Die Zeit von der Zugabe der farblosen Lösung bis zur Entfärbung des Stoffgemischs ist zu messen.

6
▼ Aus einem Meßgefäß wird angefarbtes Wasser mit Hilfe eines als Stechheber dienenden Glasrohrs entnommen und in nebeneinander stehende Reagenzgläser gegeben (↗ Abb. 3, S. 11). Das verbleibende Wasservolumen ist nach jeder Entnahme abzulesen und zu notieren. Die entnommenen Wasservolumen sind zu vergleichen.

Größen, die sich im Verlauf der chemischen Reaktion ändern, können zur Bestimmung der Geschwindigkeit der chemischen Reaktion dienen. Es wäre möglich, sowohl den Verbrauch eines Ausgangsstoffs als auch das Entstehen eines Reaktionsprodukts in einer bestimmten Zeit zu ermitteln. Je nach der Zweckmäßigkeit könnte die *Massenänderung* oder die *Volumenänderung* eines an der chemischen Reaktion beteiligten Stoffes in einer bestimmten Zeit angegeben werden. Um die Änderung dieser Größen zu bestimmen, ist es erforderlich, die Zusammensetzung von Stoffgemischen zu kennzeichnen.

Angaben zur Zusammensetzung von Stoffgemischen. Zur Angabe der Zusammensetzung eines Stoffgemischs benutzt man verschiedene Größen. Vor allem die Stoffmenge, die Masse oder das Volumen jedes Bestandteils im Stoffgemisch werden herangezogen.

- ① Wie ist die Geschwindigkeit, mit der sich Körper bewegen, definiert (↗ Physik, Klasse 6)?
- ② Begründen Sie die Aussage, daß die physikalische Größe Geschwindigkeit zur Kennzeichnung des Reaktionsverlaufs nicht geeignet ist! Denken Sie daran, wie diese Größe im Physikunterricht definiert wurde!
- ③ Entwickeln Sie Vorschläge, wie man vorgehen könnte, um die Geschwindigkeit der chemischen Reaktion von verdünnter Chlorwasserstoffsäure mit Magnesium und mit Eisen vergleichen zu können!
- ④ Erläutern Sie die Aussage: In einer Starterbatterie des Autos ist eine etwa 37%ige Schwefelsäure enthalten!
- ⑤ Erläutern Sie die Angabe auf dem Etikett einer Brennspritusflasche!
- ⑥ 1 l Säurelösung enthält 98 g Schwefelsäure. Welche Stoffmengenkonzentration hat die Schwefelsäure in der Lösung? Beachten Sie den Zusammenhang zwischen Masse und Stoffmenge!
- ⑦ 40 g Natriumhydroxid beziehungsweise 56 g Kaliumhydroxid sind jeweils in 1 l Hydroxidlösung enthalten. Weshalb ist es gerechtfertigt zu sagen, in beiden Lösungen hat der gelöste Stoff die gleiche Stoffmengenkonzentration?
- ⑧* Welche Möglichkeiten sehen Sie, die Stoffmengenkonzentration an Natriumchlorid in einer wässrigen Lösung von $1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$ auf $2 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$ zu erhöhen?

So kann die Zusammensetzung eines Stoffgemischs durch die Massenanteile oder die Volumenanteile der Bestandteile angegeben werden. Der **Massenanteil** eines Stoffs in einem Stoffgemisch ist der Quotient aus der Masse dieses Stoffs und der Gesamtmasse des Gemischs.

- Handelsübliche wässrige Schwefelsäurelösung hat einen Massenanteil an Schwefelsäure von 9%. das heißt: 9 g Schwefelsäure sind in 100 g Schwefelsäurelösung enthalten. ④

Die Zusammensetzung von Gasgemischen wird oft durch den Volumenanteil angegeben. Der **Volumenanteil** eines gasförmigen Stoffs in einem Gasgemisch ist der Quotient aus dem Volumen dieses Stoffs und dem Gesamtvolumen des Gemischs.

- Der Volumenanteil des Sauerstoffs in der Luft beträgt rund 20%, das heißt: 100 l Luft enthalten rund 20 l Sauerstoff. ⑤

Zur Angabe der Zusammensetzung von Lösungen wird vorwiegend die **Stoffmengenkonzentration C** eines Stoffs verwendet. Die Stoffmengenkonzentration C eines Stoffs ist der Quotient aus der Stoffmenge n des gelösten Stoffs und dem Volumen V der Lösung:

$$C = \frac{n}{V}. \text{ Die Einheit dieser Größe ist } \frac{\text{mol}}{\text{l}}.$$

- Handelsübliche konzentrierte Natriumhydroxidlösung hat eine Stoffmengenkonzentration an Natriumhydroxid $C_{\text{NaOH}} = 11 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$. Das heißt: 1 l Natriumhydroxidlösung enthält die Stoffmenge von 11 mol Natriumhydroxid. ⑥ ⑦ ⑧

► **Die Stoffmengenkonzentration eines gelösten Stoffs ist der Quotient aus der Stoffmenge dieses Stoffs und dem Volumen der Lösung.**

Eine der Größen, die sich im Verlauf der chemischen Reaktion ändert, ist die Stoffmengenkonzentration, kurz als Konzentration bezeichnet.

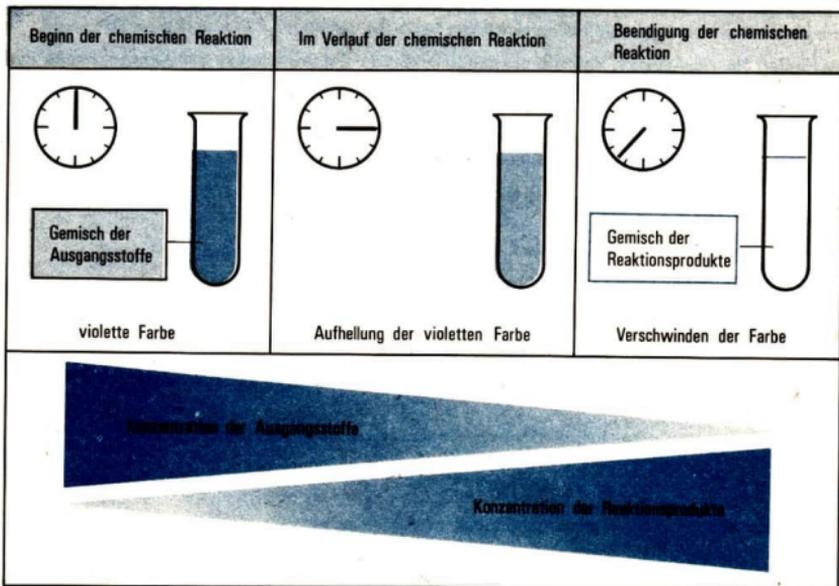


Abb. 2 Konzentration der Stoffe im Verlauf der chemischen Reaktion

Konzentrationen der Stoffe im Verlauf der chemischen Reaktion. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Konzentration der Stoffe und der Zeit im Verlauf der chemischen Reaktion?

Im Verlauf der chemischen Reaktion nimmt die Konzentration der Ausgangsstoffe ab. Gleichzeitig nimmt die Konzentration der Reaktionsprodukte zu. Eine rasche Abnahme der Konzentration der Ausgangsstoffe in einer bestimmten Zeit bedeutet ein schnelles Fortschreiten der chemischen Reaktion.

Die Abnahme der Konzentration der Ausgangsstoffe im Verlauf einer chemischen Reaktion läßt sich beispielsweise an der Entfärbung eines Stoffgemischs beobachten (Experiment 5).

Die violette Farbe einer Lösung von Kaliumpermanganat hellt sich nach Zugabe einer farblosen Säurelösung allmählich auf. Die Konzentration an Kaliumpermanganat in der Lösung verringert sich durch die ablaufende chemische Reaktion. Im Verlauf der chemischen Reaktion verschwindet die violette Farbe vollständig (Abb. 2).

Bei Experiment 5 läßt sich nicht beobachten, daß die Konzentration der Ausgangsstoffe im Reaktionsverlauf nicht gleichmäßig abnimmt. Nach Beginn der chemischen Reaktion verringert sich die Konzentration der Ausgangsstoffe in einer bestimmten Zeit stärker als gegen Ende der chemischen Reaktion. Gegen Ende der chemischen Reaktion sind die miteinander reagierenden Ausgangsstoffe bereits weitgehend umgesetzt; die chemische Reaktion verläuft immer langsamer.

Ein Modellexperiment (Experiment 6) verdeutlicht diesen Zusammenhang zwischen der Konzentration der Ausgangsstoffe und der Zeit. Im Modellexperiment wird der Verlauf einer chemischen Reaktion durch die Entnahme von Wasser mittels eines Stechhebers aus einem Meßgefäß nachgebildet. Die Verringerung des Wasservolumens im Meßgefäß ist ein Modell für die Abnahme der Konzentration der Ausgangsstoffe (Abb. 3).

- ① Erläutern Sie den Verlauf der chemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff! Benutzen Sie die Begriffe Konzentration, Konzentrationsänderung und Reaktionsgeschwindigkeit!

Im Verlauf der chemischen Reaktion verringert sich also die Konzentration der Ausgangsstoffe ständig. Die Konzentrationsänderung wird aber im Verlauf der chemischen Reaktion immer kleiner.

- Im Verlauf der chemischen Reaktion nimmt die Konzentration der Ausgangsstoffe ständig, aber nicht gleichmäßig ab.

Begriff Reaktionsgeschwindigkeit. Bei jeder chemischen Reaktion besteht ein Zusammenhang zwischen den Konzentrationen der Stoffe, die an der chemischen Reaktion beteiligt sind, und der Zeit. Die chemische Reaktion verläuft um so schneller, je größer die Konzentrationsänderung in einer bestimmten Zeit ist. Das Verhältnis der Konzentrationsänderung zu der dafür benötigten Zeit ist die **Reaktionsgeschwindigkeit**. Ändert sich die Konzentration der Stoffe schnell, ist die Reaktionsgeschwindigkeit groß. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird im Verlauf der chemischen Reaktion mit zunehmender Zeit immer kleiner. ①

Die Abhängigkeit der Konzentration der Stoffe von der Zeit im Verlauf der chemischen Reaktion kann in einem Diagramm grafisch dargestellt werden (Abb. 4).

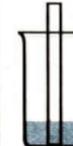
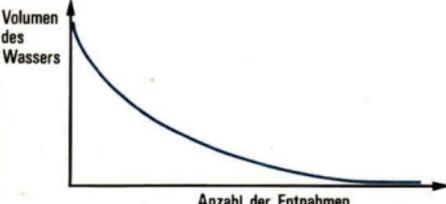
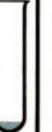
| MODELL | des Verlaufs einer chemischen Reaktion | | | | WIRKLICHKEIT |
|--|--|---|---|---|---|
| Anzahl der Entnahmen | 0 | 1 | 2 | ... n | Zeit |
| Veränderung des Volumens im Meßgefäß durch Entnahme von Wasser |  |  |  |  | Veränderung der Konzentration der Ausgangsstoffe im Verlauf der Reaktion |
| Grafische Darstellung des Volumens im Meßgefäß in Abhängigkeit von der Anzahl der Entnahmen von Wasser |  | | | | Grafische Darstellung der Konzentration der Ausgangsstoffe in Abhängigkeit von der Zeit |
| Volumen des entnommenen Wassers bei jeweils gleicher Anzahl von Entnahmen | |  |  |  ...  | Konzentrationsänderung der Ausgangsstoffe in jeweils gleicher Zeit |

Abb. 3 Modellexperiment für den Zusammenhang zwischen der Konzentration der Stoffe und der Zeit im Verlauf der chemischen Reaktion

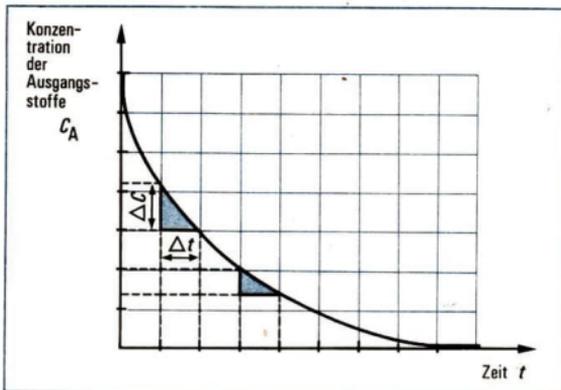


Abb. 4 Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Konzentration der Ausgangsstoffe und der Zeit im Verlauf der chemischen Reaktion

Die im Diagramm an der Kurve eingetragenen Dreiecke verdeutlichen die Konzentrationsänderungen ΔC in jeweils gleichen Zeiten Δt . Es ist abzulesen, daß die Reaktionsgeschwindigkeit v zu verschiedenen Zeiten im Verlauf der chemischen Reaktion unterschiedlich ist.

①②

Diese Erkenntnis ist für die Wirtschaftlichkeit chemisch-technischer Verfahren bedeutungsvoll. Technisch genutzte chemische Reaktionen werden abgebrochen, sobald die Reaktionsgeschwindigkeit gegen Ende der chemischen Reaktion so kleine Werte annimmt, daß die Fortführung der chemischen Reaktion nicht mehr wirtschaftlich ist.

Die Reaktionsgeschwindigkeit ist der Quotient aus der Konzentrationsänderung eines an der chemischen Reaktion beteiligten Stoffes und der dazu benötigten Zeit:

$$v = \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration und von der Temperatur

3

7
▼ Chlorwasserstoffsäure unterschiedlicher Konzentration wirkt jeweils auf einen geeigneten Feststoff (Zink beziehungsweise Magnesium oder Kalziumkarbonat) ein (Ch-SE 9/10, Abb. 1). Bei gleicher vorgegebener Zeit ist jeweils das Volumen des entstehenden Gases durch die Höhe der Flüssigkeit im Steigrohr zu markieren und zu den unterschiedlichen Konzentrationen in Beziehung zu setzen.

8
▼ Proben von Kaliumpermanganatlösungen werden mit einer farblosen Säurelösung unterschiedlicher Konzentration (wäßrige Lösung eines Gemischs aus Oxalsäure und Schwefelsäure) versetzt. Die Zeit von der Zugabe der farblosen Lösung bis zur Entfärbung des Stoffgemisches ist jeweils zu messen. Die ermittelten Zeiten sind zu vergleichen.

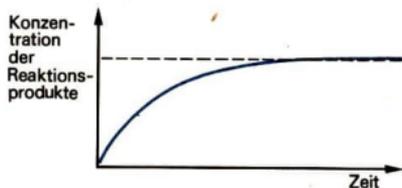
9
▼ Verdünnte Chlorwasserstoffsäure wirkt auf einen geeigneten Feststoff (Zink beziehungsweise Magnesium oder Kalziumkarbonat) bei unterschiedlichen Temperaturen ein (Ch-SE 9/10, Abb. 1). Bei gleicher vorgegebener Zeit ist jeweils das Volumen des entstehenden Gases durch die Höhe der Flüssigkeit im Steigrohr zu markieren und zu den unterschiedlichen Temperaturen (z. B. 20 °C, 30 °C und 60 °C) in Beziehung zu setzen.

- ①* Welche Aussagen können Sie über die Reaktionsgeschwindigkeit machen? Es gilt:

$$\Delta C_1 > \Delta C_2 > \Delta C_3 \dots, \text{ wenn } \Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 \dots = \Delta t$$

Benutzen Sie die Beziehung $v = \frac{\Delta C}{\Delta t}$!

- ②* Der zeitliche Verlauf einer chemischen Reaktion kann auch an der Bildung der Reaktionsprodukte verfolgt werden. Es ist demzufolge auch möglich, die Reaktionsgeschwindigkeit mit der Konzentrationsänderung der Reaktionsprodukte auszudrücken. Interpretieren Sie nebenstehendes Diagramm!



- ③ Gleiche Massen von Magnesium werden in Schwefelsäurelösungen unterschiedlicher Konzentrationen gegeben.

Die Stoffmengenkonzentrationen der Schwefelsäure betragen $C_1 = 1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$ und $C_2 = 3 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$. Formulieren Sie eine Aussage über die Reaktionsgeschwindigkeiten!

- ④ Wie ist die physikalische Größe Druck definiert? Welche Einheit hat diese Größe?

10

Mehrere Proben einer Kaliumpermanganatlösung werden mit einer farblosen Säurelösung (wäßrige Lösung eines Gemischs aus Oxalsäure und Schwefelsäure) bei unterschiedlichen Temperaturen versetzt. Die Zeiten von der Zugabe der farblosen Lösung bis zur Entfärbung des Stoffgemischs sind für die unterschiedlichen Temperaturen zu messen und zu vergleichen.

Konzentrationsabhängigkeit. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist von der Konzentration der reagierenden Stoffe abhängig. Je größer die Konzentration der Ausgangsstoffe, desto größer ist die Reaktionsgeschwindigkeit.

③

Werden für ein und dieselbe chemische Reaktion unterschiedliche Konzentrationen der Ausgangsstoffe zu Beginn der chemischen Reaktion gewählt, so unterscheiden sich auch die Reaktionsgeschwindigkeiten.

- Bei der chemischen Reaktion von Chlorwasserstoffsäure unterschiedlicher Konzentrationen mit Kaliumcarbonat werden jeweils in der gleichen Zeit unterschiedliche Volumen Kohlendioxid gebildet (Experiment 7).

Kaliumpermanganatlösungen entfärben sich bei Zugabe der farblosen Säurelösungen unterschiedlicher Konzentrationen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Experiment 8).

- **Die Reaktionsgeschwindigkeit ist von den Konzentrationen der reagierenden Stoffe abhängig.**

Werden unterschiedliche Konzentrationen der Ausgangsstoffe gewählt, gelingt es, die Reaktionsgeschwindigkeit zu beeinflussen. Deshalb ist die Konzentration als eine **Reaktionsbedingung** aufzufassen. Jede chemische Reaktion hängt von Reaktionsbedingungen ab.

Auch der **Druck** ist eine Reaktionsbedingung. Viele chemische Reaktionen, beispielsweise technisch wichtige Hydrierungen, sind vom Druck abhängig. Die Reaktionsbedingung Druck hat nur Einfluß auf chemische Reaktionen, an denen Gase beteiligt sind. Auf solche chemischen Reaktionen kann deshalb durch Veränderung des Drucks ebenso Einfluß genommen werden wie durch die Veränderung der Konzentration bei Lösungen.

④

- Die Vergasung von Kohle als chemisch-technisches Verfahren der Kohleveredlung, bei dem Mischgas aus Kohle, Luft und Wasserdampf entsteht, wird in Winklergeneratoren bei der Temperatur 800 ... 950 °C und Normaldruck durchgeführt. Bei der *Druckvergasung der Kohle* laufen die chemischen Reaktionen unter Verwendung von Sauerstoff und Wasserdampf bei dem Druck 2 MPa im Druckgas-erzeuger ab. Diese Anlagen werden im VEB Gaskombinat „Schwarze Pumpe“ bei Hoyerswerda eingesetzt. Sie liefern jährlich etwa 2 Milliarden Kubikmeter Gas und arbeiten mit hohem ökonomischem Nutzen. ①
Beim Arbeiten mit Äthin darf der Druck in den technischen Anlagen den Wert 0,25 MPa nicht überschreiten. Die Anlagen explodieren infolge Zerfalls von Äthin, wenn sie nicht ordnungsgemäß betrieben werden. Beim Arbeiten mit Äthin sind deshalb die Sicherheitsbestimmungen genau einzuhalten.

► **Durch zielgerichtete Wahl der Reaktionsbedingung Konzentration oder Druck kann die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht werden.**

Temperaturabhängigkeit. Die Temperatur ist eine Reaktionsbedingung. ②

- Bei der industriellen Herstellung von Chlorwasserstoff aus Wasserstoff und Chlor müssen explosions-sichere Brenner eingesetzt werden. Bei niedrigen Temperaturen ist das Stoffgemisch aus Wasserstoff und Chlor weitgehend beständig, wenn Lichteinwirkung vermieden wird. Erhöhte Temperatur und die bei der chemischen Reaktion freierwerdende Wärme führen hingegen zu einer beträchtlichen Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit, so daß die Stoffe explosionsartig miteinander reagieren. Zementmörtel bindet im Sommer gewöhnlich schneller ab als im Winter.

Die Erfahrung lehrt, daß eine Temperaturerhöhung nahezu alle chemischen Reaktionen beschleunigt.

- Die chemische Reaktion von Chlorwasserstoffsäure mit Kalziumkarbonat verläuft bei der Temperatur 60 °C mit größerer Geschwindigkeit als bei der Temperatur 20 °C (Experiment 9). Bei erhöhter Temperatur entsteht in der gleichen Zeit ein größeres Volumen an Kohlendioxid. ③
Auch die bereits beobachtete chemische Reaktion zwischen der violetten Kaliumpermanganatlösung und der farblosen Säurelösung, erkennbar an dem Verschwinden der Farbe des Stoffgemischs, unterliegt dem Temperatureinfluß (Experiment 10). Die violette Farbe des Stoffgemischs verschwindet zuerst in der Lösung mit der höheren Temperatur und erst später in der Lösung mit der niedrigeren Temperatur.

Die Reaktionsgeschwindigkeit ist also temperaturabhängig. Eine Temperaturerhöhung um 10 K hat im allgemeinen eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit auf das Doppelte bis Dreifache zur Folge.

Die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur wird vor allem auch bei chemisch-technischen Verfahren ausgenutzt. ④ ⑤

- **Die Reaktionsgeschwindigkeit ist von der Temperatur abhängig. Temperaturerhöhung führt zur Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit.**

Verlauf der chemischen Reaktion und die Teilchen der Stoffe

4

Im Verlauf der chemischen Reaktion bilden sich mit bestimmter Geschwindigkeit aus den Teilchen der Ausgangsstoffe die Teilchen der Reaktionsprodukte.

Beim Übergang der Teilchen der Ausgangsstoffe in die der Reaktionsprodukte geschieht folgendes: Die Teilchen der Ausgangsstoffe bewegen sich ungeordnet und regellos; die Teilchen durchmischen sich. Jedes Teilchen kann sich dabei nur auf einer kurzen Strecke ungehindert bewegen. Es stößt dann notwendigerweise mit anderen Teilchen zusammen.

- ① Nennen Sie die wichtigsten Bestandteile des entstehenden Gasgemischs bei der Kohlevergasung!
- ② Geben Sie die Definition der Temperatur an! Welche Einheit hat diese Größe?
- ③* Die chemische Reaktion von Zink mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure wird jeweils bei 30 °C und bei 50 °C durchgeführt. Alle anderen Bedingungen sind gleichartig. Finden Sie heraus, welche der angeführten Aussagen fehlerhaft sind!
 - a) Bei 30 °C wird in gleicher Zeit ein geringeres Volumen Wasserstoff gebildet als bei 50 °C.
 - b) Das gleiche Volumen Wasserstoff entsteht bei 30 °C eher als bei 50 °C.
 - c) Bei 30 °C wird für die Bildung des gleichen Volumens Wasserstoff eine längere Zeit gebraucht als bei 50 °C.
 - d) Das Volumen an gebildetem Kohlendioxid ist bei 30 °C geringer als bei 50 °C in der gleichen Zeit.
- ④ Warum werden chemische Reaktionen in der Technik oftmals bei hohen Temperaturen durchgeführt?
- ⑤ Autoreifen altern durch chemische Reaktionen des Gummis. Welche Lagerungsbedingungen sind nach Ihrer Meinung günstig?
- ⑥ Beschreiben Sie den Vorgang der Teilchenveränderung bei der Bildung von Jodwasserstoffmolekülen aus Wasserstoffmolekülen und Jodmolekülen!
- ⑦* Beschreiben Sie mit Vorstellungen über Teilchen Möglichkeiten, die Konzentration eines Stoffes in einem bestimmten Volumen zu erhöhen!
- ⑧ Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Änderung der Reaktionsgeschwindigkeit im Verlauf einer chemischen Reaktion und der Anzahl der Teilchen der Ausgangsstoffe? Benutzen Sie dazu Abbildung 4, S. 12!

- Die Anzahl der Zusammenstöße, die zwischen Teilchen eines gasförmigen Stoffes in dem Volumen 1 cm^3 in 1 s möglich ist, liegt unter den Bedingungen des Normzustands in der Größenordnung 10^{22} ; sie ist also unvorstellbar groß.

Bei Zusammenstößen zwischen den Teilchen der Ausgangsstoffe können Teilchen der Reaktionsprodukte entstehen. Ein solcher Zusammenstoß zwischen den Teilchen der Ausgangsstoffe führt über die Spaltung und Neuausbildung chemischer Bindungen zu den Teilchen der Reaktionsprodukte. Bei den meisten Zusammenstößen prallen die Teilchen der Ausgangsstoffe jedoch nur wie Billardkugeln aufeinander, wandeln sich aber nicht in die Teilchen der Reaktionsprodukte um. Wird eine große Anzahl von Teilchen der Ausgangsstoffe in solche der Reaktionsprodukte umgewandelt, ist diese Teilchenveränderung als chemische Reaktion beobachtbar. Es entstehen Reaktionsprodukte, die sich durch ihre Eigenschaften von den Ausgangsstoffen unterscheiden. ⑥

Die Vorstellung von den Zusammenstößen, die zu einer Teilchenveränderung führen, ist auch auf den Zusammenhang zwischen Konzentration der Ausgangsstoffe und Reaktionsgeschwindigkeit anwendbar. Konzentrationserhöhung bedeutet Vergrößerung der Anzahl von Teilchen eines Stoffes in einem bestimmten Volumen. Je mehr Teilchen sich in einem bestimmten Volumen bewegen, um so größer ist die Anzahl der wirksamen Zusammenstöße zwischen ihnen. Die häufigeren wirksamen Zusammenstöße zwischen den Teilchen der Ausgangsstoffe in einer bestimmten Zeit äußern sich in einer Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit.

Ebenso verständlich ist, daß die Reaktionsgeschwindigkeit im Verlauf der chemischen Reaktion abnimmt. Die Anzahl der Teilchen der Ausgangsstoffe in einem bestimmten Volumen verringert sich durch die Bildung von Teilchen der Reaktionsprodukte. ⑦ ⑧

- ▶ **Bei jeder chemischen Reaktion wandeln sich die Teilchen der Ausgangsstoffe auf Grund wirksamer Zusammenstöße in die Teilchen der Reaktionsprodukte um. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist um so größer, je größer die Anzahl wirksamer Teilchenzusammenstöße in einer bestimmten Zeit ist.**

Der Druck eines gasförmigen Stoffs ist um so größer, je mehr Teilchen dieses gasförmigen Stoffs in einem bestimmten Volumen enthalten sind. Die Teilchen von Gasen üben durch das Auftreffen auf die Begrenzung des Gasvolumens einen Druck aus. Bei erhöhtem Gasdruck sind auch mehr wirksame Zusammenstöße zwischen den Teilchen möglich. Daraus ist auch zu erklären, daß chemische Reaktionen, an denen gasförmige Stoffe beteiligt sind, im allgemeinen durch Veränderung des Drucks beeinflussbar sind.

Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit durch Katalysatoren

5

11 ▼ Wasserstoffperoxidlösung wird mit Mangan(IV)-oxid versetzt. Das gasförmige Reaktionsprodukt ist nachzuweisen.

12 ▼ Wasserstoffperoxidlösung und Kaliumdichromat werden zusammengebracht.

Reaktionsgeschwindigkeit und Katalysator. Bei der industriellen Herstellung von Chemieprodukten muß in verhältnismäßig kurzer Zeit möglichst viel von dem gewünschten Reaktionsprodukt entstehen. Die chemischen Reaktionen sollen also mit relativ großer Reaktionsgeschwindigkeit verlaufen. Das kann auch durch den Einsatz von **Katalysatoren** erreicht werden. Daher laufen viele chemisch-technische Verfahren in Anwesenheit eines Katalysators ab. Dazu gehören die chemisch-technischen Verfahren zur Herstellung von Polyäthylen, Polyvinylchlorid und Polystyren. Zur Polymerisation des Äthens werden je nach Wahl der Reaktionsbedingungen verschiedene Stoffe als Katalysatoren eingesetzt. Ähnlich verlaufen im lebenden Organismus die Stoffwechselvorgänge, wie die Assimilation durch Photosynthese und die Verdauung, in Anwesenheit von Katalysatoren. Solche Katalysatoren sind zum Beispiel alle Enzyme. ①

■ Wasserstoffperoxid zerfällt sehr langsam in Wasser und Sauerstoff. Die Sauerstoffentwicklung erfolgt schneller, wenn zum Beispiel Mangan(IV)-oxid zugegen ist (Experiment 11).

Bei gleicher Konzentration der Ausgangsstoffe und gleicher Temperatur führt die chemische Reaktion mit Katalysatoren in einer kürzeren Zeit zu der gleichen Konzentration der Reaktionsprodukte wie die chemische Reaktion ohne Katalysator (Abb. 5).

②

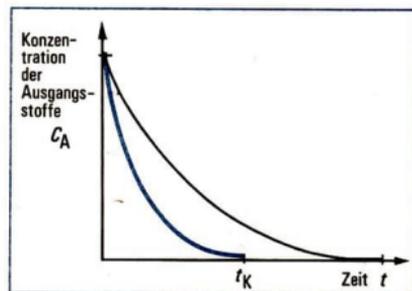


Abb. 5 Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Konzentration der Ausgangsstoffe und der Zeit im Verlauf der chemischen Reaktion mit (blaue Kurvenlinie) und ohne Katalysator

Katalysatoren erhöhen die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Reaktionen.

Manche chemische Reaktionen verlaufen erst bei Anwesenheit eines Katalysators mit ausreichender Reaktionsgeschwindigkeit.

■ Wasserstoff und Sauerstoff reagieren unter den Bedingungen des Normzustands fast nicht: Für die Umsetzung von 0,15 % dieses Gasgemisches bei 9 °C ist die unvorstellbar lange Zeit von

- ① Nennen Sie zwei chemische Reaktionen, bei denen Stoffe als Katalysatoren eingesetzt werden!
- ② Erläutern Sie den Einfluß von Katalysatoren auf die Reaktionsgeschwindigkeit (↗ Abb. 5, S. 16)!
- ③ Weshalb ist es notwendig, technisch eingesetzte Katalysatoren von Zeit zu Zeit zu erneuern?
- ④ Erläutern Sie die selektive Wirkung von Katalysatoren am Beispiel (↗ Übersicht 1, S. 17)!

100 Milliarden (10^{11}) Jahren nötig. Wird aber dieses Gemisch mit fein verteiltem Platin in Berührung gebracht, so reagieren die Stoffe im Bruchteil einer Sekunde und setzen sich vollständig um.

Es gibt auch Stoffe, die im Gegensatz zu den Katalysatoren die Reaktionsgeschwindigkeit verringern, den Verlauf chemischer Reaktionen verzögern. So verhindert der Zusatz bestimmter Stoffe zu Speisefetten, Ölen und Seifen das Ranzigwerden. Antiklopffmittel als Zusatz zu Vergaserkraftstoffen wirken sich hemmend auf unerwünschte Reaktionen in Motoren aus.

Wiederverwendbarkeit von Katalysatoren. Die als Katalysatoren wirkenden Stoffe werden bei der chemischen Reaktion nicht verbraucht.

- Mangan(IV)-oxid (Experiment 11), das nach der chemischen Reaktion aus dem Stoffgemisch entfernt wird, wirkt wiederum in gleicher Weise, wenn es erneut mit Wasserstoffperoxid in Berührung kommt.

Bei chemisch-technischen Verfahren ist es von Zeit zu Zeit notwendig, eingesetzte Katalysatoren zu ergänzen oder zu regenerieren. Durch die mechanische Beanspruchung und den Abrieb fester Katalysatoren in den Reaktionsapparaten kommt es zu Verlusten, obwohl die Katalysatoren durch die chemischen Reaktionen eigentlich nicht verbraucht werden. Auch durch Verunreinigungen der Ausgangsstoffe können Katalysatoren ihre Wirksamkeit verlieren, sie werden „vergiftet“. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, technisch eingesetzte Katalysatoren ständig zu produzieren. Die Herstellung von Katalysatoren für chemisch-technische Verfahren ist ein wichtiger Zweig unserer Chemieindustrie. ③

► **Katalysatoren werden bei chemischen Reaktionen nicht verbraucht.**

Selektive Wirkung von Katalysatoren. Aus gleichen Ausgangsstoffen können in manchen Fällen verschiedene Reaktionsprodukte entstehen. Verschiedene chemische Reaktionen laufen nebeneinander ab. Ein Katalysator erhöht die Reaktionsgeschwindigkeiten der nebeneinander ablaufenden chemischen Reaktionen unterschiedlich. Diese selektive (auswählende) Wirkung von Katalysatoren wird bei chemisch-technischen Verfahren ausgenutzt (Übersicht 1). Es kommt darauf an, durch systematische Forschung den für eine bestimmte chemische Reaktion jeweils wirksamsten Katalysator zu finden. ④

Übersicht 1 Selektive Wirkung von Katalysatoren auf das Gemisch der Ausgangsstoffe Kohlenmonoxid und Wasserstoff

| Aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff lassen sich | |
|--|--|
| in Anwesenheit von Katalysatoren, die u. a. bestehen aus | technisch herstellen |
| Nickel, Kobalt, Eisen Eisen, Kupfer, Kaliumhydroxid Aluminiumoxid, Kaliumkarbonat Kupfer, Chrom(III)-oxid, Zinkoxid | Methan Alkane (außer Methan) und Alkene Alkane mit Kettenverzweigungen Methanol |

Beteiligung des Katalysators an der chemischen Reaktion. Chemische Reaktionen mit Katalysatoren verlaufen meist über die Bildung und den Zerfall von unbeständigen Zwischenverbindungen mit dem Katalysator. Nicht immer sind solche Zwischenverbindungen nachweisbar.



Wasserstoffperoxid zerfällt in Anwesenheit von Kaliumdichromat in Wasser und Sauerstoff. Aus dem farblosen Wasserstoffperoxid und dem orangefarbenen Kaliumdichromat bildet sich zunächst eine intensiv dunkle Zwischenverbindung. Diese Zwischenverbindung zerfällt unter ständiger Farbaufhellung und Gasentwicklung in Wasser und Sauerstoff. Der orangefarbene Katalysator Kaliumdichromat bildet sich zurück (Experiment 12).

Obwohl die Bildung einer Zwischenverbindung gewissermaßen ein „Umweg“ beim Übergang der Ausgangsstoffe in die Reaktionsprodukte ist, führt sie zu einer Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit. Die Aktivierungsenergie ist bei der chemischen Reaktion mit Katalysator geringer als bei der gleichen Reaktion ohne Katalysator. Der direkte Übergang der Ausgangsstoffe in die Reaktionsprodukte läßt sich modellhaft mit einer zwar kurzen, aber unwegsamen, hindernisreichen Wegstrecke vergleichen. Der Übergang unter Beteiligung des Katalysators ist dadurch erleichtert, daß jetzt eine zwar längere, aber dafür bequeme, weit weniger durch Hindernisse erschwerte Wegstrecke möglich wird. Auf diesem Umweg ist das Ziel schneller erreichbar.

Katalysatoren sind durch Bildung und Zerfall unbeständiger Zwischenverbindungen an der chemischen Reaktion beteiligt. Eine chemische Reaktion mit Katalysator verläuft bei geringerer Aktivierungsenergie als die chemische Reaktion ohne diesen Katalysator. ①

Katalysatoren bei chemisch-technischen Verfahren. 90% aller chemisch-technischen Verfahren liegen chemische Reaktionen mit Katalysatoren zugrunde. Oftmals wird erst durch den Einsatz von Katalysatoren die großtechnische Durchführung chemischer Reaktionen möglich. Die technisch genutzten festen Katalysatoren heißen auch **Kontakte**. Durch den Einsatz von Katalysatoren lassen sich kürzere Produktionszeiten erreichen. Nicht die absolut herstellbare Masse eines Reaktionsprodukts wird bei chemischen Reaktionen mit Katalysatoren verändert, sondern die gleiche Masse wird in kürzerer Zeit produziert.

Der Einsatz von Katalysatoren trägt dazu bei, chemisch-technische Verfahren mit möglichst geringem Energieaufwand durchzuführen.

Polyäthylen kann nicht nur bei 200 °C und einem Druck von 100 ··· 200 MPa hergestellt werden. Bei Verwendung bestimmter Katalysatoren ist die Herstellung auch unter Normaldruck und bei Raumtemperatur möglich.

Wissenschaftler und Techniker entwickeln immer wirksamere Katalysatoren. Beispielsweise werden im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ neue Katalysatoren für das Kracken von Erdölfraktionen erprobt und hergestellt. In speziellen Forschungsinstituten der Akademie der Wissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik wird die Suche nach neuen, wirksameren Katalysatoren systematisch betrieben. Für die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Katalysatorforschung wurde 1971 in Nowosibirsk/UdSSR ein Koordinierungszentrum beim Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe gegründet. Wichtige Aufgaben für die Forschung sind:

- ① Stellen Sie den Verlauf einer chemischen Reaktion mit Katalysator dem Verlauf einer chemischen Reaktion ohne Katalysator gegenüber!
- ② Stellen Sie wesentliche Aussagen über die ökonomische Bedeutung des Einsatzes von Katalysatoren bei chemisch-technischen Verfahren zusammen!

das Ausarbeiten katalytischer Verfahren, bei denen die Reaktionsbedingungen durch Einsatz hocheffektiver Katalysatoren den Bedingungen im Normzustand angenähert sind; die Entwicklung von Katalysatoren für Verfahren, die in wenigen Stufen zum gewünschten Reaktionsprodukt führen;

das Nutzen von biochemischen Prozessen mit Katalysatoren für technische Verfahren. Welch große Reserven noch zu erschließen sind, geht aus einem Vergleich der Wirksamkeit von technischen Katalysatoren mit Katalysatoren im biologischen Bereich hervor: Katalysatoren bei physiologischen Prozessen im lebenden Organismus sind bis zu 10^{12} mal wirksamer als Kontakte für chemisch-technische Verfahren. Die Erforschung chemischer Reaktionen, die durch Katalysatoren beeinflusst werden, dient unmittelbar der Steigerung der Produktion unserer Chemieindustrie. ②

Katalysatoren bei biologischen Prozessen. Unter der Wirkung von Enzymen können Stoffwechselvorgänge bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen mit ausreichender Geschwindigkeit verlaufen.

- Beim Abbau von Nährstoffen im menschlichen Körper wird beispielsweise Traubenzucker in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt. Verschiedene Enzyme beeinflussen diese Vorgänge.

In Ägypten, Assyrien und China machten sich die Menschen schon im Altertum solche Vorgänge, wie Teiggewinnung, Brotbacken, Gärung von Trauben und anderen Früchten, zunutze. Aber erst seit etwa 100 Jahren ist der Zusammenhang zwischen diesen enzymatischen Vorgängen und den chemischen Reaktionen mit Katalysatoren bekannt.

- ▶ **Chemische Reaktionen mit Katalysatoren sind sowohl für den lebenden Organismus als auch für chemisch-technische Verfahren von großer Bedeutung.**

Umkehrbare chemische Reaktion – Einstellung des chemischen Gleichgewichts

6

13



Kaliumjodidlösung und Blei(II)-nitratlösung werden im Stoffmengenverhältnis, das der chemischen Gleichung entspricht, zusammengegeben. Nach dem Abfiltrieren des Niederschlags ist das Filtrat mit Silbernitratlösung auf Jodid-Ionen zu prüfen.

14



Angefärbtes Wasser, das sich in einem Meßgefäß befindet, wird in ein gleichartiges Gefäß übertragen. Die Aufteilung des Wassers auf die Gefäße geschieht durch gleichzeitiges, gegenseitiges Übertragen von Wasser mittels Glasrohren, die als Stechheber dienen. Das Volumen des Wassers im Meßgefäß, in dem sich anfangs das gesamte Wasser befindet, ist nach den gegenseitigen Übertragungen jeweils festzustellen (↗ Abb. 7, S. 22).

Vollständiger Stoffumsatz und unvollständiger Stoffumsatz. Bei allen chemischen Reaktionen wandeln sich Stoffe mit unterschiedlicher Reaktionsgeschwindigkeit um.

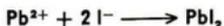
Bisher mußte angenommen werden, daß chemische Reaktionen so lange ablaufen, bis mindestens einer der Ausgangsstoffe **vollständig** umgewandelt worden ist und somit keine Reaktionsprodukte weiter gebildet werden können.

Zink reagiert mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure unter Wasserstoffentwicklung.



Wasserstoff entweicht so lange, bis entweder das Zink oder die Chlorwasserstoffsäure restlos aufgebraucht ist. Reagieren Zink und Chlorwasserstoffsäure in dem der chemischen Gleichung entsprechenden Stoffmengenverhältnis, werden die Ausgangsstoffe vollständig zu den Reaktionsprodukten umgewandelt.

Anders hingegen verhält es sich, wenn Kaliumjodidlösung mit Blei(II)-nitratlösung reagiert. Aus der Lösung fällt das schwerlösliche Blei(II)-jodid aus (Experiment 13). ①



Wird jetzt der kristalline Niederschlag abfiltriert, sind in der Lösung sowohl Blei(II)-Ionen als auch Jodid-Ionen nachweisbar. Das bedeutet: Neben dem Reaktionsprodukt, dem schwerlöslichen Blei(II)-jodid, sind auch die Ausgangsstoffe noch vorhanden. Die chemische Reaktion verläuft offenbar nicht „bis zum Ende“, bis zur vollständigen Umwandlung der Ausgangsstoffe. Bei dieser chemischen Reaktion liegt ein **unvollständiger Stoffumsatz** vor. Es gibt viele chemische Reaktionen, bei denen eine unvollständige Umwandlung der Ausgangsstoffe in die Reaktionsprodukte beobachtet werden kann.

Beim Überleiten von Kohlendioxid über glühende Kohle kann nicht nur das entstehende Kohlenmonoxid, sondern stets auch ein erheblicher Anteil an Kohlendioxid nachgewiesen werden. Diese Erscheinung tritt auch auf, wenn das Gasgemisch mehrfach über glühende Kohle geleitet wird. ②

Vielfach verlaufen chemische Reaktionen nicht bis zur vollständigen Umwandlung der Ausgangsstoffe in Reaktionsprodukte.

Wie ist dieser unvollständige Stoffumsatz zu erklären?

Die Erscheinung kann auch auftreten, wenn die Reaktionsgeschwindigkeit oder die Zeit für die Umwandlung der Stoffe ausreichend gewesen ist. Zu einem unvollständigen Stoffumsatz kommt es auch dann, wenn die richtigen Stoffmengenverhältnisse zwischen den reagierenden Stoffen beachtet werden. Der Grund ist, daß die gebildeten Reaktionsprodukte schon im Verlauf der chemischen Reaktion ebenfalls miteinander reagieren und sich die Ausgangsstoffe zurückbilden.

Umkehrbare chemische Reaktion. Viele chemische Reaktionen sind umkehrbar. Die Reaktionsprodukte einer chemischen Reaktion können auch Ausgangsstoffe einer chemischen Reaktion sein, die in entgegengesetzter Richtung verläuft.

Kalziumkarbonat zerfällt beim Erhitzen in Kalziumoxid und Kohlendioxid.



Es ist auch möglich, daß Kalziumkarbonat aus Kalziumoxid und Kohlendioxid entsteht.



Umkehrbare chemische Reaktionen können in beiden Richtungen verlaufen. Das heißt: Aus den Ausgangsstoffen entstehen Reaktionsprodukte, und aus den Reaktionsprodukten können die ursprünglichen Ausgangsstoffe gebildet werden.

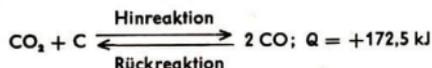
Läuft eine umkehrbare chemische Reaktion in einem *geschlossenen Gefäß* ab, aus dem während der chemischen Reaktion kein Stoff entweichen kann, gehen die Ausgangsstoffe in die Reaktionsprodukte und *gleichzeitig* die Reaktionsprodukte in die ursprünglichen Ausgangsstoffe über. Die Folge ist das gleichzeitige Vorliegen von Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten. Ein unvollständiger Stoffumsatz ist zu beobachten.

Bei der Bildung des Blei(II)-jodids (Experiment 13) liegen nebeneinander die Ionenkristalle von Blei(II)-jodid sowie die Blei(II)-Ionen und die Jodid-Ionen vor. Dies ist mit dem gleichzeitigen Ablauf der Bildung und des Zerfalls von Blei(II)-jodid begründet.

- ① Entwickeln Sie für den Nachweis der Jodid-Ionen die chemische Gleichung in verkürzter Ionenschreibweise!
- ② Wenden Sie den Ausdruck „unvollständiger Stoffumsatz“ auf die chemische Reaktion von Kohlendioxid mit Kohlenstoff an!
- ③ Beschreiben Sie die Hydrierung von Äthen als chemische Reaktion mit unvollständigem Stoffumsatz! Die Hydrierung verläuft exotherm. Entwickeln Sie die chemische Gleichung! Beschreiben Sie bei dieser chemischen Reaktion die Stoff- und Energieumwandlung!
- ④ Erläutern Sie die Dehydrierung von Propan! Ordnen Sie die Hinreaktion und die Rückreaktion den Arten chemischer Reaktionen zu!
- ⑤ Diskutieren Sie anhand des Diagramms (↗ Abb. 6, S. 21) die Kurven für den Verlauf einer chemischen Reaktion mit vollständigem und mit unvollständigem Stoffumsatz!

Eine umkehrbare chemische Reaktion besteht aus einer **Hinreaktion** und einer **Rückreaktion**. Bei der Hinreaktion bilden sich die Reaktionsprodukte; bei der Rückreaktion entstehen die ursprünglichen Ausgangsstoffe wieder. Dies wird durch entgegengesetzt gerichtete Reaktionspfeile in der chemischen Gleichung gekennzeichnet.

- Beim Überleiten von Kohlendioxid über glühende Kohle ist neben Kohlenmonoxid auch stets Kohlendioxid nachweisbar.



Die an der chemischen Gleichung angegebene Reaktionswärme Q bezieht sich immer auf die Hinreaktion. Im Beispiel bedeutet das: Die Bildung von Kohlenmonoxid ist eine endotherme Reaktion.

③ ④

Für eine umkehrbare chemische Reaktion, bei der Hin- und Rückreaktion gleichzeitig ablaufen, läßt sich die Abhängigkeit der Konzentration der Ausgangsstoffe von der Zeit in einem Diagramm grafisch darstellen (Abb. 6). Die Konzentration der Ausgangsstoffe nimmt nur bis zu einem bestimmten konstanten Wert ab. ⑤

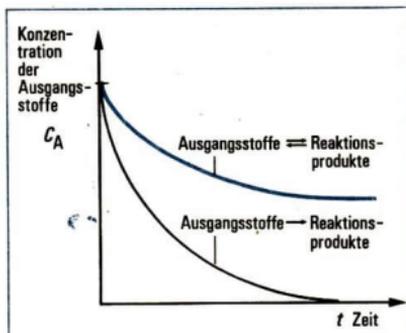


Abb. 6 Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Konzentration der Ausgangsstoffe und der Zeit bei einer chemischen Reaktion mit unvollständigem Stoffumsatz (blaue Kurvenlinie) und einer chemischen Reaktion mit vollständigem Stoffumsatz

Einstellung des chemischen Gleichgewichts. Mit dem bereits bekannten Modell-experiment ist es auch möglich, das gleichzeitige Ablaufen von Hin- und Rückreaktion zu veranschaulichen (Experiment 14).

Mit dem gleichzeitigen, gegenseitigen Übertragen von Wasser werden die Hinreaktion und die Rückreaktion im Modell nachgebildet. Die Veränderung des Wasservolumens im

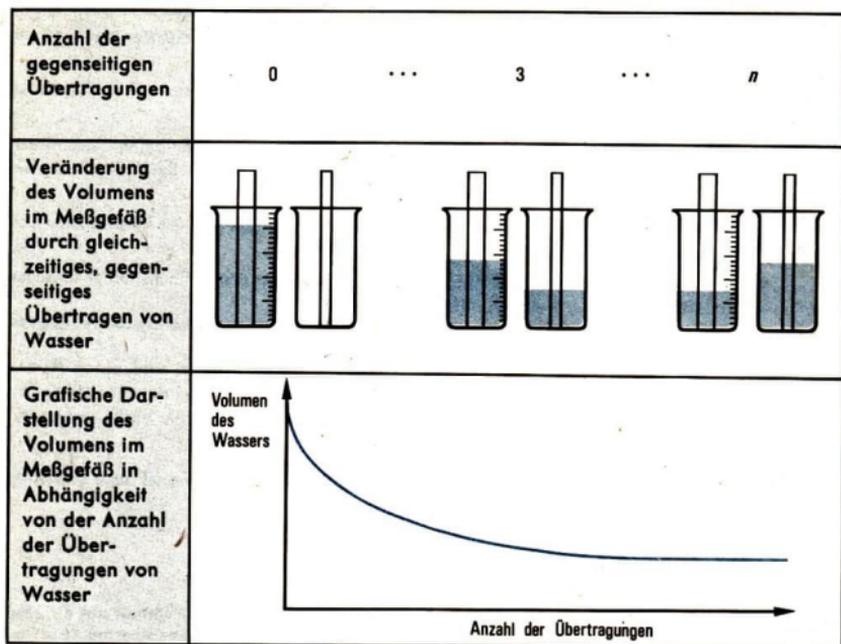


Abb. 7 Modellexperiment zum Verlauf einer umkehrbaren chemischen Reaktion bis zur Einstellung eines chemischen Gleichgewichts

Meßgefäß ist mit der Veränderung der Konzentration der Ausgangsstoffe vergleichbar, jetzt beim gleichzeitigen Ablauf von Hin- und Rückreaktion. Beim gegenseitigen Übertragen von Wasser wird schließlich ein Zustand erreicht, bei dem sich das Wasservolumen im Meßgefäß trotz weiterer Übertragungen nicht mehr ändert. Für diese umkehrbare chemische Reaktion bedeutet das: Es ist keine Konzentrationsänderung mehr feststellbar. Obgleich ständig weiter Reaktionsprodukte und auch Ausgangsstoffe gebildet werden, ändern sich in diesem Zustand die Konzentrationen der Ausgangsstoffe sowie die Konzentrationen der Reaktionsprodukte nicht mehr (Abb. 7).

$$\Delta C = 0$$

Beim Erreichen dieses Zustands ist die Gesamtgeschwindigkeit der umkehrbaren chemischen Reaktion Null.

$$v = 0$$

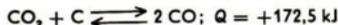
Bei allen umkehrbaren chemischen Reaktionen, die im geschlossenen Gefäß verlaufen, wird dieser Zustand, das **chemische Gleichgewicht**, erreicht. Man sagt: Ein chemisches Gleichgewicht stellt sich nach einer bestimmten Zeit im Reaktionsverlauf ein. ①

Alle umkehrbaren chemischen Reaktionen führen in einem geschlossenen Gefäß zu einem chemischen Gleichgewicht.

Im chemischen Gleichgewicht ändern sich die Konzentrationen der Ausgangsstoffe und die Konzentrationen der Reaktionsprodukte nicht mehr, obgleich die Hinreaktion und die Rückreaktion ständig gleichzeitig ablaufen.

- ① Erläutern Sie die Einstellung eines chemischen Gleichgewichts (↗ Abb. 6, S. 21)!
- ② Begründen Sie den Zusammenhang zwischen Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit und Verkürzung der Einstellzeit eines chemischen Gleichgewichts!
- ③ Erläutern Sie die Bedeutung von Katalysatoren für umkehrbare chemische Reaktionen!

■ Für die chemische Reaktion von Kohlendioxid mit Kohlenstoff



liegt im chemischen Gleichgewicht bei 900 °C Kohlenmonoxid mit einem Volumenanteil von 97% vor, Kohlendioxid nimmt im Gasgemisch nur einen Volumenanteil von 3% ein.

Volumenanteile kennzeichnen in diesem Beispiel die Zusammensetzung eines Gasgemischs. Wegen des proportionalen Zusammenhangs zwischen Stoffmenge und Volumen bei gasförmigen Stoffen ist die Angabe von Volumenanteilen möglich, obgleich sich die Aussagen zum Reaktionsverlauf auf die Konzentrationen der Stoffe beziehen.

Aus dem Beispiel geht hervor, daß die Konzentrationen von Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten im chemischen Gleichgewicht nicht gleich sind. Sie sind aber bei gleichbleibenden Bedingungen konstant, wenn sich ein chemisches Gleichgewicht eingestellt hat. Obwohl weiterhin die Hinreaktion und die Rückreaktion ablaufen, ist kein Stoffumsatz mehr zu beobachten. Die Hinreaktion und die Rückreaktion verlaufen im chemischen Gleichgewicht jeweils mit gleicher Reaktionsgeschwindigkeit: $v_{\text{Hin}} = v_{\text{Rück}}$.

Wegen des fortdauernden Ablaufs von Hinreaktion und Rückreaktion spricht man beim chemischen Gleichgewicht von einem **dynamischen Gleichgewicht**.

▶ **Unter gegebenen Reaktionsbedingungen ist das chemische Gleichgewicht durch folgende Merkmale gekennzeichnet:**

Die Konzentrationen der Ausgangsstoffe und die Konzentrationen der Reaktionsprodukte ändern sich nicht mehr ($\Delta C = 0$).

Die Gesamtgeschwindigkeit für die umkehrbare chemische Reaktion ist Null ($v = 0$), weil die Hinreaktion und die Rückreaktion mit gleicher Geschwindigkeit verlaufen ($v_{\text{Hin}} = v_{\text{Rück}}$).

Bei vielen chemisch-technischen Verfahren laufen in den Reaktionsapparaten umkehrbare chemische Reaktionen ab. Die umkehrbaren chemischen Reaktionen müssen so beeinflusst werden, daß das gesamte chemisch-technische Verfahren wirtschaftlich ist.

Wie läßt sich die Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts verkürzen?

Läßt sich das chemische Gleichgewicht so verändern, daß die gewünschten Reaktionsprodukte in hohen Konzentrationen vorliegen? Wenn ja, wodurch wäre dies möglich?

Katalysator und chemisches Gleichgewicht. Der Einsatz von Katalysatoren als Reaktionsbeschleuniger bietet die Möglichkeit, die **Einstellzeit** des chemischen Gleichgewichts zu verkürzen. Die Zeit für das Einstellen eines chemischen Gleichgewichts hängt mit der Reaktionsgeschwindigkeit zusammen. Je schneller die chemischen Reaktionen verlaufen, desto kürzer ist die Zeit, mit der sich ein chemisches Gleichgewicht einstellt. ②

Die Abnahme der Konzentrationen der Ausgangsstoffe in Abhängigkeit von der Zeit bis zum Einstellen eines chemischen Gleichgewichts kann in einem Diagramm dargestellt werden (Abb. 8). Bei Anwesenheit eines Katalysators stellt sich das chemische Gleichgewicht in einer kürzeren Zeit t_K ein als ohne Katalysator. Die Konzentrationen der reagierenden Stoffe im chemischen Gleichgewicht mit Katalysator stimmen mit den Konzentrationen der reagierenden Stoffe im chemischen Gleichgewicht ohne Katalysator überein. Katalysatoren wirken also auf die Hinreaktion und die Rückreaktion einer umkehrbaren chemischen Reaktion in gleicher Weise ein. ③



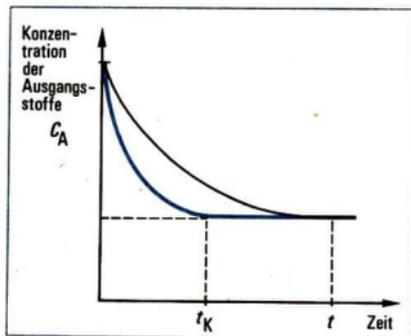


Abb. 8 Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Konzentration der Ausgangsstoffe und der Zeit bei einer umkehrbaren chemischen Reaktion bis zur Einstellung des chemischen Gleichgewichts mit (blaue Kurvenlinie) und ohne Katalysator

Katalysatoren vergrößern die Geschwindigkeit für die Hinreaktion und die Rückreaktion einer umkehrbaren chemischen Reaktion in gleicher Weise. Katalysatoren verkürzen die Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts. Das chemische Gleichgewicht selbst wird dabei nicht verändert.

Temperaturabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts

7

Jodlösung und Stärkelösung werden bei Zimmertemperatur gemischt. Die chemische Reaktion ist bei 50 °C zu wiederholen. Das Stoffgemisch wird stark abgekühlt.

Die Farbe eines Gasgemischs aus Stickstoffdioxid und Distickstofftetroxid ist festzustellen, wenn das verschlossene Glasgefäß in heißes Wasser getaucht, zum anderen stark abgekühlt wird.

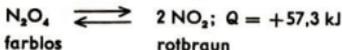
Die Einstellung des chemischen Gleichgewichts wird auch durch Veränderung der Temperatur beeinflusst. Die Temperaturerhöhung wirkt sich jedoch auf die Hinreaktion und die Rückreaktion unterschiedlich aus. Dadurch verändern sich die Konzentrationen der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte. Das chemische Gleichgewicht ist temperaturabhängig.

Die chemische Reaktion von Jod mit Stärke führt bei Zimmertemperatur zur Bildung von Jodstärke in relativ hoher Konzentration, was an der intensiven blauen Farbe der Lösung erkennbar ist. Bei 50 °C entsteht offenbar nur ganz wenig Jodstärke, da das Stoffgemisch farblos bleibt. Wird das Stoffgemisch abgekühlt, bildet sich wiederum mehr Jodstärke (Experiment 15).



Es besteht also ein Zusammenhang zwischen den Konzentrationen der reagierenden Stoffe und der Temperatur.

Farbloses Distickstofftetroxid N_2O_4 zerfällt in rotbraunes Stickstoffdioxid NO_2 , das sich im geschlossenen Gefäß gleichzeitig wieder zu Distickstofftetroxid umwandelt:



Je höher die Temperatur ist, um so intensiver ist die braune Farbe des Gasgemischs (Experiment 16). Beim Erwärmen nimmt die Intensität der braunen Farbe zu, weil der Volumenanteil des Stickstoffdioxids im Gasgemisch wächst (Tab. 1).

- ① Erläutern Sie die Farbänderung des Gasgemischs aus Distickstofftetroxid und Stickstoffdioxid in Abhängigkeit von der Temperatur (↗ Tab. 1, S. 25)!
- ② Ergänzen Sie die Wortgleichung für die umkehrbare chemische Reaktion
 $\text{Jod} + \text{Stärke} \rightleftharpoons \text{Jodstärke}$ (↗ S. 24) durch eine allgemeine Angabe zur Reaktionswärme!
 Begründen Sie diese Angabe!
- ③ Erläutern Sie den Temperatureinfluß auf das chemische Gleichgewicht für die umkehrbare chemische Reaktion $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$; $Q = +172,5 \text{ kJ}$ (↗ Tab. 2, S. 25)!
- ④ Begründen Sie, daß eine möglichst hohe Temperatur zur Bereitstellung von Kohlenmonoxid als Reduktionsmittel (z. B. beim Hochofenprozeß) vorteilhaft ist!

Tabelle 1 Volumenanteile von Distickstofftetroxid und Stickstoffdioxid beim Druck von 0,1 MPa und unterschiedlichen Temperaturen

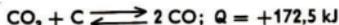
| Temperatur in °C | 27 | 50 | 100 | 135 |
|---|----|----|-----|------|
| Volumenanteil Distickstofftetroxid in % | 80 | 60 | 11 | 1,3 |
| Volumenanteil Stickstoffdioxid in % | 20 | 40 | 89 | 98,7 |

Wie sich eine Temperaturänderung auf das chemische Gleichgewicht auswirkt, ist abhängig von der Reaktionswärme der umkehrbaren chemischen Reaktion.

- Die Bildung von Stickstoffdioxid aus Distickstofftetroxid ist eine endotherme Reaktion. Eine Temperaturerhöhung begünstigt die Bildung desjenigen Stoffs, der bei einer chemischen Reaktion unter Aufnahme von Wärme entsteht. Das ist in diesem Falle Stickstoffdioxid. Wegen der Aufnahme von Wärme bei der endothermen Reaktion fördert eine Temperaturerhöhung diese chemische Reaktion. Hingegen ist die Bildung von Distickstofftetroxid aus Stickstoffdioxid eine exotherme Reaktion. Eine Temperaturerniedrigung begünstigt die Bildung desjenigen Stoffs, der bei einer chemischen Reaktion unter Abgabe von Wärme entsteht. Das ist hier Distickstofftetroxid. Eine Temperaturerhöhung erschwert dagegen die Bildung dieses Stoffs. ① ②

Diese Zusammenhänge sind allgemeingültig. Ein weiteres Beispiel verdeutlicht diese allgemeingültigen Zusammenhänge:

- Kohlendioxid kann durch Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid reduziert werden. Bei der umkehrbaren chemischen Reaktion

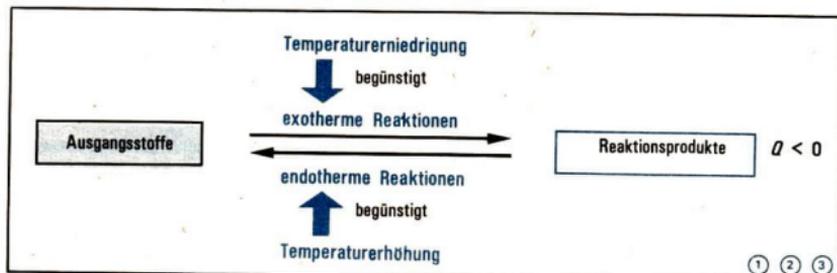


kommt es in Abhängigkeit von der Temperatur zu unterschiedlichen chemischen Gleichgewichten (Tab. 2). ③ ④

Tabelle 2 Volumenanteile von Kohlendioxid und Kohlenmonoxid bei der umkehrbaren chemischen Reaktion $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$; $Q = +172,5 \text{ kJ}$ beim Druck von 0,1 MPa und verschiedenen Temperaturen

| Temperatur in °C | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 950 | 1 000 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Volumenanteil Kohlendioxid in % | 98 | 95 | 77 | 42 | 10 | 3 | 1,5 | 0,7 |
| Volumenanteil Kohlenmonoxid in % | 2 | 5 | 23 | 58 | 90 | 97 | 98,5 | 99,3 |

Bei Veränderung der Reaktionsbedingung Temperatur bildet sich also ein neues chemisches Gleichgewicht aus. Es unterscheidet sich vom vorhergehenden chemischen Gleichgewicht durch andere Konzentrationen der reagierenden Stoffe. Auf exotherme und endotherme Reaktionen wirkt sich eine Temperaturänderung unterschiedlich aus.



Druckabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts 8

Die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser ist in Abhängigkeit vom Druck zu untersuchen. a) In einer geschlossenen Apparatur (Abb. 9a) wird eine Lösung von Kohlendioxid in Wasser, in der sich ein Indikator befindet, einem Unterdruck ausgesetzt. b) In einer geschlossenen Apparatur (Abb. 9b), bei der sich im Reagenzglas Wasser mit einem Indikator befindet und deren gasgefüllter Raum aus Kohlendioxid besteht, wird ein Überdruck erzeugt. Gleichzeitig ist das Reagenzglas zu schütteln.

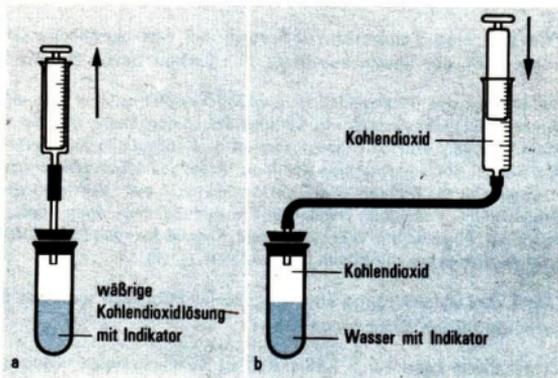
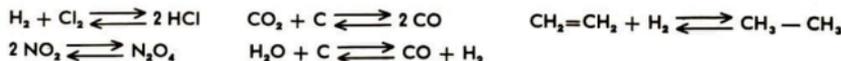


Abb. 9 Geräteanordnung zum Experiment 17

Das chemische Gleichgewicht kann auch *druckabhängig* sein. Bei chemischen Reaktionen, an denen gasförmige Stoffe beteiligt sind, ist der Druck als Reaktionsbedingung besonders zu beachten.



Umkehrbare chemische Reaktionen hängen dann vom Druck ab, wenn die chemischen Reaktionen unter Veränderung des Volumens verlaufen.

Die Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen ergeben sich aus den Stoffmengen gasförmiger Stoffe, die an der chemischen Reaktion beteiligt sind. Zur Vereinfachung betrachtet man die Volumina der Gase nur unter den Bedingungen des Normzustands.

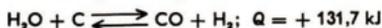
- ① Weisen Sie den Temperatureinfluß auf das chemische Gleichgewicht für die umkehrbare chemische Reaktion $C_2H_4 + H_2 \rightleftharpoons C_2H_6$; $Q = -125 \text{ kJ mol}^{-1}$! Benutzen Sie dazu die folgende Tabelle!

| Temperatur in °C | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1 000 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Volumenanteil Äthen und Wasserstoff in % bei 0,1 MPa | 3 | 6 | 14 | 21 | 33 | 48 |
| Volumenanteil Äthan in % bei 0,1 MPa | 97 | 94 | 86 | 79 | 67 | 52 |

- ② Bestimmen Sie die Wirkung einer Abkühlung auf eine umkehrbare chemische Reaktion, bei der die Bildung eines gewünschten Reaktionsprodukts in exothermer Reaktion erfolgt!



- ③ Die Bildung des Gasgemischs aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff soll begünstigt werden.



Wie ist die Temperatur zu verändern? Begründen Sie Ihre Antwort!

Bei gleichem Druck und gleicher Temperatur haben dann gleiche Stoffmengen verschiedener Gase das gleiche Volumen. Für gleiche Stoffmengen ist das Volumen eines flüssigen oder festen Stoffs gegenüber dem eines Gases vernachlässigbar.

- Bei der umkehrbaren chemischen Reaktion $CO_2 + C \rightleftharpoons 2 CO$ geht aus der chemischen Gleichung hervor, daß die gasförmigen Stoffe Kohlendioxid und Kohlenmonoxid im Stoffmengenverhältnis $n_{CO_2} : n_{CO} = 1:2$ und somit auch im Volumenverhältnis $V_{CO_2} : V_{CO} = 1:2$ vorliegen. Das Volumen der Ausgangsstoffe ist kleiner als das Volumen des Reaktionsprodukts.

Die umkehrbare chemische Reaktion $CO_2 + C \rightleftharpoons 2 CO$ ist druckabhängig. Bei verschiedenen Drücken stellen sich unterschiedliche chemische Gleichgewichte ein (Tab. 3).

Tabelle 3 Volumenanteile von Kohlendioxid und Kohlenmonoxid bei der umkehrbaren chemischen Reaktion $CO_2 + C \rightleftharpoons 2 CO$ bei der Temperatur von 600 °C und verschiedenen Drücken

| Druck in kPa | 9,8 | 19,6 | 39,2 | 56,8 | 78,4 | 98,0 |
|----------------------------------|-----|------|------|------|------|------|
| Volumenanteil Kohlendioxid in % | 50 | 63 | 67 | 71 | 73 | 77 |
| Volumenanteil Kohlenmonoxid in % | 50 | 37 | 33 | 29 | 27 | 23 |

Die Bildung von Kohlenmonoxid aus Kohlendioxid ist eine chemische Reaktion mit Volumenzunahme. Eine Druckerniedrigung begünstigt diese chemische Reaktion; eine Druckerhöhung behindert sie. Dagegen ist die Bildung von Kohlendioxid eine chemische Reaktion mit Volumenabnahme. Diese chemische Reaktion wird durch eine Druckerhöhung begünstigt.

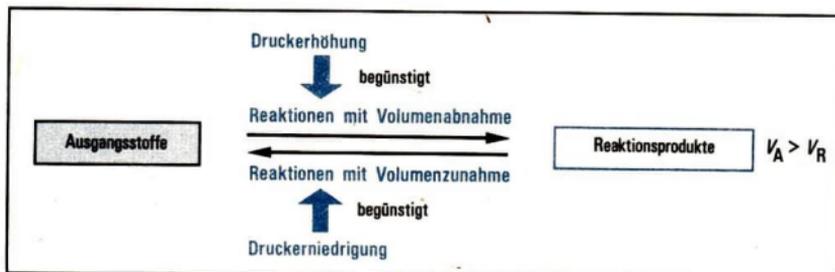
- Es gibt ein chemisch-technisches Verfahren, bei dem von einem Gemisch der Gase Kohlenmonoxid und Wasserstoff in Anwesenheit eines Katalysators bei 180 °C je nach Höhe des Drucks unterschiedlich große Anteile in feste, flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden. Die festen Kohlenwasserstoffe dienen zum Beispiel als Ausgangsstoffe für die Herstellung von Seifen, Leimen, Waschmitteln und Schmiermitteln. Die Umwandlung des Synthesegases in feste Kohlenwasserstoffe erfolgt vor allem bei einer Druckerhöhung (Tab. 4).

Tabelle 4 Druckabhängigkeit der Umwandlung eines Gasgemischs aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff in feste Kohlenwasserstoffe bei 180 °C

| Druck in MPa | 0,1 | 5 | 10 | 100 |
|---|-----|----|----|-----|
| Volumenanteil des umgewandelten Kohlenmonoxids in % | 0 | 48 | 68 | 92 |

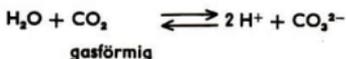
Ändern sich bei umkehrbaren chemischen Reaktionen die Volumen von gasförmigen Stoffen, ist das chemische Gleichgewicht durch eine Druckänderung zu beeinflussen.

① ② ③ ④



Auf diesen allgemeinen Zusammenhang ist auch die unterschiedliche Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser zurückzuführen (Experiment 17).

Kohlendioxid löst sich in Wasser. Es bildet sich zu einem geringen Anteil Kohlensäure, die dissoziiert:



Bei einer Druckerhöhung (Experiment 17b) löst sich mehr Kohlendioxid in Wasser (Nachweis entstehender Wasserstoff-Ionen durch Farbänderung des Indikators), weil das Lösen des Gases mit einer Volumenabnahme verbunden ist. Eine Druckerniedrigung (Experiment 17a) hat zur Folge, daß Wasser und Kohlendioxid aus der Säurelösung bevorzugt gebildet werden (erkennbar durch entstehende Gasblasen sowie durch gegenläufige Farbänderung des Indikators).

Die Konzentrationen der reagierenden Stoffe verändern sich in Abhängigkeit von der Reaktionsbedingung Druck.

Zusammenfassende Betrachtung

9

Einfluß von Temperatur und Druck auf chemische Gleichgewichte. Umkehrbare chemische Reaktionen sind von den Reaktionsbedingungen Temperatur und Druck abhängig. Unter gleichen Reaktionsbedingungen stellt sich bei einer umkehrbaren chemischen Reaktion stets das gleiche chemische Gleichgewicht ein. Eine Veränderung der Reaktionsbedingungen wirkt sich auf die Hinreaktion und die Rückreaktion einer umkehrbaren chemischen Reaktion unterschiedlich aus. Dadurch ändern sich die Konzentrationen der reagierenden Stoffe. Ein neues chemisches Gleichgewicht stellt sich ein.

Die Entdeckung des gesetzmäßigen Wirkens der Reaktionsbedingungen auf chemische Gleichgewichte gelang dem französischen Chemiker und Bergingenieur *Le Chatelier* (Abb. 10).

- ① Erläutern Sie die Gesetzmäßigkeit über den Druckeinfluß auf das chemische Gleichgewicht am Beispiel der umkehrbaren chemischen Reaktion $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$ (s. Tab. 3, S. 27)!
- ② Bestimmen und begründen Sie die Wirkung einer Druckerhöhung auf die umkehrbare chemische Reaktion
 $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6$!
- ③ Bei der umkehrbaren chemischen Reaktion $2 \text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ soll die Bildung des braunen Stickstoffdioxids NO_2 begünstigt werden. Wie ist der Druck zu gestalten? Begründen Sie Ihre Antwort!
- ④ Begründen Sie, daß auf die umkehrbare chemische Reaktion $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HCl}$ eine Veränderung des Drucks keinen Einfluß hat, wenn die chemische Reaktion im abgeschlossenen Gefäß abläuft!
- ⑤ Formulieren Sie die Gesetzmäßigkeiten für die Temperaturabhängigkeit und die Druckabhängigkeit chemischer Gleichgewichte!
- ⑥ Diskutieren Sie an der umkehrbaren chemischen Reaktion $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6$; $Q = -125 \text{ kJ}$ die Wirkung von a) Temperaturänderungen, b) Druckänderungen!

Abb. 10

Henry Le Chatelier (1850 bis 1936) lebte in einer Zeit, in der wesentliche Erkenntnisse über die physikalische Chemie und die chemische Technologie gewonnen wurden. Durch seine wissenschaftlichen Untersuchungen über den Einfluß von Druck und Temperatur auf umkehrbare Vorgänge, die er 1884 veröffentlichte, hatte Le Chatelier die entscheidenden Voraussetzungen für die Entwicklung der Lehre vom chemischen Gleichgewicht geschaffen. Er stützte seine Erkenntnisse durch zahlreiche quantitative Experimente.

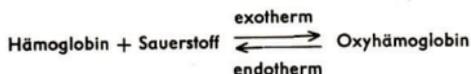
Le Chatelier förderte mit seinen wissenschaftlichen Untersuchungen außerdem die Entwicklung der Technik. Er ermöglichte die Verwendung von Bauxit als Ausgangsstoff für die technische Herstellung von Aluminium und untersuchte die Eigenschaften von Metallegierungen.



Auch für physikalische Vorgänge, bei denen sich ein dynamisches Gleichgewicht einstellt, erkannte er den Zusammenhang zwischen den Bedingungen und dem Ablauf eines solchen Vorgangs. Er formulierte ein Prinzip, das Aussagen über den Einfluß von Bedingungen auf Vorgänge, bei denen sich dynamische Gleichgewichte einstellen, ermöglicht. Das Prinzip von Le Chatelier erfaßt somit auch die Regeln für die Temperaturabhängigkeit und die Druckabhängigkeit chemischer Gleichgewichte. ⑤ ⑥

Die Gesetzmäßigkeit über das Wirken der Reaktionsbedingungen auf umkehrbare chemische Reaktionen hat nicht nur für chemisch-technische Verfahren große Bedeutung. Auch physiologische Vorgänge lassen sich damit erklären.

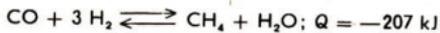
Der Sauerstofftransport durch das Blut erfolgt über die Bildung und den Zerfall von Oxyhämoglobin. Der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, bildet mit dem eingeatmeten Sauerstoff Oxyhämoglobin, das in die genannten Stoffe wieder zerfällt:



Eine Temperaturerhöhung, zum Beispiel bei Fieber, führt zur Verschlechterung des Sauerstofftransports, weil bei erhöhter Temperatur die Bildung von Oxyhämoglobin erschwert ist. Hinzu kommt die verringerte Löslichkeit von Sauerstoff in der Blufflüssigkeit bei einer Temperaturerhöhung, was den

Organismus schwächt. Umgekehrt kann die Aufnahme von Sauerstoff in den Lungenbläschen durch eine Temperaturniedrigung gefördert werden. Die bei manchen chirurgischen Eingriffen angewandte Unterkühlung hat gleichzeitig einen verringerten Sauerstoffbedarf sämtlicher Zellen zur Folge und verlangsamt damit den Abbau von Nährstoffen. Die Volumenabnahme bei der chemischen Reaktion des Hämoglobins mit Sauerstoff hat zur Folge, daß Druckerniedrigung die Bildung von Oxyhämoglobin zurückdrängt. Beim Aufenthalt des Menschen in großen Höhenlagen steht der Organismus unter vermindertem Druck. Dann wird der Stoffwechsel durch Behinderung des Sauerstofftransports erschwert.

Bei verschiedenen chemisch-technischen Verfahren wird ein Gemisch der Gase Wasserstoff und Kohlenmonoxid eingesetzt. Aus diesen beiden Ausgangsstoffen können in Abhängigkeit von den Reaktionsbedingungen Temperatur und Druck und vom Katalysator (z. B. Nickel, Eisen und Zinkoxid) ganz unterschiedliche Reaktionsprodukte entstehen (↗ Übersicht 1, S. 17). Zu den wichtigen Reaktionsprodukten gehört auch Methan.



Da Kohlenmonoxid und Wasserstoff im chemisch-technischen Verfahren bei 250 °C nur sehr langsam miteinander reagieren, wird ein Nickel- oder auch Eisenkatalysator eingesetzt. Die chemische Reaktion ist zur Feinreinigung von Synthesegas geeignet. Bei hohen Temperaturen (etwa 850 °C) entsteht aus Methan und Wasserdampf in Gegenwart eines Nickelkatalysators wieder Kohlenmonoxid und Wasserstoff. ① ② ③ ④

Bei umkehrbaren chemischen Reaktionen ist trotz günstiger Reaktionsbedingungen eine vollständige Umwandlung der Ausgangsstoffe in die Reaktionsprodukte nicht möglich. Abhängig von den Reaktionsbedingungen entstehen die Stoffe in unterschiedlichen Konzentrationen. Deshalb ergibt sich für chemisch-technische Verfahren die Frage:

Wie kann möglichst viel an gewünschten Reaktionsprodukten in möglichst kurzer Zeit gebildet werden?

Diese Frage läßt sich mit Kenntnissen über den Verlauf chemischer Reaktionen beantworten. Aber außer den naturwissenschaftlichen gesetzmäßigen Zusammenhängen zwischen Reaktionsbedingungen und Reaktionsverlauf spielen auch andere Faktoren eine wesentliche Rolle. Solche Faktoren sind zum Beispiel der Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Druck in den Reaktionsapparaten und der Materialbeanspruchung, die Verfügbarkeit geeigneter Katalysatoren sowie die Beachtung des Arbeitsschutzes.

Beschreibung der chemischen Reaktion. Zusammengefaßt wird die chemische Reaktion jetzt gekennzeichnet als

► **Vorgang der Stoffumwandlung, der mit einer Energieumwandlung verbunden ist.**

Dieser Vorgang verläuft mit einer bestimmten Geschwindigkeit, der **Reaktionsgeschwindigkeit**. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist durch die Veränderung der **Reaktionsbedingungen** sowie durch den Einsatz von **Katalysatoren** zu beeinflussen.

Unter gegebenen Reaktionsbedingungen stellt sich ein **chemisches Gleichgewicht** ein, wenn der Vorgang **umkehrbar** ist und die Hinreaktion und die Rückreaktion **gleichzeitig** im geschlossenen Gefäß verlaufen.

► **Vorgang der Teilchenveränderung, die mit dem Umbau chemischer Bindungen verbunden ist.**

Diese Teilchenveränderung wird durch wirksame Zusammenstöße zwischen den Teilchen der reagierenden Stoffe bewirkt. ⑤

- ① Erläutern Sie die chemischen Grundlagen der Vergasung von Kohle!
- ② Wenden Sie Ihre Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen Reaktionsbedingungen und chemischem Gleichgewicht auf folgende umkehrbare chemische Reaktionen an!

$$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3 \text{H}_2; Q = +207 \text{ kJ}$$
- ③* Die Reaktion von Methan mit Wasserdampf unter Bildung von Kohlenmonoxid und Wasserstoff ist eine endotherme Reaktion ($Q = +207 \text{ kJ}$). In der Technik wird diese chemische Reaktion mit der chemischen Reaktion zwischen Methan und Sauerstoff kombiniert.

$$2 \text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{CO} + 4 \text{H}_2; Q = -71 \text{ kJ}$$

Überlegen Sie, aus welchen Gründen eine solche Kombination der beiden chemischen Reaktionen in einem chemisch-technischen Verfahren angewendet wird!
- ④ Begründen Sie, daß für die Bildung von Methan eine Temperaturerhöhung keine günstige Möglichkeit zur Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit bei der umkehrbaren chemischen Reaktion darstellt!

$$\text{CO} + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}; Q = -207 \text{ kJ}$$
- ⑤ Beschreiben Sie bei der chemischen Reaktion zwischen Propen und Wasserstoff a) die Stoffumwandlung und b) die Teilchenveränderung!

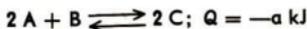
Aufgaben zur Festigung

10

1. Erläutern Sie die für jede chemische Reaktion gültigen wesentlichen Merkmale am Beispiel der Verbrennung von Kohlenstoff! Unterscheiden Sie dabei den Bereich des direkt Beobachtbaren vom Bereich der Teilchen!
2. Ermitteln Sie die Stoffmengenkonzentrationen an gelöstem Stoff (in $\frac{\text{mol}}{\text{l}}$) für folgende

Lösungen: 1 l Lösung enthält jeweils

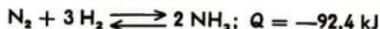
- a) 20 g Natriumhydroxid, b) 63 g Salpetersäure, c) 255,5 g Chlorwasserstoff!
3. Nennen Sie Merkmale des chemischen Gleichgewichts!
4. Welche Wirkung hat eine Temperaturerhöhung a) auf die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion, b) auf das chemische Gleichgewicht?
5. Beschreiben Sie den Einfluß von Katalysatoren a) auf den Verlauf chemischer Reaktionen, b) auf umkehrbare chemische Reaktionen im geschlossenen Gefäß!
6. Vergleichen Sie eine umkehrbare chemische Reaktion mit und ohne Katalysator in bezug auf
 - a) die Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts,
 - b) die Konzentrationen der reagierenden Stoffe,
 - c) die absolut herstellbare Masse der Reaktionsprodukte,
 - d) die produzierbare Masse der Reaktionsprodukte in einer bestimmten Zeit und
 - e) die Reaktionswärme!
7. Erläutern Sie den Einfluß von Druck und Temperatur für die umkehrbare chemische Reaktion, die durch die allgemeine Form der chemischen Gleichung gekennzeichnet wird:



A, B und C sind gasförmige Stoffe.

- a) Wie wirkt sich eine Druckerhöhung auf diese umkehrbare chemische Reaktion aus?
- b) Welchen Einfluß hat eine Temperaturerniedrigung auf diese umkehrbare chemische Reaktion?

8. Die technische Herstellung des gasförmigen Ammoniaks, das für die Stickstoffdüngung sowie für die Produktion einiger Plaste und Chemiefaserstoffe wichtig ist, erfolgt aus Stickstoff und Wasserstoff.



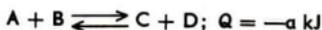
Volumenanteile des Ammoniaks in Prozent bei verschiedenen Temperaturen und Drücken

| Temperatur in °C | Druck in MPa | | | | | |
|------------------|--------------|------|------|------|------|------|
| | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 60 | 100 |
| 200 | 15,3 | 81,5 | 85,8 | 89,9 | 95,4 | 98,3 |
| 300 | 2,18 | 52,0 | 62,8 | 71,0 | 84,2 | 92,6 |
| 400 | 0,44 | 26,1 | 36,3 | 42,0 | 65,2 | 79,8 |
| 500 | 0,13 | 10,6 | 17,6 | 26,4 | 42,2 | 57,5 |
| 600 | 0,05 | 4,5 | 8,3 | 13,8 | 23,1 | 31,4 |
| 700 | 0,02 | 2,2 | 4,1 | 7,3 | 12,6 | 12,9 |

a) Leiten Sie anhand der Tabelle über die Volumenanteile von Ammoniak Aussagen über die Temperatur- und die Druckabhängigkeit dieser umkehrbaren chemischen Reaktion her!

b) Begründen Sie Ihre Aussagen, indem Sie der chemischen Gleichung entsprechende Angaben entnehmen!

9. Die allgemeine Form der chemischen Gleichung



soll eine umkehrbare chemische Reaktion darstellen. A, B, C und D seien gasförmige Stoffe.

a) Nennen Sie die günstigste Temperaturveränderung, um die Bildung von C und D zu bevorzugen! Begründen Sie Ihre Antwort!

b) Warum hat eine Veränderung des Drucks auf dieses chemische Gleichgewicht keinen Einfluß?

c) Was müßte zur schnellen Einstellung des chemischen Gleichgewichts getan werden? Erläutern Sie Ihre Antwort!

10. Beschreiben Sie die Bromierung von Äthen



a) als Vorgang der Stoffumwandlung,

b) als Vorgang der Teilchenveränderung!

Einige organische Stoffe mit einer funktionellen Gruppe im Molekül

Organische Stoffe nutzen Sie täglich, zur Körperpflege, beim Reinigen der Kleidung, bei Reinigungsarbeiten im Haushalt oder beim Zubereiten von Speisen. Schutzanstriche durch Farben und Lacke, die Wiederherstellung der Gesundheit durch Medikamente, die Bekämpfung von Unkräutern und Schadinsekten erfordern den Einsatz organischer Stoffe. Viele dieser organischen Stoffe enthalten neben den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff das Element Sauerstoff. So bekannte Stoffe, wie Alkohol und Essig, gehören dazu. Auch einige Plaste, Arzneimittel, Farbstoffe, Waschmittel und Kosmetika werden aus organischen Stoffen hergestellt, die Sauerstoffatome in den Molekülen enthalten. In diesem Kapitel lernen Sie einige dieser organischen Stoffe kennen, zum Beispiel Sauerstoffverbindungen, die sich von den Alkanen ableiten lassen. Ihr Wissen über die Kohlenwasserstoffe werden Sie anwenden, um sich das neue Wissen anzueignen. Experimente werden Ihnen als Mittel zum Erkennen von Eigenschaften dieser Stoffe dienen.

Alkanole

11

Der bekannte „Alkohol“, Äthylalkohol oder Äthanol, und das Methanol, verwendet als Kraftstoffzusatz für Motoren, sind Alkanole mit technischer Bedeutung.

Ist Alkohol gleich Alkohol? Findet Äthylalkohol nur für alkoholische Getränke Verwendung? Lassen sich Alkanole als Vergaserkraftstoff einsetzen? Was ist Brennspritus?

Diese und andere Fragen können Sie selbst beantworten, nachdem Sie den Bau und die Eigenschaften von Alkanolen kennen.

Bau und Eigenschaften. Alkanole sind bei Zimmertemperatur flüssige oder feste Stoffe. Sie enthalten neben den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff das Element Sauerstoff. Wie bei Alkanmolekülen bilden die Kohlenstoffatome eine Kette. Die Wasserstoffatome sind durch Atombindung an die Kohlenstoffatome gebunden. Im Vergleich zu Molekülen der Alkane befindet sich in Alkanolmolekülen an der Stelle eines Wasserstoffatoms eine **Hydroxylgruppe** —OH. Das ist eine Atomgruppe, die aus einem Sauerstoffatom und einem Wasserstoffatom besteht (Abb. 11).

▶ **Alkanole können als Abkömmlinge der Alkane aufgefaßt werden, bei denen im Molekül ein Wasserstoffatom durch eine Hydroxylgruppe —OH ersetzt ist.**

In den folgenden Abschnitten werden nur Alkanole behandelt, deren Moleküle eine Hydroxylgruppe an einem **endständigen Kohlenstoffatom** enthalten. Diese Alkanole sind

durch die Atomgruppe $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{—C—O—H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ gekennzeichnet. Es gibt auch Alkanole, bei denen die

| Modell des Moleküls | Strukturformel | Vereinfachte Strukturformel | Name |
|---|--|-----------------------------|----------|
|  | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | | Methan |
|  | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | CH ₃ OH | Methanol |

Abb. 11 Vergleich von Methan und Methanol
oben: Modell und Strukturformel vom Methanmolekül
unten: Modell und Strukturformeln vom Methanolemolekül

Hydroxylgruppe an mittelständige Kohlenstoffatome gebunden ist. Die Alkanole gehören zu den Alkoholen.

Alkohole sind organische Stoffe, deren Moleküle Hydroxylgruppen enthalten.

Homologe Reihe. Die Alkanole, wie Methanol, Äthanol, Propanol, Butanol, Pentanol und Hexanol, sind Stoffe einer homologen Reihe (Übersicht 2).

① ② ③

Übersicht 2 Einige Alkanole

| Name | Strukturformel | Vereinfachte Strukturformeln | |
|----------|---|--|----------------------------------|
| Methanol | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \end{array}$ | H-CH ₂ -OH | CH ₃ OH |
| Äthanol | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ | CH ₃ -CH ₂ -OH | C ₂ H ₅ OH |
| Propanol | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ | CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -OH | C ₃ H ₇ OH |
| Butanol | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ | CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -OH | C ₄ H ₉ OH |

- ① Erläutern Sie den Begriff „homologe Reihe“ am Beispiel der Alkane (↗ ChiÜb)!
- ② Begründen Sie die Aussage: Alkane bilden eine homologe Reihe (↗ ChiÜb)!
- ③ Begründen Sie die Aussage: Alkanole bilden eine homologe Reihe!
Werten Sie dazu Übersicht 2 und Abbildung 12 aus! Lesen Sie den Text auf Seite 36 f. über Zusammenhänge zwischen der Struktur der Alkanolmoleküle und Eigenschaften der Alkanole!
- ④ Überprüfen Sie Ihre Sicherheit im Benennen von Alkanen (↗ ChiÜb)
a) bei Vorgabe der Anzahl Kohlenstoffatome im Molekül,
b) bei Vorgabe der Strukturformel!
Arbeiten Sie gegebenenfalls mit einem Partner!
- ⑤ Überprüfen Sie Ihre Sicherheit
a) im Angeben der Anzahl Kohlenstoffatome im Molekül,
b) im Aufstellen der Strukturformel bei vorgegebenem Namen von Alkanen, Alkenen und Alkinen (↗ ChiÜb)!
Arbeiten Sie gegebenenfalls mit einem Partner!
- ⑥ Üben Sie das Benennen der Alkanole mit 1 ... 6 Kohlenstoffatomen im Molekül bei Vorgabe der Anzahl Kohlenstoffatome im Molekül!
Arbeiten Sie gegebenenfalls mit einem Partner!

Benennung. Für die Benennung der Alkanole gilt:

| Bildung des Namens aus | Name des Alkans mit der gleichen Anzahl von Kohlenstoffatomen im Molekül | Endung ol (Kennzeichnung des charakteristischen Strukturmerkmals) |
|------------------------|---|---|
| ■ Äthanol | Äthan | ol |
| Angaben zum Molekül | zwei Kohlenstoffatome im Molekül, durch Einfachbindung verbunden | eine Hydroxylgruppe im Molekül |
| Strukturformel | $ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $ | |

Die Stellung der Hydroxylgruppe am endständigen Kohlenstoffatom ist bei fachwissenschaftlich exakter Benennung im Namen anzugeben. Bei Alkanolen mit mehr als zwei Kohlenstoffatomen im Molekül gilt das endständige Kohlenstoffatom, an das die Hydroxylgruppe gebunden ist, als Kohlenstoffatom 1. Der Name für das entsprechende Propanol ist Propan-1-ol. ④ ⑤ ⑥

Neben dem **systematischen Namen** haben viele organische Stoffe noch einen **Trivialnamen**, der historisch begründet ist. Trivialnamen sind häufig aus dem Vorkommen oder von der Darstellung des Stoffs hergeleitet. Trivialnamen sind in diesem Buch hinter dem systematischen Namen in Klammern angegeben. So ist Äthylalkohol der Trivialname für Äthanol.

Verdünte Natriumhydroxidlösung und ein Gemisch von Methanol und Wasser werden jeweils mit einem Indikator geprüft. ①

In Reagenzgläser oder in Kristallisierschalen auf dem Tageslicht-Schreibprojektor werden jeweils gleiche Stoffmengen Methanol, Propanol und Hexanol gegeben. Nach Zugabe jeweils gleicher Massen Natrium wird jeweils die Zeit bis zur Beendigung der chemischen Reaktionen gemessen. ②

Funktionelle Gruppe. Die Moleküle der Stoffe einer homologen Reihe sind durch gemeinsame Strukturmerkmale gekennzeichnet. Ein gemeinsames Strukturmerkmal der Alkanolmoleküle ist die Hydroxylgruppe. Die Struktur der Moleküle bedingt die chemischen Eigenschaften der Stoffe. ③

Im Gegensatz zu Metallhydroxidlösungen rufen wäßrige Lösungen von Alkanolen bei Indikatoren keine Farbänderung hervor (Experiment 18). Die Hydroxylgruppe ist nicht mit dem Hydroxid-Ion identisch. Sie ist durch Atombindung an das Kohlenstoffatom gebunden. Diese chemische Bindung wird in wäßriger Lösung nicht durch Dissoziation gespalten (Übersicht 3).

Übersicht 3 Vergleich von Hydroxylgruppe und Hydroxid-Ion

| Gesichtspunkte des Vergleichs | Hydroxylgruppe —OH | Hydroxid-Ion OH ⁻ |
|--|--|------------------------------------|
| Beteiligte Elemente | Sauerstoff und Wasserstoff | Sauerstoff und Wasserstoff |
| Anzahl Sauerstoffatome Anzahl Wasserstoffatome | 1 1 | 1 1 |
| Anordnung im Bau der Stoffe | Atomgruppe im Molekül | Ion im Ionenkristall |
| Chemische Bindung zu anderen Teilchen | polare Atombindung | Ionenbeziehung |
| Elektrische Ladung | keine | einfach negativ |
| Eigenschaft der wäßrigen Lösung des betreffenden Stoffes | leitet elektrischen Strom nicht; neutral | leitet elektrischen Strom; basisch |

Methanol und andere Alkanole reagieren mit Natrium. Dabei entsteht als ein Reaktionsprodukt Wasserstoff (Experiment 19). Diese chemische Reaktion ist mit der von Wasser mit Natrium vergleichbar. In jedem Falle wird nur ein Wasserstoffatom je Alkanolmolekül durch ein Natriumatom ersetzt, das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe.

④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧



Die Hydroxylgruppe ist das gemeinsame Strukturmerkmal der Alkanolmoleküle, das die typischen chemischen Eigenschaften der Alkanole bedingt. Solche Atomgruppen in Molekülen organischer Stoffe sind **funktionelle Gruppen**.

Funktionelle Gruppen sind Atomgruppen in den Molekülen, durch die die chemischen Eigenschaften von organischen Stoffen weitgehend bestimmt werden. Die funktionelle Gruppe in den Molekülen der Alkanole ist die Hydroxylgruppe.

- ① a) Welche Farbe ist zu beobachten, wenn verdünnte Kalium- oder Natriumhydroxidlösung zu Unifertlösung gegeben wird?
b) Welche Teilchen werden durch diese Farbe angezeigt (\checkmark ChiÜb)?
- ② a) Geben Sie die Definition für den Begriff Reaktionsgeschwindigkeit an (\checkmark S. 12)!
b) Wie können Reaktionsgeschwindigkeiten gemessen werden?
c) Wie kann die Reaktionsgeschwindigkeit für die chemische Reaktion zwischen einem flüssigen Alkanol und festem Natrium gemessen werden, wenn dabei gasförmiger Wasserstoff entsteht?
d) Erörtern Sie Möglichkeiten zur Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit (\checkmark S. 12)!
- ③ Beweisen Sie am Beispiel der Alkene, daß die chemischen Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe weitgehend durch die Struktur der Moleküle bestimmt werden (\checkmark ChiÜb)!
- ④ Bei jeder chemischen Reaktion findet ein Umbau chemischer Bindungen statt. Erläutern Sie diese Feststellung an der chemischen Reaktion von Alkanolen mit Natrium!
- ⑤ Berechnen Sie die erforderlichen Massen an Natrium und an a) Methanol; b) Propanol; c) Hexanol zum Entwickeln von 50 ml Wasserstoff!
- ⑥ Flüssige Alkanole können verwendet werden, um im Labor kleine Reste Natrium gefahrlos zu beseitigen. Begründen Sie diese Möglichkeit!
- ⑦ Erläutern Sie am Beispiel der Alkanole den Zusammenhang zwischen der Struktur der Moleküle und den Eigenschaften der Stoffe!
- ⑧ Bei der chemischen Reaktion von 2,3 g wasserfreiem Äthanol mit Natrium entstehen im Normzustand bei vollständigem Stoffumsatz 560 ml Wasserstoff. Geben Sie dafür eine Erklärung!

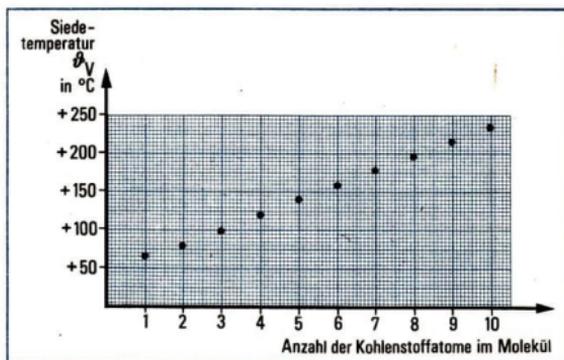


Abb. 12 Siedetemperaturen einiger Alkanole

Die Reaktionsgeschwindigkeiten der chemischen Reaktionen verschiedener Alkanole mit Natrium unterscheiden sich deutlich voneinander (Experiment 19). Die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch die Kettenlänge der Moleküle beeinflusst.

Die unterschiedliche Kettenlänge der Moleküle bedingt auch unterschiedlich starke zwischenmolekulare Kräfte. So steigen die Siedetemperaturen der Alkanole innerhalb der homologen Reihe an (Abb. 12). Aber auch die Hydroxylgruppen in den Molekülen wirken sich auf die Kräfte zwischen den Molekülen aus. Methanol ist bei Zimmertemperatur flüssig, obwohl die Moleküle kleiner sind als beispielsweise die Moleküle des gasförmigen Chloräthans oder des ebenfalls gasförmigen Butans.

► **Durch die funktionelle Gruppe und durch die Länge der Kohlenstoffkette im Molekül werden die Eigenschaften des Alkanols bestimmt.**

Vorsicht! In einer Porzellanschale werden wenige Tropfen Methanol entzündet.
Eine Probe von Speiseöl wird mit Methanol versetzt und geschüttelt.

Bau und Eigenschaften. Methanol CH_3OH ist das Alkanol mit der geringsten Molekülgröße. Es kann als Abkömmling des Methans aufgefaßt werden.

Im Molekül bestehen nur Atombindungen. Die vier Atombindungen, die vom Kohlenstoffatom ausgehen, sind wie beim Methanmolekül nach den vier Eckpunkten eines Tetraeders gerichtet (Abb. 11, S. 34).

① ② ③ ④

Methanol ist eine farblose Flüssigkeit. Es ist brennbar (Experiment 20). Mit Wasser ist es in jedem Verhältnis mischbar. Es besitzt gutes Lösevermögen für viele organische Stoffe (Experiment 21). Methanol ist sehr giftig. Eine durch Trinken aufgenommene Masse von 5 ... 10 g Methanol führt bereits zur Erblindung, 25 g führen zum Tode. Unfälle durch Trinken von Methanol wurden durch den Namen Methylalkohol begünstigt. Dieser Name ist jetzt verboten, um Verwechslungen mit Äthylalkohol vorzubeugen. ⑤

Methanol ist eine farblose, brennbare Flüssigkeit. Methanol ist sehr giftig!

Verwendung. Methanol wird auf Grund seiner Eigenschaften im Gemisch mit anderen Stoffen als Lösungsmittel für Lacke und Firnis verwendet. Es ist auch als Zusatz zu Kraftstoffen geeignet. Der Volumenanteil an Methanol darf dabei bis 7% betragen. Dadurch kann die Leistung entsprechender Motoren erhöht und der Volumenanteil giftiger Abgase gesenkt werden. ⑥

Methanol ist wichtiger Ausgangsstoff für die Herstellung anderer organischer Stoffe. Aus Methanol wird ein wichtiger Ausgangsstoff für die Plastikproduktion hergestellt (↗ S. 52). In modernen Verfahren wird Methanol zur mikrobiellen Futterweißproduktion eingesetzt. ⑦

Herstellung. Methanol wird großtechnisch im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff hergestellt (Abb. 13). Die Ausgangsstoffe lassen sich aus Kohle oder aus Erdgas herstellen. Aus anorganischen Stoffen entsteht ein organischer Stoff. Die Herstellung von Methanol wird als **Methanolsynthese** bezeichnet. ⑧

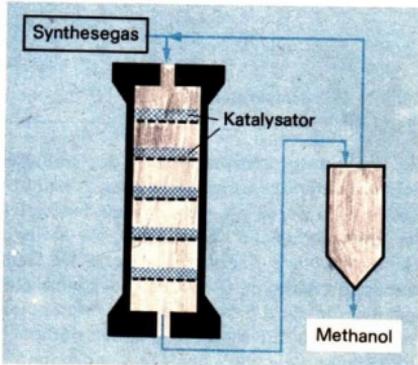
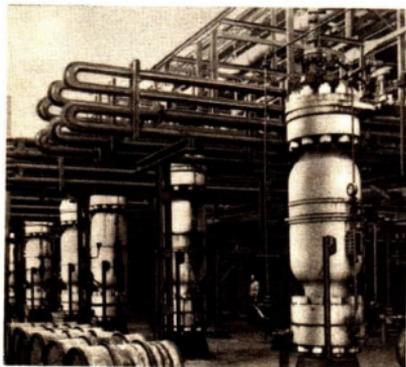


Abb. 13 Anlage zur Synthese von Methanol; links: Anlage im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, rechts: schematische Darstellung eines Reaktors (Schnittzeichnung)

- ① Erläutern Sie am Beispiel des Methanalmoleküls die Atombindung! Welcher Unterschied besteht zur Ionenbeziehung und zur Metallbindung (↗ ChiÜb)?
- ② Erläutern Sie an Beispielen die Einfachbindung, die Doppelbindung und die Dreifachbindung als Formen der Atombindung!
- ③ Begründen Sie die Aussage: Im Methanmolekül liegen Atombindungen vor!
- ④ a) Stellen Sie ein Modell eines Methanalmoleküls her!
b) Beschreiben Sie am Modell die Struktur eines Methanalmoleküls!
- ⑤ Erläutern Sie die Verbrennung von Methanol als Stoff- und Energieumwandlung! Informieren Sie sich über die Nutzung dieser chemischen Reaktion (↗ S. 33)! Entwickeln Sie die chemische Gleichung!
- ⑥ Erörtern Sie die Verwendung von Methanol als Kraftstoffzusatz!
- ⑦ Begründen Sie die erforderliche Methanolproduktion mit Verwendungsmöglichkeiten des Methanols!
- ⑧ Legen Sie dar, wie Kohlenmonoxid und Wasserstoff durch Kohlevergasung hergestellt werden können (↗ ChiÜb)!
- ⑨ a) Nennen Sie die Merkmale des chemischen Gleichgewichts!
b) Erläutern Sie das chemische Gleichgewicht bei der Methanolsynthese!
- ⑩ Legen Sie Möglichkeiten dar, die Konzentrationen der reagierenden Stoffe bei einer umkehrbaren chemischen Reaktion zu beeinflussen! Begründen Sie Ihre Aussagen (↗ S. 24)!
- ⑪ Erörtern Sie Möglichkeiten zur Beeinflussung der Konzentration der reagierenden Stoffe bei der chemischen Reaktion von Kohlenmonoxid mit Wasserstoff!
- ⑫ Begründen Sie die aus Tabelle 5 (↗ S. 39) ablesbare Abhängigkeit der Methanolkonzentration von Druck und Temperatur!



Diese umkehrbare chemische Reaktion führt in einem geschlossenen Gefäß zu einem chemischen Gleichgewicht. Dieses chemische Gleichgewicht ist von Temperatur und Druck abhängig (↗ S. 24). Da die Methanolsynthese exotherm und unter Volumenabnahme verläuft, liegen theoretisch günstige Bedingungen für eine hohe Methanolkonzentration im Stoffgemisch bei hohem Druck und niedriger Temperatur vor. Das gilt auch für die Methanolsynthese im Reaktor (Tab. 5).

⑨ ⑩ ⑪ ⑫

Tabelle 5 Einfluß von Temperatur und Druck auf den theoretisch erreichbaren Volumenanteil an Methanol in % bei der Methanolsynthese

| Temperatur in °C | Druck in MPa | | | |
|------------------|--------------|----------|----------|----------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 200 | etwa 100 | etwa 100 | etwa 100 | etwa 100 |
| 250 | über 90 | etwa 100 | etwa 100 | etwa 100 |
| 300 | 83,9 | 90,5 | 92,8 | 94,2 |
| 350 | 67,2 | 80,5 | 82,5 | 85,5 |
| 400 | 44,4 | 65,8 | 71,6 | 74,6 |

Aus Tabelle 5 ist ersichtlich, daß ein Druck von etwa 20 MPa ausreichend wäre, die Ausgangsstoffe bei einer Temperatur von 200 °C zu 100% in Methanol umzuwandeln. Um die chemische Reaktion in ökonomisch vertretbarer Zeit durchzuführen, ist ein Katalysator er-

forderlich. Im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ wird ein Katalysatorgemisch aus Chromoxid und Zinkoxid verwendet, das seine größte Wirksamkeit bei 380 °C hat. In der Praxis wird deshalb bei 380 °C und 20 MPa gearbeitet. Höherer Druck wäre zwar technisch möglich, aber mit erhöhtem Material- und Energieaufwand verbunden. Günstig wäre der Einsatz eines Katalysators, der bei einer Temperatur von 200 °C wirksam ist. Große Anstrengungen werden deshalb in der Katalysatorforschung unternommen, um noch wirksamere Katalysatoren zu entwickeln. ① ② ③ ④ ⑤ ⑥

► **Die Synthese von Methanol aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff ist eine chemische Reaktion, die von der Temperatur und vom Druck abhängig ist.**

Bei den festgelegten Reaktionsbedingungen Temperatur und Druck ist eine Erhöhung der Konzentration des Methanols möglich, wenn ein Ausgangsstoff im Überschuß eingesetzt wird. Bei der Methanolsynthese reagieren Kohlenmonoxid und Wasserstoff im Volumenverhältnis 1:2. Die beiden Ausgangsstoffe werden aber im Volumenverhältnis 1:2,2 gemischt. Dadurch reagiert mehr Kohlenmonoxid mit Wasserstoff, und es entsteht entsprechend mehr Methanol. Die Verwendung eines Ausgangsstoffs im Überschuß bewirkt einen erhöhten Umsatz des anderen Ausgangsstoffs und begünstigt damit die Bildung des gewünschten Reaktionsprodukts. ⑦

► **Durch die Erhöhung der Konzentration eines Ausgangsstoffs ist bei der Methanolsynthese die Bildung des Methanols begünstigt.**

Unter den angegebenen Reaktionsbedingungen wird im Syntheseofen nur ein Volumenanteil von 15 ... 20% des Kohlenmonoxids in Methanol umgewandelt. Deshalb wird das Stoffgemisch, das den Syntheseofen verläßt, abgekühlt. Methanol wird abgeschieden, das nicht umgesetzte Synthesegas wird erneut in den Syntheseofen eingeleitet (Abb. 13, S. 38).

Äthanol (Äthylalkohol)

13

In einer Porzellanschale werden wenige Tropfen Äthanol entzündet.

Glukoselösung wird mit Hefeaufschlammung gemischt. Das entstehende Gas wird durch Kalziumhydroxidlösung geleitet.

Bau und Eigenschaften. Äthanol (Äthylalkohol) C_2H_5OH ist unter der Bezeichnung „Alkohol“ bekannt (Abb. 14). In der Fachwissenschaft wird die Silbe „Äth-“ auch „Eth-“ geschrieben. Deshalb gilt für Äthanol und Äthylalkohol auch die Schreibweise Ethanol und Ethylalkohol. Statt „k“ und „z“ wird in der Fachwissenschaft bei Namen der Stoffe „c“ geschrieben. Für Kalzium gilt deshalb auch Calcium. In diesem Buch wird auf diese fachwissenschaftliche Schreibweise in Klammern hingewiesen.

Äthanol ist eine farblose brennbare Flüssigkeit (Experiment 22). Mit Wasser ist es in jedem

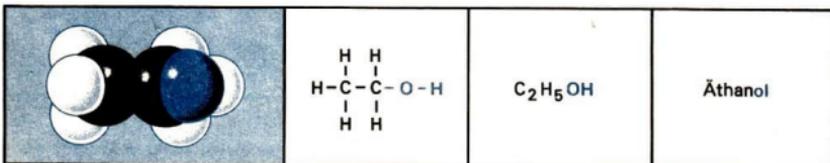


Abb. 14 Modell und Strukturformeln vom Äthanolmolekül

- ①* Begründen Sie die Aussage: Hoher Druck bei der Methanolsynthese erfordert hohen Energie- und Materialaufwand!
- ② Berechnen Sie bei Annahme vollständigen Stoffumsatzes
a) das erforderliche Volumen an Kohlenmonoxid (Normzustand) je Tonne produzierten Methanols,
b) das erforderliche Volumen an Wasserstoff (Normzustand) je Tonne produzierten Methanols!
- ③ Bei der Methanolsynthese ist die Temperatur von 380 °C möglichst konstant zu halten. Dazu ist Kühlung erforderlich.
a) Begründen Sie diese Maßnahme!
b) Welche Folgen treten ein, wenn die Temperatur im Reaktor durch mangelhafte Kühlung steigt?
c) Welche Auswirkungen hat gleichzeitiger Druckabfall im Reaktor?
d) Ziehen Sie Schlußfolgerungen für die Reaktionsführung bei dieser chemischen Reaktion!
- ④ Erläutern Sie am Beispiel der Hydrierung von Äthen die Wirkung eines Katalysators (↗ S. 16)!
- ⑤ Welchen Einfluß hat ein Katalysator auf die Masse des in einer Zeit entstehenden Reaktionsprodukts? Begründen Sie Ihre Aussage!
- ⑥ Werten Sie die Anstrengungen, die unternommen werden, um auch für die Methanolsynthese immer wirksamere Katalysatoren zu entwickeln!
- ⑦ Nennen Sie Reaktionsbedingungen, die die Methanolsynthese zugunsten der Methanolbildung beeinflussen! Begründen Sie Ihre Entscheidung!
- ⑧ Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die vollständige Verbrennung von Äthanol!
- ⑨* Bei Verwendung von Spirituskochern ist auf gute Belüftung der Räume zu achten. Welches Volumen an Sauerstoff wird durch die Verbrennung des Äthanols verbraucht, wenn 0,25 l Brennsprit ($\rho = 0,79 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, angenommener Massenanteil Äthanol 90%) verbrennen?
- ⑩ Um im Benzintank Kondenswasser zu binden und ein Einfrieren der Benzinleitung zu verhindern, können von Zeit zu Zeit zu 10 l Benzin 100 ml Brennsprit zugesetzt werden. Welche Eigenschaften des Äthanols werden hierbei genutzt?
- ⑪ Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Eiweißgerinnung durch hochkonzentriertes Äthanol und Gewebeschädigung! Nutzen Sie Ihr Wissen über den Bau von Zellen!
- ⑫ Werten Sie Bemühungen zum Einsatz von Äthanol als Vergaserkraftstoff! Beachten Sie dabei die ausreichende Ernährung der Menschen, die Rohstoff- und Energieversorgung und den Umweltschutz!

Verhältnis mischbar. Reines Äthanol bringt Eiweiß zum Gerinnen. Durch Äthanol können lebende Zellen geschädigt werden. Äthanol wirkt als Nervengift. ⑧ ⑨ ⑩ ⑪

► **Äthanol (Äthylalkohol) ist eine farblose, brennbare Flüssigkeit. Im menschlichen und tierischen Organismus wirkt es als Nervengift.**

Verwendung. Das Entstehen anregender alkoholischer Getränke durch Vergären von Pflanzensäften ist seit dem Altertum bekannt. Die Verwendung des Äthanols in Form alkoholischer Getränke ist zwar die bekannteste, aber keineswegs die bedeutendste Verwendungsmöglichkeit. Äthanol findet in großem Umfang als Lösungsmittel, zum Beispiel in der Kosmetik (Parfüms, Rasierwasser) und Pharmazie (Arzneimittel), Verwendung. Äthanol ist neben giftigen Zusätzen Hauptbestandteil des Brennspritus. Äthanol dient aber auch als Raketentreibstoff. In Ländern, die über wenig Erdöl und ausreichend Kohlenhydrate verfügen, findet Äthanol als Zusatz zum Kraftstoff beziehungsweise als Kraftstoff für entsprechende Motoren Verwendung. ⑫

Wirkung. Äthanol wird als Bestandteil alkoholischer Getränke wegen seiner anregenden, enthemmenden Wirkung verwendet. Geringe Mengen alkoholischer Getränke wirken zwar

anregend und für sehr kurze Zeit leistungssteigernd. Sehr bald tritt deutlicher Leistungsabfall ein. Größere Mengen Äthanol wirken narkotisch und sogar giftig. Alkoholmißbrauch, wie übermäßiger oder regelmäßiger Alkoholgenuß, führt zu schweren gesundheitlichen Schäden.

Besonders empfindlich ist der jugendliche Organismus. Alkoholgenuß im Kindes- und Jugendalter führt zu Leistungsminderung. Er wirkt sich außerdem auf die Persönlichkeitsentwicklung nachteilig aus.

Auf Grund der unbegrenzten Mischbarkeit von Äthanol mit Wasser und der Löslichkeit von Fetten in Äthanol kann Äthanol sehr leicht in alle Zellen des menschlichen Körpers eindringen. Das gilt besonders für Nervenzellen, da diese Zellen mehr Fett enthalten als andere. Durch Alkoholgenuß ist auch die Leber besonders belastet, da in ihr das Äthanol abgebaut werden muß. Im Blut tritt beim normalen Stoffwechselprozeß ein Massenanteil an Äthanol von 0,01 ‰ auf. Die Leber enthält Enzyme, die eine Oxydation des Äthanols im Körper beschleunigen. Bei übermäßigem Äthanolgenuß gelangt nicht oxydiertes Äthanol mit dem Blut ins Gehirn. Dort wirkt Äthanol als Zellgift. Bei geringem Äthanolgenuß wird zunächst der Kreislauf angeregt. Erreicht der Massenanteil an Äthanol im Blut 1 ... 2 ‰ (angeheiteter Zustand bis mittlerer Rausch), treten Störungen des Bewußtseins, der Sprache, der Urteilskraft und der Selbstbeherrschung auf. Meist sind auch Bewegungsstörungen festzustellen. Weiterer Äthanolgenuß (Alkoholmißbrauch) führt zu völliger Hilflosigkeit, bis schließlich Herz- und Atemstillstand und damit der Tod eintreten. Bei einem Massenanteil an Äthanol von über 3 ‰ im Blut liegt Alkoholvergiftung vor. 300 g reines Äthanol gelten als tödliche Dosis.

Da Äthanol nur allmählich ins Blut aufgenommen wird und auch nur langsam abgebaut wird, ist bei der Einschätzung der Fahrtüchtigkeit auch der Restalkohol zu beachten, der sich zum Beispiel nach Alkoholgenuß am Abend noch am anderen Tag im Blut befindet. Es gibt eine Faustregel für den Abbau des Blutalkohols im menschlichen Organismus. Im allgemeinen wird eine Einheit wie 0,25 l Bier oder 0,02 l Weinbrand in 1 h abgebaut. Nach dem Trinken von 8 Glas Bier und 8 kleinen Gläsern Weinbrand zwischen 20 Uhr und 23 Uhr erreicht der Massenanteil des Äthanols im Blut etwa 1,4 ‰ (Abb. 15). Am anderen Morgen 8 Uhr beträgt der Massenanteil des Äthanols im Blut noch etwa 0,7 ‰. Erst gegen 15 Uhr besteht Nüchternheit nach Trunkenheit am Vortage!

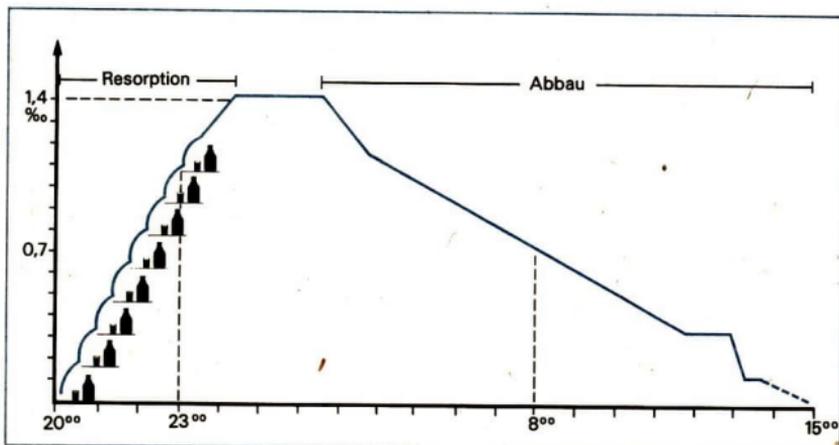


Abb. 15 Resorption und Abbau des Blutalkohols im menschlichen Körper

- ① Pressemeldungen über Verkehrsunfälle und Gerichtsverhandlungen weisen mitunter auf Trunkenheit eines Straftäters hin. Nicht selten begehen Menschen in Trunkenheit Straftaten, die sie ohne Alkoholeinfluß nie begangen hätten. Begründen Sie dieses abnorme Verhalten mit der Wirkung des Alkohols! Werten Sie solches Verhalten! Leiten Sie Schlußfolgerungen für Ihr Verhalten ab!
- ② Werten Sie staatliche Maßnahmen in der DDR gegen Alkoholmißbrauch in ihrer Bedeutung für den einzelnen und für die Gesellschaft!

Nach übermäßigem Äthanolgenuß kann der Mensch seine Umwelt gefährden. Er überschätzt seine Fähigkeiten und kann durch seine verminderte Leistungsfähigkeit und seine unkontrollierten Handlungen nicht nur sich selbst, sondern auch andere in Gefahr bringen. Durch Alkoholmißbrauch schädigt der Trinker nicht nur seine Gesundheit. Er verursacht auch soziale Folgen. Deshalb werden in der Deutschen Demokratischen Republik Maßnahmen gegen den Alkoholmißbrauch ergriffen, wie das Verbot von Alkoholausschank an Jugendliche, das Verbot des Alkoholgenusses für Kraftfahrer vor Antritt oder während der Fahrt, Alkoholverbot während der Arbeit sowie Wegfall des Versicherungsschutzes bei Unfällen, die in Trunkenheit schuldhaft verursacht werden. ① ②

Herstellung. Äthanol entsteht durch Vergären von Glukose (Experiment 23). Zur technischen Herstellung von Äthanol durch Gärung wird in der Deutschen Demokratischen Republik vorwiegend Melasse verwendet, die bei der Gewinnung von Rübenzucker anfällt. Bedeutende Betriebe in der DDR, die Äthanol durch Gärung herstellen, sind der VEB Gärungschemie Dessau und der VEB Nordbrand Nordhausen.

Die Gärung ist ein Prozeß, der vereinfacht durch die folgende chemische Gleichung angegeben werden kann:



Einige Enzyme, die in den Zellen von Hefepilzen gebildet werden, dienen als Katalysatoren. Diese Enzyme wirken auch unabhängig von den Lebensprozessen der Hefepilze. Die chemische Reaktion verläuft in mehreren Stufen. Es entstehen Zwischenverbindungen, an deren Bildung Enzyme beteiligt sind.

Die alkoholische Gärung ist eine exotherme chemische Reaktion. Die Hefepilze decken in diesem Prozeß ihren Energiebedarf. Da die Hefepilze, die die Enzyme liefern, bei diesem Prozeß wachsen und sich vermehren, müssen deren Lebensbedingungen eingehalten werden. Die Gärung wird in geschlossenen, eisernen Gärkesseln (Abb. 16) bei 20 ... 30 °C

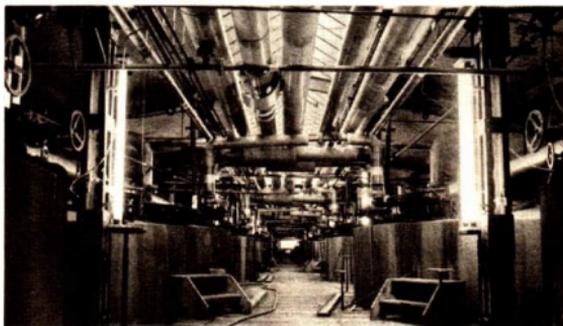
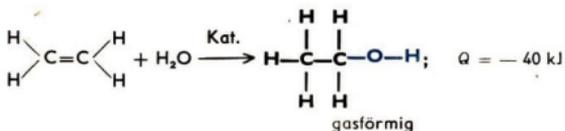


Abb. 16 Gäranlage
im VEB Gärungschemie Dessau

durchgeführt und dauert einige Tage. Das Gärungsprodukt enthält nur einen Volumenanteil von 9 ... 10% Äthanol. Bei der Herstellung von Wein kann der Volumenanteil an Äthanol 10 ... 14% erreichen. Bei einem höheren Volumenanteil an Äthanol sterben die Hefepilze ab. Um Äthanol aus dem Stoffgemisch abzutrennen, muß das Gärungsprodukt destilliert werden. Die weitgehende Trennung von Äthanol und Wasser durch Destillation ist auf Grund der unterschiedlichen Siedetemperaturen der beiden Stoffe möglich. Dabei läßt sich der Volumenanteil an Äthanol auf 95% erhöhen. Die Hefe wird als Eiweißfutter verwendet. ① ②

▶ **Äthanol kann in einem biochemischen Prozeß durch alkoholische Gärung aus Glukose hergestellt werden.**

Die Produktion von Äthanol in der Gärungsindustrie reicht nicht aus, deshalb muß Äthanol auch auf anderen Wegen hergestellt werden. Äthanol entsteht auf Erdölbasis aus Äthen und Wasser durch katalytische Wasseranlagerung. ③ ④



In Kombinat VEB Chemische Werke Buna wird Äthanol auf Kohlebasis aus Äthin über ein Zwischenprodukt hergestellt (S. 53). Dieses Äthanol (Karbidsprit) findet keine Verwendung für alkoholische Getränke.

Darstellung der Alkanole

14

Äthanoldampf wird über einen Katalysator geleitet (Abb. 17). Das entstehende Gas wird pneumatisch aufgefangen und mit Bromwasser geprüft.

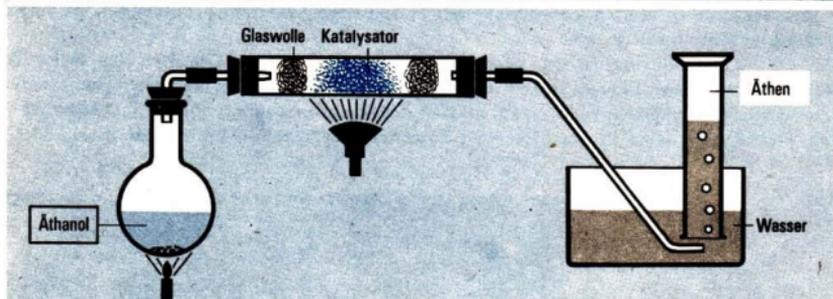
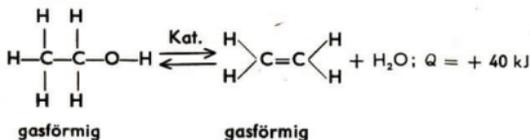


Abb. 17 Apparatur zum Überleiten von Äthanoldampf über einen Katalysator

Addition und Eliminierung. Die technische Herstellung von Äthanol aus Äthen und Wasser ist ein Beispiel für Additionsreaktionen. Diese chemische Reaktion zwischen einem Alken und Wasser kann auch mit anderen Alkenen durchgeführt werden. Auf diese Weise ist es möglich, Alkanole aus den entsprechenden Alkenen darzustellen. Diese chemischen Reaktionen sind umkehrbar. Bei der Eliminierung von Wasser aus einem Alkanol entsteht als zweites Reaktionsprodukt das entsprechende Alken.

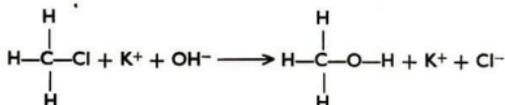
- ① Geben Sie ein geeignetes Verfahren zum Trennen von Äthanol ($\theta_v = 78,4^\circ\text{C}$) und Wasser an! Begründen Sie Ihre Aussage (\checkmark ChiÜb)!
- ② Bei der alkoholischen Gärung (\checkmark Experiment 23, S. 40) kann eine heftige Gasentwicklung auftreten. Das Gas soll durch Kalziumhydroxidlösung geleitet werden.
 - a) Welches Gas wird erwartet?
 - b) Unterbreiten Sie einen Vorschlag (Skizze) zur Durchführung des Experiments!
- ③ Berechnen Sie das Volumen an Äthen, das zur Herstellung von 100 l Äthanol ($\rho = 0,79 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$) umgesetzt werden muß!
- ④ Die Wasseranlagerung an Äthen wird mit einem Katalysator unter erhöhtem Druck durchgeführt. Begründen Sie die Zweckmäßigkeit dieser Maßnahme!
- ⑤ Erläutern Sie am Beispiel der Hydrierung und der Dehydrierung die Reaktionsarten Addition und Eliminierung (\checkmark ChiÜb)!
- ⑥ Begründen Sie die folgenden Aussagen:
 - a) Die Wasseranlagerung an Äthen ist eine Additionsreaktion!
 - b) Die Wasserabspaltung aus Äthanol ist eine Eliminierungsreaktion!
- ⑦ Wie kann die Doppelbindung in Alkenmolekülen nachgewiesen werden?
- ⑧ Propanoldampf wird über einen erhitzten Katalysator aus Aluminiumoxid geleitet. Es entsteht ein Gas, das Bromwasser entfärbt.
 - a) Erklären Sie das Entstehen des Gases! Entwickeln Sie die chemische Gleichung!
 - b) Erklären Sie die Entfärbung des Bromwassers! Entwickeln Sie die chemische Gleichung!
- ⑨ Erörtern Sie den Einfluß von Temperatur und Druck auf die chemische Reaktion zur Darstellung von Äthen aus Äthanol!
- ⑩ Für ein Experiment sind zwei Standzylinder mit je 100 ml Äthen zu füllen. Welche Masse an Äthanol wird zur Darstellung des Äthens mindestens benötigt?

■ Äthen kann aus Äthanol durch Wasserabspaltung dargestellt werden (Experiment 24). Dabei wird ein Katalysator aus Aluminiumoxid verwendet. ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩



Substitution. Alkanole können auch aus Alkanen dargestellt werden. Das ist jedoch nur über Halogenalkane als Zwischenprodukte möglich.

■ Methanol kann im Experiment aus Chlormethan, Brommethan oder Jodmethan dargestellt werden. So reagiert Chlormethan mit Kaliumhydroxidlösung.



Das erforderliche Chlormethan läßt sich durch Substitutionsreaktion aus Methan darstellen.

So wie Methanol aus Methan über Chlormethan dargestellt werden kann, läßt sich auch Äthanol aus Äthan über Chloräthan darstellen (\checkmark S. 68).

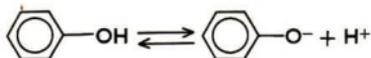
Die Umwandlung von Alkanen über Halogenalkane in Alkanole ist eine allgemeine Darstellungsmöglichkeit für Alkanole. Der direkte Austausch von Wasserstoffatomen gegen Hydroxylgruppen in Molekülen organischer Stoffe ist nicht möglich. ① ② ③ ④ ⑤ Alkanole können aus Alkanen durch Substitutionsreaktion über Halogenalkane als Zwischenprodukte oder aus Alkenen durch Additionsreaktion dargestellt werden. ⑥ ⑦ ⑧

Phenol

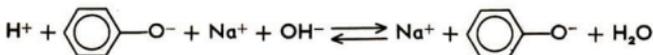
15

Phenol wird mit Wasser versetzt und geschüttelt. Zum entstandenen Stoffgemisch wird Natriumhydroxidlösung hinzugefügt, bis eine deutliche Veränderung eintritt.

Bau und Eigenschaften. Phenol C_6H_5OH ist ein farbloser, kristalliner, eigentümlich riechender Stoff. Die farblosen Kristalle färben sich an der Luft rötlich. Phenol ist in Wasser nur begrenzt löslich. Deshalb bleibt ein Gemisch von Phenol und Wasser meist trüb (Experiment 25). Phenol ist sehr giftig. Bereits 10 ... 30 g wirken tödlich. Es wirkt ätzend. Mit Hydroxidlösungen reagiert es wie eine Säure. Das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe kann als Wasserstoff-Ion abgespalten werden. Phenol dissoziiert in wässriger Lösung zu einem geringen Teil.



Bei der chemischen Reaktion von Phenol mit Natriumhydroxidlösung entsteht ein Salz, das Natriumphenolat. **Phenolate** sind in Wasser leichter löslich als Phenol. Deshalb wird ein Gemisch von Phenol und Wasser bei Zusatz von Hydroxidlösung klar (Experiment 25). ⑨ ⑩



Phenol unterscheidet sich trotz gleicher funktioneller Gruppe im Molekül in seinen Eigenschaften von den Alkanolen.

Phenol reagiert mit Hydroxidlösung wie eine Säure. Die Substitution des Wasserstoffatoms der Hydroxylgruppe durch Natrium ist bei Phenol leichter möglich als bei Alkanolen. Der Unterschied ist durch die Struktur der Moleküle bedingt. Die Hydroxylgruppe im Phenolmolekül ist an den Benzenring gebunden (Abb. 18). ⑪ ⑫

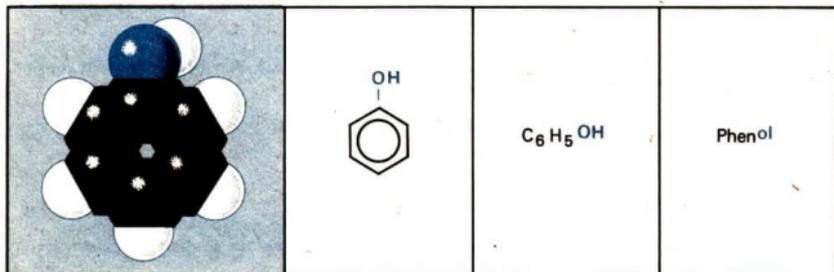


Abb. 18 Modell und Strukturformeln vom Phenolmolekül

- ① Erläutern Sie an einem Beispiel die Substitutionsreaktion (✓ ChiÜb)!
- ② a) Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Darstellung von Bromethan! Verwenden Sie ausführliche Strukturformeln!
b) Begründen Sie die Zuordnung dieser chemischen Reaktion zu den Substitutionsreaktionen!
- ③ Erläutern Sie die Darstellung von Methanol aus Methan! Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen dazu!
- ④ Erläutern Sie den Umbau chemischer Bindungen am Beispiel
a) der chemischen Reaktion von Methan mit Brom und
b) der chemischen Reaktion von Bromethan mit Kaliumhydroxidlösung!
- Ⓐ Berechnen Sie die Masse an Chlör, die bei vollständigem Stoffumsatz benötigt wird, um durch Substitutionsreaktion
a) 10 g Methanol, b) 10 g Äthanol darzustellen!
- ⑥ Entwickeln Sie eine Übersicht über Zusammenhänge zwischen folgenden Stoffen: Äthan, Äthen, Äthanol, Bromäthan und Glukose! Entwickeln Sie die entsprechenden chemischen Gleichungen!
- ⑦ Stellen Sie in einer Übersicht alle Ihnen bekannten Möglichkeiten zur Darstellung von Äthanol zusammen! Geben Sie die chemischen Gleichungen an!
- ⑧ Geben Sie je zwei Möglichkeiten zur Darstellung von Propanol und Butanol an! Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen!
- ⑨ Nennen Sie Eigenschaften, die einen Stoff als Säure kennzeichnen (✓ ChiÜb)!
- ⑩ Begründen Sie die Aussage: Bei der chemischen Reaktion von Phenol mit Natriumhydroxidlösung findet eine Neutralisation statt!
- ⑪ Beschreiben Sie die Struktur eines Benzenmoleküls (✓ ChiÜb)!
- ⑫ Stellen Sie die Strukturformeln für Hexanol und für Zyklohexanol auf!
- ⑬ Die Volkskammer der DDR beschloß 1982 das Wassergesetz. Dieses Gesetz fordert unter anderem den Schutz unserer Gewässer.
a) Werten Sie die Bedeutung eines solchen Gesetzes am Beispiel der Wirkung von Phenol in Abwässern!
b) Nennen Sie Beispiele für mögliche Gewässerverschmutzungen durch Haushalte! Ziehen Sie Schlußfolgerungen!
- ⑭ Kennen Sie aktuelle Beispiele für den Mißbrauch von Chemieerzeugnissen durch imperialistische Mächte? Legen Sie Ihren Standpunkt dazu dar!

► **Phenol ist ein giftiger, fester Stoff. Phenol reagiert wie eine schwache Säure. Die Salze des Phenols heißen Phenolate.**

Verwendung. Phenol ist ein wichtiger Grundstoff für die Herstellung von Plasten (✓ Phenoplaste, S. 94), Chemiefaserstoffen (✓ Dederon, S. 98), Textilfarbstoffen, Arzneimitteln und Schädlingsbekämpfungsmitteln. Auf Grund seiner Giftigkeit findet eine 5%ige wäßrige Lösung von Phenol unter dem Namen Karbolsäure als Desinfektionsmittel Verwendung.

Phenol fällt vor allem bei der Kohleentgasung an. Um die Umwelt nicht zu belasten, sind große Anstrengungen zur Abwasserreinigung erforderlich. Phenol in Abwässern ruft Fischsterben hervor. ^⑬

Die Giftigkeit des Phenols ist seit langem bekannt. Unter dem Deckmantel „medizinischer Untersuchungen“ wurde im faschistischen Konzentrationslager Auschwitz Phenollösung von Lagerärzten in verbrecherischer Weise mißbraucht, um Gegner des Faschismus durch Injektion zu ermorden. ^⑭

Aufgaben zur Festigung

16

1. Erläutern Sie den Begriff „funktionelle Gruppe“ am Beispiel der Alkanole!
2. Vergleichen Sie Hydroxylgruppe und Hydroxid-Ion!
3. Vergleichen Sie physikalische und chemische Eigenschaften von Methanol, Propanol und Hexanol!
Erklären Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede!
4. Begründen Sie die Aussage: Äthen hat große Bedeutung für technische Synthesen!
5. a) Nennen Sie die Bedingungen, unter denen die Methanolsynthese durchgeführt wird!
b) Begründen Sie die Bedingungen, unter denen die Methanolsynthese durchgeführt wird!
c) Erörtern Sie mögliche Folgen, die bei der Methanolsynthese eintreten, wenn die Reaktionsbedingungen im Reaktionsapparat geändert werden!
6. Erläutern Sie am Beispiel des Äthanol die Darstellung von Alkanolen aus Kohlenwasserstoffen!
7. Methanol und Phenol sind giftige organische Stoffe.
a) Erläutern Sie diese Aussage!
b) Ziehen Sie Schlußfolgerungen für den Umgang mit diesen Stoffen!

Alkanale

17

Große Mengen an Methanol und Äthanol werden zu Methanal und Äthanal verarbeitet. Methanal und Äthanal sind Alkanale.

Was sind Alkanale? Welche Eigenschaften haben sie? Warum ist es erforderlich, diese Stoffe herzustellen? Wie ist die Umwandlung von Alkanolen in Alkanale möglich?

Das sind Fragen, auf die Sie in den folgenden Abschnitten eine Antwort erhalten.

26 ▼
Methanoldampf oder Äthanoldampf wird über einen glühenden Katalysator aus Kupfer geleitet. Das Reaktionsprodukt ist in fuchsin-schweiflige Säure einzuleiten (Abb. 19).

27 ▼
Wenige Tropfen Methanallösung oder Äthanallösung werden mit fuchsin-schweiflicher Säure versetzt.

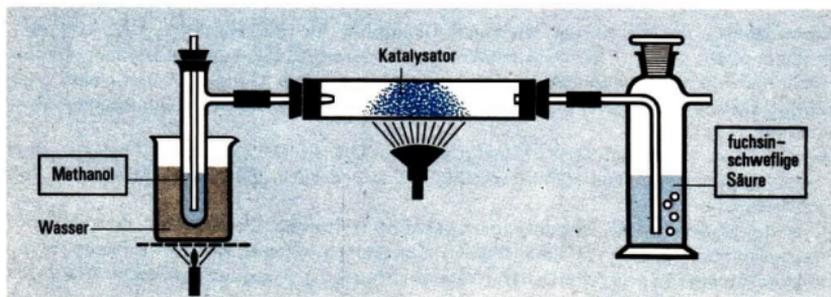
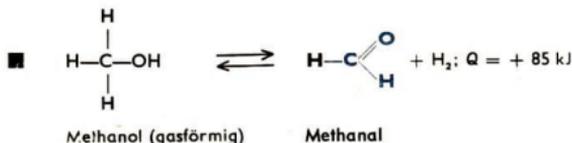


Abb. 19 Apparat zum Überleiten von Methanol- oder Äthanoldampf über Kupfer

- ① Warum können Aldehyde nur aus Alkoholen mit einer Hydroxylgruppe am endständigen Kohlenstoffatom im Molekül dargestellt werden?
- ② Entwickeln Sie die chemische Gleichung
 - a) für die Dehydrierung von Methanol,
 - b) für die Dehydrierung von Äthanol!
- ③ Vergleichen Sie die chemische Reaktion von Äthanoldampf an einem Katalysator aus Aluminiumoxid (✓ Experiment 23, S. 40) mit der chemischen Reaktion von Äthanoldampf an einem Katalysator aus Kupfer (✓ Experiment 26, S. 48)! Welche Schlussfolgerungen können Sie bezüglich der Wirkung der Katalysatoren ziehen?
- ④ a) Werden Propanoldämpfe über glühendes Kupfer geleitet, dann bewirkt das Reaktionsprodukt beim Einleiten in fuchsin-schweifige Säure Rotfärbung. Welcher Stoff wird angezeigt?
b) Werden Propanoldämpfe über einen Katalysator aus Aluminiumoxid geleitet, bewirkt das gasförmige Reaktionsprodukt eine Entfärbung von Bromwasser. Geben Sie eine Erklärung!
- ⑤ Vergleichen Sie funktionelle Gruppen in Alkanalmolekülen und in Alkanolmolekülen miteinander!

Darstellung. Alkanale gehören zu den Aldehyden. Der Name Aldehyd geht auf die historische Darstellung durch Dehydrierung von Alkohol zurück (alcoholus dehydrogenatus). Alkanale entstehen durch katalytische Dehydrierung der entsprechenden Alkanole (Experiment 26). ①②③④



- **Alkanale können durch katalytische Dehydrierung von Alkanolen mit einer Hydroxylgruppe am endständigen Kohlenstoffatom im Molekül dargestellt werden.**

Bau. Bei der Dehydrierung der Alkanole erfolgt die Abspaltung der Wasserstoffatome je-

weils aus der Atomgruppe $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ -\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ des Alkanolmoleküls. Es entsteht eine neue Atom-

gruppe $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ oder $-\text{CHO}$. Diese Gruppe heißt **Aldehydgruppe**. Sie ist das Strukturmerkmal der Moleküle aller Aldehyde. Da die Alkanale zu den Aldehyden gehören, ist die Aldehydgruppe auch das Strukturmerkmal der Moleküle der Alkanale. Die Schreibweise $-\text{CHO}$ soll verdeutlichen, daß das Wasserstoffatom im Unterschied zu dem Wasserstoffatom einer Hydroxylgruppe direkt an das Kohlenstoffatom gebunden ist. ⑤

- **Aldehyde sind organische Stoffe, deren Moleküle Aldehydgruppen enthalten.**
- Wie die Alkanole lassen sich auch die Alkanale von den Alkanen ableiten. Anstelle einer Atomgruppe $-\text{CH}_3$ im Alkanmolekül befindet sich im entsprechenden Alkanalmolekül die Aldehydgruppe $-\text{CHO}$.
- **Alkanale können als Abkömmlinge der Alkane aufgefaßt werden. Sie enthalten eine Aldehydgruppe $-\text{CHO}$ als funktionelle Gruppe im Molekül.**

Homologe Reihe. Die Alkanale, wie Methanal, Äthanal, Propanal, Butanal, Pentanal und Hexanal, bilden eine homologe Reihe (Übersicht 4). ①②

Übersicht 4 Einige Alkanale

| Name | Strukturformel | Vereinfachte Strukturformeln | |
|----------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Methanal | | | HCHO |
| Äthanal | | | CH ₃ CHO |
| Propanal | | | C ₂ H ₅ CHO |
| Butanal | | | C ₃ H ₇ CHO |

Benennung. Für die Benennung der Alkanale gilt:

| Bildung des Namens aus | Name des Alkans mit der gleichen Anzahl von Kohlenstoffatomen im Molekül | Endung al (Kennzeichnung der funktionellen Gruppe) |
|------------------------|--|--|
| ■ Äthanal | Äthan | al |
| Strukturformel | | |

Bei der Benennung der Alkanale ist zu beachten, daß das Kohlenstoffatom der funktionellen Gruppe mitgezählt werden muß. ③

Vorsicht! Wenige Tropfen Methanallösung oder Äthanallösung werden mit Fehlingscher Lösung versetzt und unter ständigem Schütteln zum Sieden erhitzt (↗ Ch-SE 9/10, Experiment 3).

Wenige Tropfen Methanallösung oder Äthanallösung werden mit frisch bereiteter ammoniakalischer Silbernitratlösung versetzt und unter ständigem Schütteln erwärmt (↗ Ch-SE 9/10, Experiment 3).

Eigenschaften. Alle Alkanale haben auf Grund der gleichen funktionellen Gruppe in den Molekülen ähnliche chemische Eigenschaften. Als funktionelle Gruppe der Alkanalmoleküle bestimmt die Aldehydgruppe in den Molekülen weitgehend die chemischen Eigenschaften der Alkanale. So reagieren Alkanale mit farbloser fuchsin-schwefeliger Säure, wobei Rotfärbung der Lösung zu beobachten ist (Experiment 27). Diese chemische Reaktion diente bei Experiment 26 als Nachweis für Alkanale.

- ① Beweisen Sie anhand der vereinfachten Strukturformeln der Alkanale mit 1 ... 6 Kohlenstoffatomen im Molekül, daß diese Stoffe zu einer homologen Reihe gehören!
- ② Beweisen Sie den Zusammenhang zwischen der Kettenlänge der Moleküle und den Siedetemperaturen der Alkanale (↗ Abb. 20, S. 51)!
- ③ Entwickeln Sie die vereinfachten Strukturformeln und nennen Sie die Namen für Alkanale mit 3 ... 6 Kohlenstoffatomen im Molekül!

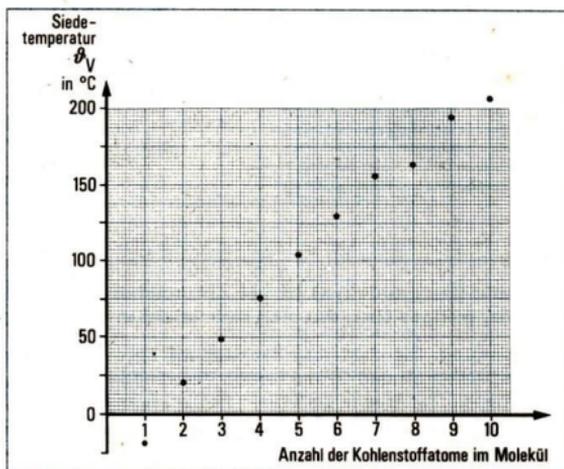
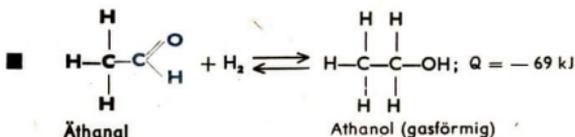


Abb. 20 Siedetemperaturen einiger Alkanale

Bei der chemischen Reaktion von Alkanalen mit Fehlingscher Lösung fällt ein roter bis rotbrauner Niederschlag aus (Experiment 28). Bei der chemischen Reaktion von Alkanalen mit ammoniakalischer Silbernitratlösung entsteht Silber als schwarzer Niederschlag oder als Silberspiegel an der Wand des Reagenzglases (Experiment 29). Diese chemischen Reaktionen können nur als Hinweise auf vorhandene Alkanale gelten, da sie nicht nur bei Alkanalen auftreten.

Die Alkanale unterscheiden sich untereinander wegen der unterschiedlichen Kettenlänge der Moleküle vor allem in den physikalischen Eigenschaften, wie Siedetemperatur (Abb. 20), Schmelztemperatur und Löslichkeit in Wasser. Außerdem wird auch in den Molekülen der Alkanale die Wirksamkeit der funktionellen Gruppe durch die Länge der Kohlenstoffkette im Molekül beeinflusst. Die Wirkung der Aldehydgruppe nimmt mit zunehmender Kettenlänge der Moleküle ab.

Wie viele chemische Reaktionen ist auch die Dehydrierung der Alkanale umkehrbar. So können Alkanale durch Hydrierung in Alkanole umgewandelt werden.



► Alkanale können zu Alkanolen hydriert werden.

Methanal (Formaldehyd)

30

Eine Eiweißlösung wird mit Methanallösung versetzt.

Bau und Eigenschaften. Methanal (Formaldehyd) HCHO ist bei Zimmertemperatur ein farbloses, stechend riechendes, giftiges Gas, das sich sehr leicht in Wasser löst. Das Kohlenstoffatom der funktionellen Gruppe ist zugleich das einzige Kohlenstoffatom im Molekül (Abb. 21). Methanal ist besonders reaktionsfähig. Eiweiß wird durch Methanal denaturiert (Experiment 30).

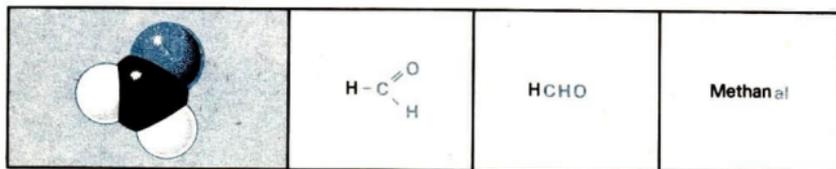


Abb. 21 Modell und Strukturformeln vom Methanalmolekül

Methanal (Formaldehyd) ist bei Zimmertemperatur ein farbloses, stechend riechendes, giftiges Gas, das sich sehr leicht in Wasser löst und Eiweiß denaturiert.

Verwendung. Die chemische Reaktion mit Eiweiß ist wesentliche Ursache für die Giftigkeit des Methanals und Grund für die Verwendung von Methanallösung als Desinfektionsmittel. Im Handel ist es in wässriger Lösung erhältlich („Fesialform“). Es dient auch zur Konservierung biologischer und medizinischer Präparate und zur Herstellung verschiedener Plastikwerkstoffe. ①

Darstellung. Methanal kann wie andere Alkanale durch Dehydrierung aus dem entsprechenden Alkanol dargestellt werden (Experiment 26, S. 48). Diese chemische Reaktion ist auch für die technische Herstellung geeignet. Durch Überleiten von Methanol-dampf über einen Katalysator aus Silber wird bei 600 °C Methanal hergestellt. ②

Äthanal (Azetaldehyd)

Bau und Eigenschaften. Äthanal (Azetaldehyd) CH₃CHO (auch Ethanal und Acetaldehyd) ist ein farbloser, stechend riechender Stoff (Abb. 22). Auf Grund der Siedetemperatur von 20 °C wird es in Ampullen gehandelt. Es steht dabei unter erhöhtem Druck. Äthanalampullen sind in gekühltem Zustand vorsichtig zu öffnen. Bei Zimmertemperatur

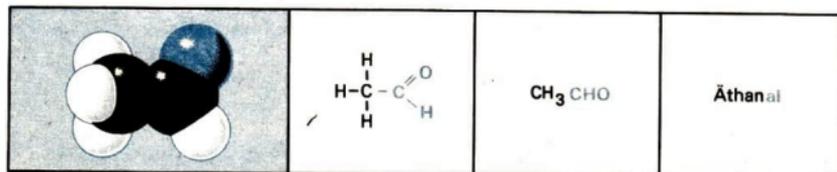


Abb. 22 Modell und Strukturformeln vom Äthanal-molekül

- ① Erläutern Sie am Beispiel des Methanals den allgemeinen Zusammenhang zwischen Eigenschaften und Verwendung eines Stoffes!
- ② Berechnen Sie, welche Masse an Methanol zur Produktion von 1 t Methanal eingesetzt werden muß!
- ③ Berechnen Sie, welches Volumen an Äthen (Normzustand) umgesetzt werden muß, um bei vollständigem Stoffumsatz 1 t Äthanal herzustellen!
- ④ Erläutern Sie am Beispiel der Beziehung Äthanol — Äthanal die Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen! Geben Sie die chemische Gleichung an!
- ⑤ Ordnen Sie die chemischen Reaktionen, die zur Herstellung von Äthanal genutzt werden, den Reaktionsarten Substitution, Addition oder Eliminierung zu!

verdampft Äthanal sehr schnell. In Wasser ist es sehr gut löslich. Die wäßrige Lösung kann aufbewahrt und für Experimente genutzt werden.

Äthanal hat die allgemeinen chemischen Eigenschaften der Alkanale (↗ S. 50). So läßt es sich zu Äthanol hydrieren. Es reagiert mit Fehlingscher Lösung, mit ammoniakalischer Silbernitratlösung und mit fuchsinschwefliger Säure.

▶ **Äthanal (Azetaldehyd) ist eine farblose, bei 20 °C siedende Flüssigkeit mit typischen Eigenschaften der Alkanale.**

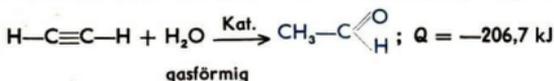
Verwendung. Besondere Bedeutung kommt dem Äthanal als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Äthansäure (↗ S. 60), von Lösungsmitteln für Lacke und von Gummi (↗ S. 91) zu.

Herstellung. Äthanal kann durch Dehydrierung von Äthanol dargestellt werden (↗ Experiment 26, S. 48). Diese chemische Reaktion dient auch zur Herstellung von Äthanal aus Äthanol, das durch alkoholische Gärung hergestellt wird.

In einem petrochemischen Verfahren wird Äthen zur Herstellung von Äthanal verwendet. Durch Oxydation von Äthen mit einem Katalysator entsteht Äthanal. ③ ④



Im Kombinat VEB Chemische Werke Buna wird Äthanal in einem karbochemischen Verfahren mit einem Katalysator durch Wasseranlagerung an Äthin hergestellt. ⑤



Dieses Äthanal kann zu Äthanol (Karbidsprit) (↗ S. 44) oder zu Äthansäure (↗ S. 60) verarbeitet werden.

▶ **Äthanal kann mit Katalysatoren durch Dehydrierung von Äthanol oder durch Oxydation von Äthen hergestellt werden.**

Vergleich der Alkanole und Alkanale

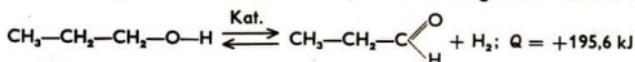
20

Bau der Stoffe. Alkanole und Alkanale sind aus den gleichen Elementen aufgebaut. Alkanolmoleküle und Alkanalmoleküle unterscheiden sich durch die funktionellen Gruppen. Die Aldehydgruppe der Alkanalmoleküle enthält im Gegensatz zur Hydroxylgruppe der Alkanolmoleküle ein Kohlenstoffatom. Das Sauerstoffatom der Aldehydgruppe ist durch Doppelbindung an das Kohlenstoffatom gebunden. Das Sauerstoffatom der Hydro-

xylgruppe ist durch je eine Einfachbindung mit einem Wasserstoffatom und einem Kohlenstoffatom verbunden. ①

Alkanole und Alkanale gehören zu organischen Sauerstoffverbindungen, zu organischen Stoffen mit einer funktionellen Gruppe im Molekül und zu Abkömmlingen der Alkane.

Darstellung. Alkanale können aus Alkanolen dargestellt werden und umgekehrt. ②



Eigenschaften. Der Bau der Alkanole und Alkanale bestimmt deren physikalische und chemische Eigenschaften. Gemeinsamkeiten und Ähnlichkeiten im Bau der Moleküle der Alkanole und der Alkanale bedingen Gemeinsamkeiten oder Ähnlichkeiten in den physikalischen Eigenschaften von Alkanolen und Alkanalen. Die unterschiedlichen funktionellen Gruppen in den Molekülen ermöglichen unterschiedliche chemische Reaktionen der Alkanole und Alkanale. ③ ④ ⑤

Alkansäuren

21

Hautreizungen beim Berühren von Brennesseln, Feuerquallen oder Ameisen sind auf die Einwirkung von Karbonsäuren (auch Carbonsäuren) zurückzuführen.

Steht Wein längere Zeit an der Luft, wird er sauer, er riecht und schmeckt nach Essig. Beim Bereiten von Sauerkraut oder Silage entstehen Karbonsäuren. Karbonsäuren treten bei Stoffwechselprozessen auf. In der chemischen Industrie werden Karbonsäuren benötigt, um andere Stoffe, wie Duftstoffe und Essenzen oder Lösungsmittel für Lacke und Farben, herzustellen.

Mit den Alkansäuren lernen Sie einige Karbonsäuren kennen.

Was sind Alkansäuren? Was ist Essig? Wie kann aus Äthanol Essig werden? Sind Alkansäuren als organische Stoffe in ihren Eigenschaften den anorganischen Säuren gleich?

Das sind Fragen, auf die Sie in den folgenden Abschnitten eine Antwort finden sollen.

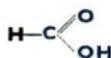
Verdünnte Methansäure oder Äthansäure wird mit einem Indikator geprüft.

Eine Probe eines unedlen Metalls wird mit verdünnter Äthansäure versetzt (✓ Ch-SE 9/10, Experiment 4).

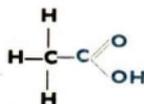
Bau und Eigenschaften. Methansäure (Ameisensäure) und Äthansäure (Essigsäure) sind bekannte Alkansäuren. Sie gehören zu den Karbonsäuren. Das sind organische Stoffe mit der Karboxylgruppe (auch Carboxylgruppe) $\text{-C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{array}$ oder -COOH im Molekül. Die Karboxylgruppe ist das Strukturmerkmal der Karbonsäuremoleküle.

Karbonsäuren sind organische Stoffe, deren Moleküle Karboxylgruppen -COOH enthalten.

Bei den Alkansäuren ist die Karboxylgruppe mit einem Wasserstoffatom oder mit dem Molekülrest eines Alkanmoleküls verbunden.



Methansäure (Ameisensäure)



Äthansäure (Essigsäure)

Homologe Reihe. Die Alkansäuren, wie Methansäure, Äthansäure, Propansäure, Butansäure, Pentansäure und Hexansäure, bilden eine homologe Reihe (Übersicht 5).

Übersicht 5 Einige Alkansäuren

| Name | Strukturformel | Vereinfachte Strukturformeln |
|-------------|----------------|------------------------------------|
| Methansäure | | HCOOH |
| Äthansäure | | CH ₃ COOH |
| Propansäure | | C ₂ H ₅ COOH |
| Butansäure | | C ₃ H ₇ COOH |

Auch bei dieser homologen Reihe sind bei unterschiedlicher Kettenlänge der Moleküle abgestufte Eigenschaften der Stoffe festzustellen. Das wird besonders bei einigen physikalischen Eigenschaften,

wie Aggregatzustand, Geruch und Löslichkeit in Wasser, deutlich (Übersicht 6 und Abb. 23). ①

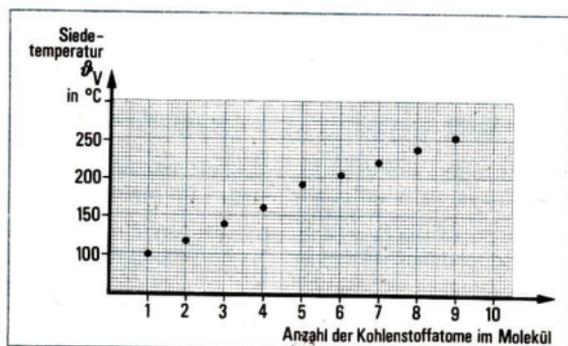


Abb. 23 Siedetemperaturen einiger Alkansäuren

Übersicht 6 Einige physikalische Eigenschaften von Alkansäuren

| Vereinfachte Strukturformel | Aggregatzustand bei Zimmertemperatur | Geruch | Löslichkeit in Wasser |
|---|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| HCOOH } CH ₃ COOH } | flüssig, leicht beweglich | stechend sauer | unbegrenzt löslich |
| C ₄ H ₉ COOH } C ₅ H ₁₁ COOH } | flüssig, leicht ölig | unangenehm | teilweise löslich |
| C ₈ H ₁₇ COOH } C ₁₅ H ₃₁ COOH } | fest | geruchlos | schwer löslich |

- ① Begründen Sie die Aussage: Alkansäuren bilden eine homologe Reihe!
- ② Erklären Sie folgende Erscheinungen:
 - a) Methansäure ist im Normzustand ein flüssiger Stoff mit Säureeigenschaften.
 - b) Palmitinsäure (Hexadekansäure) ist im Normzustand ein fester Stoff, dessen Säureeigenschaften schwer nachweisbar sind!
- ③ Üben Sie das Benennen von Alkansäuren und das Aufstellen der vereinfachten Strukturformeln für Alkansäuren mit 1 ... 6 Kohlenstoffatomen im Molekül!
- ④ Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Darstellung von Äthansäure aus Äthanol mit Äthanal als Zwischenprodukt! Verwenden Sie dabei ausführliche Strukturformeln!
- ⑤ Berechnen Sie die Masse an Äthansäure, die bei vollständigem Stoffumsatz zur Herstellung von 1 t Aluminiumazetat $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Al}$ benötigt wird!

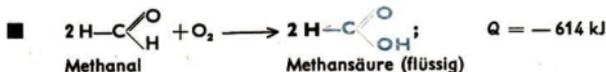
Wie bei Alkanolen und Alkanalen werden die Eigenschaften der Alkansäuren von der funktionellen Gruppe im Molekül und von der Kettenlänge der Moleküle bestimmt. Die Struktur der Moleküle beeinflusst die Kohäsionskräfte zwischen den Molekülen und damit den Aggregatzustand der Stoffe bei Zimmertemperatur. Sie beeinflusst aber auch die chemischen Eigenschaften der Alkansäuren. Die Wirkung der Carboxylgruppe überwiegt bei kurzkettigen Molekülen. Bei langkettigen Molekülen ist sie eingeschränkt. ②

Benennung. Die Benennung der Alkansäuren ähnelt der der Alkanale. Wie die Aldehydgruppe enthält auch die Carboxylgruppe ein Kohlenstoffatom. ③

33

Vorsicht! Eine glühende Kupferdrahtwendel wird mehrmals schnell in Äthanollösung getaucht. Das entstehende Reaktionsprodukt wird mit einem Indikator geprüft.

Darstellung. Alkansäuren lassen sich durch Oxydation aus den entsprechenden Alkanalen darstellen.



Im Experiment können Alkansäuren mit Hilfe geeigneter Oxydationsmittel, wie Kupfer(II)-oxid, aus Alkanolen dargestellt werden (Experiment 33). Dabei tritt das entsprechende Alkanal als Zwischenprodukt auf. ④ ⑤

▶ Alkansäuren sind Oxydationsprodukte entsprechender Alkanale.

Methansäure (Ameisensäure)

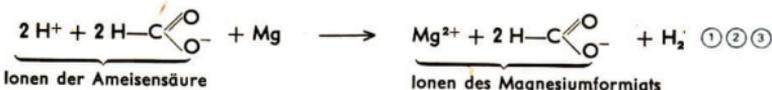
22

Bau und Eigenschaften. Methansäure (Ameisensäure) HCOOH ist die Alkansäure mit den kleinsten Molekülen. Das Kohlenstoffatom der Carboxylgruppe ist zugleich das einzige Kohlenstoffatom im Molekül (Abb. 24). Methansäure ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit mit stechendem Geruch. Sie wirkt stark ätzend und ruft auf der Haut Blasenbildung hervor. Verdünnte Methansäure reagiert mit unedlen Metallen, Metalloxiden oder Basenlösungen unter Bildung von Salzlösungen. Die Salze der Ameisensäure heißen **Formate**.¹

¹ abgeleitet von *acidum formicum* (lateinisch) = Ameisensäure, *formica* (lateinisch) = Ameise

| | | | |
|--|---|----------------|--------------|
|  | $\begin{array}{c} \text{H} - \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{O} - \text{H} \end{array}$ | HCOOH | Methan säure |
|--|---|----------------|--------------|

Abb. 24 Modell und Strukturformeln vom Methansäuremolekül



Ionen der Ameisensäure

Ionen des Magnesiumformiat

▶ **Methansäure (Ameisensäure) ist eine farblose, stark ätzende Flüssigkeit. Ihre Salze sind die Formiate.**

Darstellung. Methansäure kann durch Oxydation aus Methanal dargestellt werden.

Verwendung. Wegen ihrer bakterientötenden Wirkung wird Ameisensäure als Konservierungsmittel für Fruchtsäfte, biologische und medizinische Präparate und zum Desinfizieren von Bier- und Weinfässern verwendet. Ameisensäure und einige ihrer Salze, zum Beispiel das Aluminiumformiat, finden zum Imprägnieren von Textilien Verwendung.

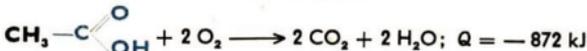
Äthansäure (Essigsäure)

23

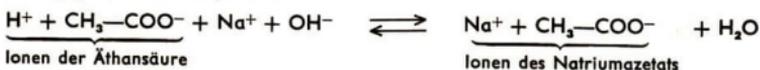
▼ **Vorsicht!** Verdünnte Äthansäure wird mit verdünnter Natriumhydroxidlösung neutralisiert.

Bau und Eigenschaften. Äthansäure (Essigsäure) CH_3COOH (auch Eihansäure) enthält zwei Kohlenstoffatome im Molekül. Eines dieser Atome ist zugleich Bestandteil der Carboxylgruppe (Abb. 25).

Wasserfreie Äthansäure ist eine farblose, stark ätzende, stechend sauer riechende Flüssigkeit. Ihre Schmelztemperatur beträgt $16,6^\circ\text{C}$. Feste kristalline Äthansäure wird als Eisessig bezeichnet. Wasserfreie Äthansäure ist brennbar. Sie verbrennt mit leuchtender Flamme zu Kohlendioxid und Wasser.



Äthansäure hat die allgemeinen Eigenschaften der Säuren. Ihre Salze sind die **Azetate** (auch Acetate)¹. Aluminiumazetat ist auch unter dem Namen „essigsaure Tonerde“ bekannt. Es wird in wässriger Lösung für kühlende Umschläge verwendet. Natriumazetatlösung entsteht bei der Neutralisation von verdünnter Äthansäure mit Natriumhydroxidlösung (Experiment 34). (4) (5)



▶ **Äthansäure (Essigsäure) ist eine farblose, ätzende Flüssigkeit. Ihre Salze heißen Azetate.**

¹ abgeleitet von acidum aceticum (lateinisch) = Essigsäure

- ① Geben Sie Formeln an für Natriumformiat und Kalziumformiat!
- ② Entwickeln Sie die chemische Gleichung in Ionenschreibweise für die chemische Reaktion von verdünnter Methansäure mit Kupfer(II)-oxid!
- ③ Entwickeln Sie die chemische Gleichung in Ionenschreibweise für die Neutralisation von verdünnter Methansäure durch Kaliumhydroxidlösung!
- ④ Geben Sie verschiedene Möglichkeiten zur Darstellung von Kalziumazetat an!
- ⑤ Wie können Sie experimentell beweisen, daß verdünnte Äthansäure Säureeigenschaften hat? Geben Sie drei Möglichkeiten an!
- ⑥ Vergleichen Sie die alkoholische Gärung mit der Essiggärung bezüglich der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte, der Wirkung von Enzymen und der Rolle des Sauerstoffs bei den Reaktionen!

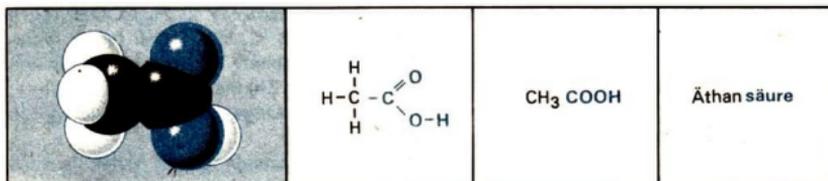


Abb. 25 Modell und Strukturformeln vom Äthansäuremolekül

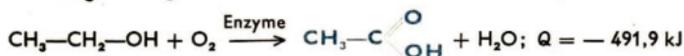
Verwendung. Verdünnte Äthansäure wird im Haushalt als Speisewürze verwendet. Der Massenanteil an Äthansäure beträgt bei Essigessenz bis 40%, Speiseessig hat einen Massenanteil von 5 ... 10% Äthansäure.

Verdünnte Äthansäure dient auch als Konservierungsmittel. Besondere Bedeutung hat Äthansäure als Ausgangsstoff zur Herstellung von Lacken und Farben (PVAC-Latex-Farben), Chemiefaserstoffen, Filmen und Arzneimitteln.

Herstellung. Äthansäure kann durch Oxydation aus Äthanol beziehungsweise aus Äthanal dargestellt werden. In der Technik wird Äthansäure vorwiegend nach dem Verfahren der Essiggärung oder durch Synthese über Äthanal hergestellt.

Die chemische Grundlage der **Essiggärung** ist die Oxydation von Äthanol mit einem Katalysator zu Äthansäure. Auf diese Weise wird zum Beispiel aus Wein Weinessig hergestellt. Die äthanolhaltigen Rohstoffe, wie Wein oder vergorene Früchte, werden mit Essigbakterien versetzt, die in dem flüssigen, äthanolhaltigen Gemisch verteilt sind und ständig mit Luft in Berührung kommen.

Im Schnellessigverfahren rieseln äthanolhaltige Flüssigkeiten in großen Gärbehältern über Buchenholzspäne, auf denen sich Essigbakterien befinden. Im Gegenstrom wird Luft durch die Gärbehälter geblasen. Der Sauerstoff der Luft dient bei dieser chemischen Reaktion als Oxydationsmittel. Die zugesetzten Essigbakterien erzeugen Enzyme, die als Katalysatoren den Prozeß der Essiggärung beschleunigen. Nach dem beschriebenen Verfahren kann nur etwa 15%ige Äthansäure hergestellt werden, da die Essigbakterien nur bis zu diesem Massenanteil an Säuren stoffwechselaktiv sind. Die chemischen Reaktionen der Essiggärung werden durch die folgende chemische Gleichung sehr vereinfacht zusammengefaßt. ⑥



► Die Essiggärung ist der biochemische Prozeß zur Herstellung von Äthansäure.

- ① Berechnen Sie das Volumen an Äthen (Normzustand), das bei der Produktion je Tonne Äthansäure umgesetzt werden muß!
- ② Berechnen Sie die Masse an Äthanol und das Volumen an Sauerstoff (Normzustand), die zur Produktion je Tonne Äthansäure benötigt werden!
- ③ Beschreiben Sie den Bau eines Hexadekansäuremoleküls!
- ④ Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Bau und Eigenschaften der Stoffe am Beispiel höhermolekularer Alkansäuren!
- ⑤ Unterbreiten Sie einen Vorschlag für die Darstellung einer Natriumseife im Unterricht!
- ⑥ Nennen Sie Beispiele zum Einsatz von Napalm durch imperialistische Armeen! Werten Sie den Einsatz von Napalm!

Ester

25

Parfüms, Seifen, Cremes und einige andere Stoffe verbreiten einen angenehmen Geruch. Meist ist es der Geruch von Blüten oder Früchten. Dieser Duft wird durch einige Ester hervorgerufen. Auch Bienenwachs und tierische Fette gehören zu den Estern. Aus dem Biologieunterricht kennen Sie ADP und ATP und deren Bedeutung. Diese Stoffe sind Ester. Zu den Estern gehören einige Herbizide und Insektizide, die in der Land- und Forstwirtschaft verwendet werden, um Unkräuter beziehungsweise Schadinsekten zu bekämpfen. Beim Einsatz dieser Stoffe sind Sachkenntnis und verantwortungsbewußtes Handeln außerordentlich wichtig, um nicht unerwünschte Schädwirkungen hervorzurufen. Einige Ester gehören zu den chemischen Kampfstoffen, die Menschenleben gefährden und vernichten können. Ihr Einsatz gilt als Verbrechen an der Menschheit.

Was sind Ester? Wie werden sie dargestellt? Wie werden sie verantwortungsbewußt und nutzbringend verwendet? Antwort hierauf erhalten Sie im folgenden Abschnitt.

35



Vorsicht! In einem Reagenzglas werden Äthansäure, Äthanol und wenig konzentrierte Schwefelsäure vorsichtig erhitzt. Der Geruch des Stoffgemisches ist vor und nach der chemischen Reaktion zu prüfen.

36



Vorsicht! Zur Darstellung von Propansäurepropylester werden Propansäure und Propanol unter Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure erhitzt (Abb. 27). Der Ester ist durch Destillation abzutrennen.

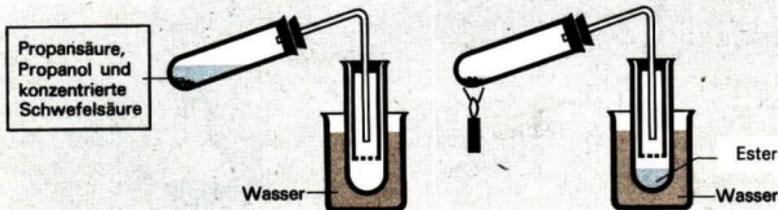
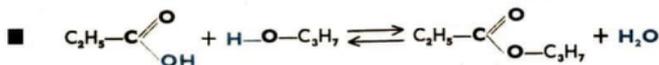


Abb. 27 Apparatur zur Darstellung von Propansäurepropylester
links: vor Beginn der chemischen Reaktion
rechts: im Verlaufe der chemischen Reaktion

- ① Aus welchen Stoffen können die folgenden Ester dargestellt werden:
a) Butansäureäthylester, b) Schwefelsäurediäthylester, c) Phosphorsäuretriäthylester?
- ② Vergleichen Sie den Begriff „Kondensation“ in der Chemie mit dem Begriff „Kondensation“, der Ihnen aus der Physik bekannt ist!
- ③ a) Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die chemischen Reaktionen von Äthansäure mit Natriumhydroxid und von Äthansäure mit Methanol!
b) Vergleichen Sie das Entstehen des Wassers als Reaktionsprodukt der Kondensation und als Reaktionsprodukt der Neutralisation!
- ④* a) Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die chemischen Reaktionen von Äthanol mit Äthansäure und für die Wasserabspaltung aus Äthanol!
b) Vergleichen Sie die Entstehung des Reaktionsprodukts Wasser bei Kondensation und Wasserabspaltung aus Äthanol!
- ⑤ Begründen Sie anhand der chemischen Gleichung die Zuordnung der Veresterung zu Kondensation und Substitution!
- ⑥* Im Experiment sollen 5 g Pentansäurepropylester $C_5H_{10}COO-C_3H_7$ dargestellt werden.
a) Welche Massen an Pentansäure und an Propanol sind erforderlich, wenn nur 60% zu Ester umgesetzt werden?
b) Wie kann ein möglichst vollständiger Stoffumsatz des Alkanols erreicht werden?
- ⑦ Erläutern Sie die Merkmale eines chemischen Gleichgewichts am Beispiel der chemischen Reaktion von Propansäure mit Propanol (↗ S. 23)!
- ⑧ Geben Sie Möglichkeiten an, die Konzentrationen der reagierenden Stoffe zu beeinflussen! Begründen Sie diese Möglichkeiten!
- ⑨ Überlegen Sie, ob sich Temperatur- oder Druckerhöhung auf die Esterdarstellung günstig auswirken! Begründen Sie das Ergebnis Ihrer Überlegungen!

Veresterung und Hydrolyse. Die chemische Reaktion von Säuren mit Alkoholen wird als Veresterung bezeichnet. Neben dem Ester entsteht als weiteres Reaktionsprodukt Wasser. Diese chemische Reaktion unterscheidet sich von der Neutralisation einer verdünnten Alkansäure mit einer Hydroxidlösung. Die Moleküle des Reaktionsprodukts Wasser entstehen jeweils aus der Hydroxylgruppe einer Karboxylgruppe des Säuremoleküls und einem Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe des Alkanolmoleküls.



Chemische Reaktionen, bei denen sich zwei Stoffe unter Abspaltung eines Stoffes mit einfach gebauten Molekülen, wie Wasser, vereinigen, werden als **Kondensation** bezeichnet. Die Veresterung ist eine Kondensation. Die Kondensation kann den Substitutionsreaktionen zugeordnet werden. ② ③ ④ ⑤ ⑥

► Die Kondensation ist eine Substitutionsreaktion, bei der als Nebenprodukt meist Wasser entsteht.

Die Veresterung ist eine Kondensation, bei der eine Säure mit einem Alkohol zu Ester und Wasser reagiert.

Die Veresterung ist eine umkehrbare chemische Reaktion, die in einem geschlossenen Gefäß zu einem chemischen Gleichgewicht führt. ⑦ ⑧ ⑨

Als Katalysator wirken die Wasserstoff-Ionen der Schwefelsäure. Es könnte auch eine andere anorganische Säure eingesetzt werden. Die konzentrierte Schwefelsäure erfüllt jedoch noch eine zweite Aufgabe. Sie beeinflusst auf Grund ihrer wasseranziehenden Wir-

kung die Konzentrationen der reagierenden Stoffe. Sie bindet einen Teil des Reaktionsprodukts Wasser. Durch chemische Reaktion der Ausgangsstoffe wird weiter Wasser gebildet. Dabei entsteht auch Ester. Der Entzug von Wasser begünstigt so die Esterbildung. Im geschlossenen Gefäß stellt sich ein anderes chemisches Gleichgewicht ein. Wenn die Siedetemperatur des Esters niedriger ist als die Siedetemperatur aller anderen Stoffe, läßt sich in einem offenen Gefäß die Esterbildung begünstigen, indem der Ester ständig durch Destillation aus dem Stoffgemisch entfernt wird.

► **Entzug eines Reaktionsprodukts begünstigt die chemische Reaktion, bei der das Reaktionsprodukt entsteht.**

Die der Veresterung entgegengerichtete chemische Reaktion ist die zwischen Ester und Wasser (↗ Experiment 37). Diese chemische Reaktion wird als **Hydrolyse** bezeichnet. Auch die Hydrolyse läßt sich den Substitutionsreaktionen zuordnen. Ein Ausgangsstoff ist immer Wasser. ①

► **Die Hydrolyse ist eine Substitutionsreaktion, bei der ein Ausgangsstoff Wasser ist.**

Katalysatoren wirken bei umkehrbaren chemischen Reaktionen auf Hin- und Rückreaktion gleichermaßen. Zur Hydrolyse könnte wie zur Veresterung eine Säure eingesetzt werden. Geeignet sind aber auch die Hydroxid-Ionen von Basen. Sie begünstigen außerdem die Hydrolyse, indem sie mit den Wasserstoff-Ionen der entstehenden Säure reagieren (Neutralisation). ②

Ester von Karbonsäuren. Ester können durch chemische Reaktion aus verschiedenen Alkoholen mit verschiedenen Karbonsäuren entstehen (Übersicht 7).

Übersicht 7 Einige Ester von Karbonsäuren

| Gruppe der Ester | Ausgangsstoffe | | Eigenschaften | Verwendung |
|------------------------------------|--|----------------------------|---|---|
| | Säure | Alkohol | | |
| Fruchtaromastoffe (Frucht-,äther") | niedrigmolekulare Alkansäuren | niedrigmolekulare Alkanole | flüssig, mit Wasser begrenzt mischbar, fruchtartiger Geruch | Aromen, Duftstoffe, Lösungsmittel für Lacke |
| Wachse | höhermolekulare Alkansäuren | höhermolekulare Alkanole | fest, in Wasser nicht löslich | Polituren, Schmierstoffe, Kerzen, Imprägniermittel, Kosmetika |
| Fette | Karbonsäuren mit 4...20 Kohlenstoffatomen im Molekül | Glyzerol (↗ S. 71) | ↗ S. 73 | ↗ S. 74 |

Ester der Phosphorsäure. Einige Phosphorsäureester sind physiologisch sehr wirksam. Die Phosphorsäureester Adenosindiphosphat und Adenosintriphosphat, abgekürzt ADP und ATP, haben große biologische Bedeutung im Stoff- und Energiewechsel aller Lebewesen. ADP und ATP stehen im Organismus miteinander im chemischen Gleichgewicht.

- ① Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Hydrolyse von Butansäureäthylester!
- ② Erläutern Sie die Wirkung einer Base bei der Hydrolyse von Estern!
- ③ Erläutern Sie die biologische Bedeutung von ADP und ATP (✓ BioÜb)!
- ④ Begründen Sie die mögliche Verwendung von Basen im Gemisch mit anderen Stoffen zur Entgiftung nach Einsatz von Ester-Kampfstoffen!
- ⑤ Begründen Sie die Feststellung: Chemische Kampfstoffe richten sich in erster Linie gegen die Zivilbevölkerung.
- ⑥ Zeigen Sie am Beispiel der Phosphorsäureester, daß die Verwendung von Chemikalien von den Zielen der Gesellschaftsordnung bestimmt ist!
Ziehen Sie Schlußfolgerungen!

Sie treten als Zwischenprodukte bei endothermen Aufbauprozessen und bei exothermen Abbauprozessen auf. ③

▶ **Die Phosphorsäureester Adenosindiphosphat (ADP) und Adenosintriphosphat (ATP) haben in Organismen lebenswichtige Bedeutung.**

Einige Phosphorsäureester wirken als Nervengifte. Sie dienen deshalb als Insektizide zur Bekämpfung von Schadinsekten.

In der DDR werden Insektizide im VEB Chemiekombinat Bitterfeld hergestellt. Beim Einsatz von Insektiziden sind außerordentliche Sorgfalt und die Einhaltung von Sicherheitsbestimmungen, wie Wartezeiten nach dem Einsatz bis zur Nutzung der Früchte, erforderlich. Richtig eingesetzt dienen so einige Phosphorsäureester zum Nutzen der Menschen, indem sie beitragen, volkswirtschaftliche Schäden in der Land- und Forstwirtschaft zu verhindern.

Die Wirksamkeit von Phosphorsäureestern wurde in den Laboratorien des berühmten IG-Farben-Konzerns zur Zeit des Faschismus in Deutschland weiter untersucht. Neue Stoffe wurden als chemische Kampfstoffe produziert und in verbrecherischer Weise an Menschen erprobt. Als Decknamen erhielten sie die Bezeichnungen Sarin, Soman und Tabun. 1 l Sarin reicht aus, um 1 Mio Menschen zu töten.

USA-Konzerne haben diese Kampfstoffe noch weiterentwickelt zu den sogenannten V-Kampfstoffen und den VX-Kampfstoffen. VX-Kampfstoffe haben 2,5- bis 3fache Wirkung im Vergleich zu Sarin. ④ ⑤ ⑥

▶ **Einige Phosphorsäureester sind als Insektizide geeignet. Andere Phosphorsäureester, wie Sarin, können als chemische Kampfstoffe mißbraucht werden.**



Abb. 30 Durch US-Flugzeuge entlaubte Wälder in Vietnam

Auch bei einigen Herbiziden sind Ester als Bestandteile enthalten. Herbizide sind Unkrautbekämpfungsmittel mit Wirkung gegen bestimmte Unkräuter. Sie werden in der DDR vom VEB Chemiekombinat Bitterfeld hergestellt und in der Landwirtschaft gezielt genutzt.

Von den USA wurden zur Durchsetzung ihrer aggressiven imperialistischen Politik gegenüber der Demokratischen Republik Vietnam namentlich solche Herbizide wie „Agent Orange“, „Agent White“ und „Agent Blue“ zur Entlaubung von Wäldern und zur Vernichtung von Reisfeldern eingesetzt (Abb. 30). Betroffen war vor allem die Zivilbevölkerung. Zunehmend werden Folgeschäden registriert. Gut ausgerüstete moderne Armeen verfügen über Schutzanzüge und Entgiftungsmöglichkeiten. Esterkampfstoffe lassen sich durch Hydrolyse mit Hydroxidlösungen abbauen.

Vergleich einiger organischer Stoffe

26

Alkanole, Alkanale und Alkansäuren enthalten in ihren Molekülen Sauerstoffatome in funktionellen Gruppen, die weitgehend die chemischen Eigenschaften dieser organischen Sauerstoffverbindungen bestimmen. Die funktionellen Gruppen sind Strukturmerkmale in den Molekülen der betreffenden Stoffe (Übersicht 8). ①②③④

Übersicht 8 Strukturmerkmale in Molekülen einiger organischer Stoffe

| Stoffklasse | Strukturformeln der Verbindungen mit zwei Kohlenstoffatomen im Molekül | Bezeichnung des kennzeichnenden Strukturmerkmals |
|-------------|--|--|
| Alkane | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ | Einfachbindung |
| Alkene | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$ | Doppelbindung |
| Alkine | $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ | Dreifachbindung |
| Alkanole | $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ | Hydroxylgruppe |
| Alkanale | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \quad \quad \diagup \quad \diagdown \\ \quad \quad \quad \text{O} \quad \text{H} \end{array}$ | Aldehydgruppe |
| Alkansäuren | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \quad \quad \diagup \quad \diagdown \\ \quad \quad \quad \text{O} \quad \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | Karboxylgruppe |

Strukturmerkmale in den Molekülen organischer Stoffe sind Grundlage für ihre Einteilung (Abb. 31).

Organische Stoffe sind meist aus Molekülen aufgebaut. Innerhalb der Moleküle bestehen

- ① Stellen Sie eine Tabelle für organische Stoffe mit drei Kohlenstoffatomen im Molekül zusammen, die folgende Angaben enthält: Name, Strukturformel, Strukturmerkmal, Stoffklasse!
- ② Die Entzündungstemperatur von Methanol ist wesentlich niedriger als die des Dekanols. Suchen Sie eine Erklärung!
- ③ Ihnen sind drei Gefäße mit farblosen Lösungen vorgegeben, mit Methanol, Methanal und Methansäure. Wie können Sie ermitteln, welcher Stoff in welchem Gefäß ist?
- ④ Äthanol, Natriumhydroxidlösung, Äthanallösung und verdünnte Äthansäure befinden sich in vier verschiedenen Gefäßen.
 - a) Wie können Sie schnell herausfinden, welcher Stoff sich in jedem der vier Gefäße befindet?
 - b) Die Gefäße sind mit A, B, C und D gekennzeichnet.

Die Stoffe zeigen folgende chemische Reaktionen:

| Stoffe im Gefäß | Chemische Reaktion mit Unitest | Chemische Reaktion mit ammoniakalischer Silbernitratlösung |
|-----------------|--------------------------------|--|
| A | keine Farbänderung | positiv |
| B | Rotfärbung | negativ |
| C | Blaufärbung | negativ |
| D | keine Farbänderung | negativ |

Welcher Stoff befindet sich in welchem Gefäß?

- ⑤ Erläutern Sie die verschiedenen Bindungsarten an je einem Beispiel (✓ ChiÜb)!
- ⑥ Beschreiben Sie alle chemischen Bindungen im Methansäuremolekül!
- ⑦ Vergleichen Sie die chemischen Bindungen im Methanalmolekül mit denen im Wasserstoffmolekül und mit denen im Chlorwasserstoffmolekül!

| Organische Sauerstoffverbindungen | | |
|---|--|--|
| Alkanole | Alkanale | Alkansäuren |
| ■ Propanol $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | ■ Propanal $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | ■ Propansäure $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ |
| | | |

Abb. 31 Einteilung einiger organischer Stoffe ⑤

Atombindungen. Zwischen den Molekülen wirken Anziehungskräfte. Funktionelle Gruppen der Sauerstoffverbindungen verstärken die Wirkung der Kohäsionskräfte. Einige Salze von Karbonsäuren sind aus Ionenkristallen aufgebaut. Die Besonderheit organischer Stoffe besteht darin, daß die Moleküle immer Kohlenstoffatome enthalten. ⑥ ⑦

Die funktionellen Gruppen in Molekülen organischer Stoffe ermöglichen verschiedene chemische Reaktionen (Übersicht 9).

Übersicht 9 Chemische Reaktionen einiger organischer Stoffe

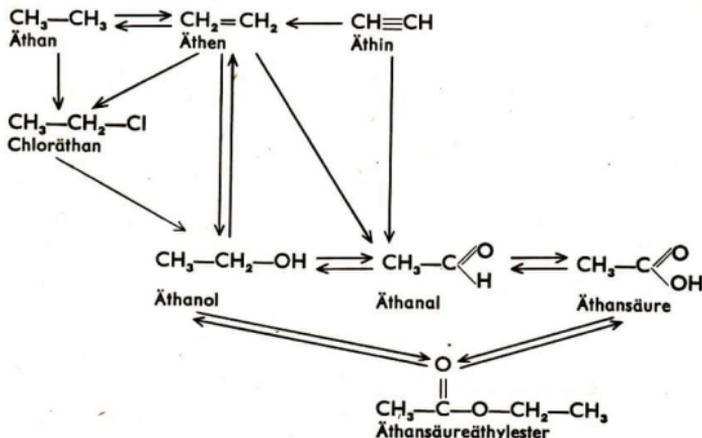
| Stoffklasse | Funktionelle Gruppe in den Molekülen | Chemische Reaktionen |
|-------------|---|---|
| Alkanole | —OH | Reaktion mit Natrium Dehydrierung zum Alkanal Wasserabspaltung zum Alken Veresterung mit Säuren |
| Alkanale | $\text{—C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{array}$ | Hydrierung zu Alkanol Oxydation zur Alkansäure Reaktion mit Fehlingscher Lösung Reaktion mit ammoniakalischer Silbernitratlösung Reaktion mit fuchsin-schwefliger Säure |
| Alkansäuren | $\text{—C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{array}$ | Reaktionen zur Bildung von Salzlösungen und Salzen Veresterung mit Alkoholen Dissoziation in wäßriger Lösung |

Die chemischen Reaktionen der Alkanole, Alkanale und Alkansäuren lassen sich bekannten Reaktionsarten zuordnen. ① ② ③

Stoffe verschiedener homologer Reihen mit gleicher Anzahl von Kohlenstoffatomen im Molekül können durch chemische Reaktionen ineinander umgewandelt werden. ④



Die folgende Übersicht zeigt die Zusammenhänge zwischen Stoffen mit zwei Kohlenstoffatomen im Molekül. ⑤



Bei vielen chemischen Reaktionen organischer Stoffe sind Katalysatoren erforderlich (Übersicht 11). Katalysatoren, wie Metalle, einige Metalloxide oder Enzyme, erhöhen die Reaktionsgeschwindigkeit der chemischen Reaktion. Sie bilden mit den Ausgangsstoffen Zwischenverbindungen, die schnell wieder zersetzt werden. Katalysatoren liegen nach der chemischen Reaktion unverändert vor und können wieder verwendet werden. Katalysatoren wirken selektiv.



Übersicht 11 Bei chemischen Reaktionen organischer Stoffe verwendete Katalysatoren

| Chemische Reaktion | Katalysator |
|--|------------------------------------|
| Methanolsynthese | Chrom(III)-oxid und Zinkoxid |
| Veresterung | Wasserstoff-Ionen (Hydroxid-Ionen) |
| Hydrolyse | Hydroxid-Ionen (Wasserstoff-Ionen) |
| Dehydrierung von Alkanolen | Kupfer |
| Hydrierung von Alkanalen | Nickel |
| Wasserabspaltung aus Alkanolen | Aluminiumoxid |
| Oxydation von Alkanalen zu Alkansäuren | Kupfer(II)-oxid |
| Alkoholische Gärung | Enzyme der Hefe |
| Essigsäuregärung | Enzyme der Essigsäurebakterien |

Aufgaben zur Festigung

29

- Stellen Sie eine Übersicht über Alkane, Alkanole, Alkanale und Alkansäuren mit folgenden Angaben zusammen: Name der Stoffklasse, Beispiel, Strukturmerkmale der Moleküle!
- Erläutern Sie am Beispiel der Alkanole die Merkmale einer homologen Reihe!
- Erläutern Sie an Beispielen den Zusammenhang zwischen der Struktur der Moleküle und chemischen Eigenschaften des Stoffes!
- Erläutern Sie am Beispiel der Äthansäure den Zusammenhang zwischen den chemischen Eigenschaften eines Stoffes und seiner Verwendung als Ausgangsstoff zur Herstellung anderer Stoffe!
- Entwickeln Sie eine Übersicht, aus der ersichtlich ist, welche Stoffe aus Äthanol dargestellt werden können!
- Erläutern Sie folgende Zusammenhänge am Beispiel des Methanols: Struktur der Moleküle – Eigenschaften des Stoffes – Verwendung des Stoffes als Lösungsmittel und als Ausgangsstoff zur Herstellung von Estern!
- Die Nutzung sowjetischen Erdöls und Erdgases als chemische Rohstoffe ist für unsere Volkswirtschaft von außerordentlicher Bedeutung. Bestätigen Sie diese Feststellung mit Argumenten aus der Sicht der Chemie, der Ökonomie und der Politik!
- Die Katalysatorforschung, bei der die Akademie der Wissenschaften der DDR und die der UdSSR eng zusammenarbeiten, ist Ausdruck gemeinsamen Strebens nach effektiver Nutzung von Rohstoffen und Energie. Begründen Sie die Richtigkeit dieser Feststellung! Werten Sie die Zusammenarbeit zwischen beiden wissenschaftlichen Einrichtungen!
- Nehmen Sie zu folgender Aussage Stellung!
Auch der Wissenschaftler im Imperialismus trägt eine hohe Verantwortung. Er muß sie auch gegen aggressiv orientierte imperialistische Politiker wahrnehmen, wenn er nicht an Verbrechen des Imperialismus gegen die Menschheit mitschuldig werden will.

Einige organische Stoffe mit mehreren funktionellen Gruppen im Molekül

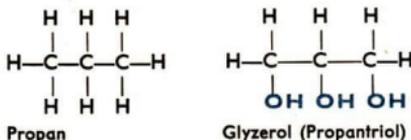
Täglich nimmt der Mensch mit der Nahrung Fette, Kohlenhydrate und Eiweiße auf. Die ausreichende Versorgung mit diesen Nährstoffen ist wesentliche Bedingung für das Leben. Auch im Stoffwechsel anderer Organismen haben diese Stoffe große Bedeutung, wie Sie bereits aus dem Biologieunterricht wissen. Wesentlicher Bestandteil solcher Stoffe sind organische Verbindungen mit mehreren funktionellen Gruppen im Molekül. Fette, Kohlenhydrate und Eiweiße sind leicht verderbliche Stoffe, bei deren Bearbeitung und Lagerung besondere Umsicht notwendig ist.

Warum verderben Lebensmittel so schnell? Welche chemischen Reaktionen laufen beim Stoffwechsel ab? Welche Folgerungen ergeben sich für den Umgang mit diesen Stoffen?

Glyzerol

30

Bau. Glyzerol (auch Glycerol) ist ein organischer Stoff, der sich vom Propan ableitet.



An jedes Kohlenstoffatom ist im Glyzerolmolekül eine Hydroxylgruppe gebunden. Glyzerol (Abb. 32) ist demnach ein Alkohol, der drei funktionelle Gruppen im Molekül enthält. Der systematische Name ist **Propantriol**, wobei die Silbe tri (drei) die Anzahl der Hydroxylgruppen angibt. (⊙ (↗ S. 73))

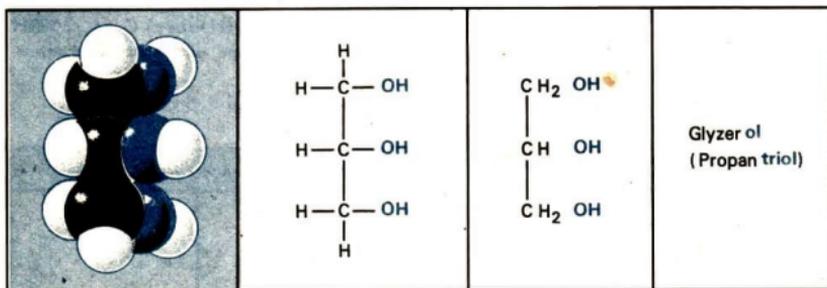
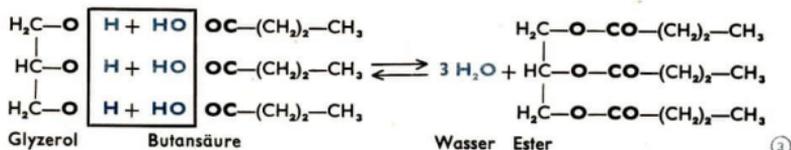


Abb. 32 Modell und Strukturformeln des Glyzerolmoleküls

Eigenschaften und Verwendung. Glycerol ist bei Zimmertemperatur eine farblose, ölige Flüssigkeit. Es löst sich leicht in Wasser und nimmt aus der Luft Feuchtigkeit auf. Man sagt, Glycerol ist hygroskopisch. Darauf beruht auch die Verwendung des Glycerols als Zusatz zu vielen Produkten, die längere Zeit feucht gehalten werden sollen, sowie als Hautpflegemittel. ②

Glycerol reagiert auf Grund der Struktur seiner Moleküle mit Säuren unter Wasseraustritt zu Estern.



In dem Beispiel hat sich jeweils ein Molekül Ester aus einem Molekül Glycerol und drei Molekülen Butansäure gebildet. In anderen Estermolekülen können aber auch Molekülreste von unterschiedlichen Karbonsäuremolekülen enthalten sein. Deshalb ist eine sehr große Anzahl verschiedener Ester des Glycerols möglich. ④ ⑤

Ester des Glycerols mit bestimmten Karbonsäuren sind die Fette. Der Ester des Glycerols mit Salpetersäure HNO_3 ist Nitroglycerol, ein hochexplosiver Stoff. Er ist der wirksame Bestandteil des von *Alfred Nobel* entdeckten Sprengstoffs Dynamit.

Glycerol ist ein Abkömmling des Propans mit drei Hydroxylgruppen im Molekül. Glycerol kann mit Säuren unter Esterbildung reagieren.

Fette

31

Proben verschiedener Fette und Speiseöle werden in Tetrachlormethan gelöst und die Lösungen tropfenweise mit Bromwasser versetzt und geschüttelt (Ch-SE 9/10, Experiment 5).

Vorkommen und Zusammensetzung. Fette sind Naturstoffe. Sie kommen in einigen Samen von Pflanzen (Raps, Sonnenblumen, Oliven) und als Speicherstoff im Gewebe von Tieren vor. Fette bestehen aus Estern des Glycerols mit Karbonsäuren, deren Moleküle Kohlenstoffketten von mittlerer (6 bis 10 Atome) und höherer Länge (mehr als 12 Atome) sowie eine Carboxylgruppe enthalten. Solche Karbonsäuren werden auch als **Fettsäuren** bezeichnet (Übersicht 12). Es treten auch Fettsäuren mit Doppelbindungen in der Kette der Kohlenstoffatome der Moleküle auf. Die **Oktadecensäure (Ölsäure)** $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ (auch Octadecensäure) enthält zum Beispiel die Carboxylgruppe und eine Doppelbindung im Molekül. Sie gehört zu den **Alkensäuren**. ⑥ ⑦

Übersicht 12 In Fetten häufig veresterte Fettsäuren

| Systematischer Name | Trivialname | Vereinfachte Strukturformeln |
|---------------------|---------------|--|
| Butansäure | Buttersäure | $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$ |
| Hexadecansäure | Palmitinsäure | $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$ |
| Oktadecansäure | Stearinsäure | $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$ |
| Oktadecensäure | Ölsäure | $\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$ |
| | | $\begin{array}{c} \parallel \\ \text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH} \end{array}$ |
| | | $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ |

- ① **Besätigen Sie, daß mit dem Namen Propantriol die Struktur der Moleküle von Glycerol angegeben werden kann!**
- ② **Stempelfarben und Hautcremes wird Glycerol zugesetzt. Erläutern Sie die Wirkung dieses Zusatzes!**
- ③ **Wenden Sie Ihre Kenntnisse über Esterbildung als Substitution auf die in der chemischen Gleichung auf Seite 72 wiedergegebene chemische Reaktion an!**
- ④ **Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Bildung des Esters aus Glycerol und Propansäure!**
- ⑤* **Wie viele unterschiedliche Formeln für Ester lassen sich bilden, wenn ein Molekül Glycerol mit je einem Molekül Äthansäure, Propansäure und Butansäure verestert wird?**
- ⑥ **Geben Sie eine der vereinfachten Strukturformeln eines Fettmoleküls an, in dem ein Molekül Glycerol mit je einem Molekül Butansäure, Hexadecansäure und Oktadecansäure reagiert hat!**
- ⑦ **Begründen Sie die Bezeichnung Alkensäuren! Wie lassen sich Doppelbindungen nachweisen?**
- ⑧ **Nennen Sie Beispiele für Fette und fette Öle! Geben Sie charakteristische Eigenschaften (Aggregatzustand, Geruch, Farbe) an!**
- ⑨ **Erläutern Sie den Unterschied zwischen fetten Ölen und Mineralölen!**
- ⑩ **Begründen Sie die Aussage im Text über den Anteil von Alkensäuren in fetten Ölen mit Hilfe der Ergebnisse des Experiments (↗ Ch-SE 9/10, Experiment 5)!**
- ⑪* **Zur Herstellung von Margarine (festes Fett) werden vor allem pflanzliche fette Öle (z. B. Rapsöl) als Ausgangsstoff benutzt. Welcher Vorgang muß offenbar bei der Margarineherstellung ablaufen, um aus einem fetten Öl ein festes Fett zu gewinnen?
Nutzen Sie beim Lösen der Aufgabe auch die Beobachtungen beim Experiment 38 (↗ Ch-SE 9/10, Experiment 5)!**

► **Fette sind Naturstoffe, die aus Estern des Glycerols mit Fettsäuren, zum Beispiel Alkensäuren und Alkensäuren, bestehen. Alkensäuren sind Karbonsäuren, die im Molekül eine Carboxylgruppe und eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen enthalten.**

Eigenschaften. Fette lösen sich nicht in Wasser, jedoch gut in einigen organischen Lösungsmitteln, wie Tetrachlormethan, Methanol und Benzen (Experiment 38). Fette, die bei Zimmertemperatur flüssig sind, bezeichnet man als **fette Öle**. Durch das Adjektiv „fett“ sollen diese Öle von den **Mineralölen** unterschieden werden, die Gemische von Kohlenwasserstoffen sind und bei der Destillation des Erdöls anfallen. ⑧ ⑨

Die unterschiedlichen Eigenschaften einzelner Fette werden vor allem durch den unterschiedlichen Anteil von Molekülresten verschiedener Fettsäuren in den Estermolekülen bedingt. Feste Fette sind vorwiegend Ester des Glycerols mit Alkensäuren. Demgegenüber ist in fetten Ölen ein erheblicher Anteil des Glycerols mit Fettsäuren verestert, die Doppelbindungen in der Kohlenstoffkette enthalten (Experiment 38).

Aber auch die Länge der Kette von Kohlenstoffatomen in den Molekülresten der Fettsäuren hat Einfluß auf die Eigenschaften der Fette. So enthalten die Milchfette von Säugetieren besonders viele Ester des Glycerols mit Alkensäuren von Kettenlängen unter 12 Kohlenstoffatomen. In Fischtranen sind dagegen besonders viele Alkensäuren mit langen Ketten von 20 und 22 Kohlenstoffatomen verestert. ⑩ ⑪

► **Die unterschiedlichen Eigenschaften verschiedener Fette sind von ihrer Zusammensetzung abhängig.**

Fettstoffwechsel. Fette sind wichtige Nährstoffe. Als Ester können sie durch Hydrolyse unter Aufnahme von Wasser zu Alkohol und Säure umgesetzt werden. Umgekehrt können Alkohol und Säure durch Kondensation zu Ester und Wasser reagieren. Beide chemi-

schen Reaktionen verlaufen entgegengesetzt und stellen umkehrbare chemische Reaktionen dar.



Die Hydrolyse von Fetten wird auch als **Fettspaltung** bezeichnet, ihre Bildung durch Kondensation als **Fettaufbau**.

Fettspaltung und Fettaufbau laufen beim Fettstoffwechsel im menschlichen und tierischen Körper ab. Die Fette in den Nahrungsmitteln werden unter Einwirkung von Enzymen als Katalysatoren in Glycerol und Fettsäuren gespalten. Durch weiteren Abbau dieser Produkte kann für den Organismus Wärme freigesetzt werden. Überschüssige, nicht für den Energiewechsel benötigte Fettsäuren werden zu den für den jeweiligen Organismus typischen Säuren mit entsprechender Kettenlänge umgebaut. Mit Glycerol bilden diese dann wieder körpereigenes Fett, das im Gewebe gespeichert wird. Auch außerhalb des Organismus tritt – insbesondere bei genügender Feuchtigkeit und Wärmeeinwirkung – langsame Fettspaltung ein; das Fett wird ranzig und für die Ernährung unbrauchbar, da mit dieser Fettspaltung noch weitere Zersetzungen verbunden sind. (2) (3) (4)

Technisch lassen sich Fette bei Gegenwart von Katalysatoren durch Erhitzen spalten. Auf diese Weise können Glycerol und Gemische von Fettsäuren gewonnen werden. Beim Erhitzen mit Kaliumhydroxidlösung oder Natriumhydroxidlösung entstehen **Seifen**, die Salze der Fettsäuren.

Fettspaltung durch Hydrolyse und Fettaufbau durch Kondensation sind umkehrbare chemische Reaktionen. Sie laufen unter dem Einfluß von Enzymen beim Fettstoffwechsel ab.

Glukose

32

Vorsicht! Glukoselösung wird mit Fehlingscher Lösung unter Schütteln bis zum Sieden erhitzt.

Glukoselösung wird mit fuchsinschwefliger Säure versetzt.

Eigenschaften und Vorkommen. Glukose (Traubenzucker) $C_6H_{12}O_6$ (auch Glucose) ist ein weißer, kristalliner Stoff, der sich leicht in Wasser löst und süß schmeckt. Sie läßt sich vergären.

Glukose kommt im pflanzlichen und tierischen Organismus vor. Sie entsteht in den chlorophyllhaltigen pflanzlichen Zellen aus Kohlendioxid und Wasser durch Photosynthese und ist am Stoffwechsel von Menschen, Tieren und Pflanzen beteiligt. Recht groß ist der Massenanteil an Glukose in allen süßschmeckenden Früchten, ganz besonders in den Weinbeeren. Auch der Honig besteht zu einem beträchtlichen Teil aus Glukose. Das menschliche Blut muß immer einen bestimmten Anteil Glukose als Blutzucker enthalten. Starke Veränderungen dieses Anteils treten bei bestimmten Erkrankungen auf.

(5) (6) (7)

Glukose als Kohlenhydrat. Glukose besteht aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff und hat die Summenformel $C_6H_{12}O_6$.

Wie aus der Summenformel hervorgeht, liegen die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff in der Glukose im Atomzahlenverhältnis 2:1 wie im Wasser vor. Deshalb wurden solche Stoffe als **Kohlenhydrate** oder **Saccharide** bezeichnet.

- ① Entwickeln Sie nach der Wortgleichung auf Seite 74 eine chemische Gleichung, bei welcher der Ester aus Glycerol und Hexansäure hergestellt wird! Erläutern Sie daran Hydrolyse und Kondensation!
- ② Begründen Sie die Angabe im Text, daß die Fettspaltung durch Feuchtigkeit und Wärmeeinwirkung begünstigt wird! Welche Folgerungen ergeben sich für die Lagerung von Fetten?
- ③* Butter enthält einen Massenanteil von mehr als 15% Wasser, Rindertalg weniger als 0,5%. Welche Aussage können Sie über die Haltbarkeit beider Fette machen? Begründen und belegen Sie Ihre Aussage!
- ④* Fahrräder und Mopeds werden zum Schutz vor dem Verrosten regelmäßig mit Öl abgerieben. Können Sie anstelle von Fahrradöl, einem Mineralöl, auch ein fettes Öl dazu verwenden? Begründen Sie Ihre Aussage!
- ⑤ Stellen Sie Angaben über die Bedeutung der Glukose im Stoffwechsel zusammen (✓ BioÜb)!
- ⑥ Geben Sie die chemische Gleichung für die Vergärung von Glukose an! Erläutern Sie die Durchführung dieses Prozesses in der Praxis (✓ Register)!
- ⑦ Welche Masse von reinem Äthanol kann aus 1 kg Glukose durch Vergären bei vollständigem Stoffumsatz gewonnen werden?
- ⑧ Weisen Sie an der Summenformel der Glukose nach, daß die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff im Atomzahlenverhältnis des Wassers vorhanden sind!
- ⑨* Bestätigen Sie die Richtigkeit der Summenformel der Äthansäure! Stellen Sie die vereinfachte Strukturformel für diesen Stoff auf! Bestätigen Sie die Aussage im Text, daß Kohlenhydrate neben dem Atomzahlenverhältnis noch andere Strukturmerkmale aufweisen, die Äthansäure nicht besitzt!
- ⑩ Erläutern Sie an den beiden Formeln auf Seite 76 die Bildung der Kettenform aus der Ringform des Glukosemoleküls!

► **Kohlenhydrate sind organische Stoffe, die aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen. Die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff liegen in den Kohlenhydraten meist im Atomzahlenverhältnis wie bei Wasser vor.** ⑨

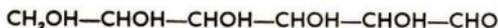
Die Bezeichnung Kohlenhydrat ist allerdings zu einer Zeit entstanden, als noch viele Unklarheiten über die Zusammensetzung organischer Stoffe bestanden. Inzwischen sind viele weitere Stoffe bekannt geworden, die in den Molekülen ebenfalls die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff im Atomzahlenverhältnis 2:1 enthalten, aber anderen Stoffklassen zugeordnet werden müssen. Ein Beispiel ist die Äthansäure mit der Summenformel $C_2H_4O_2$. Kohlenhydrate weisen nämlich außer diesem Atomzahlenverhältnis noch andere Strukturmerkmale in den Molekülen auf. ⑨ ⑩

Glukose ist ein Kohlenhydrat, das sich durch Hydrolyse nicht spalten läßt. Sie gehört zu den **Monosacchariden**.

► **Monosaccharide sind Kohlenhydrate, deren Moleküle durch Hydrolyse nicht weiter gespalten werden können.**

Außer der Glukose gibt es noch andere Monosaccharide, zum Beispiel Fruktose (Fruchtzucker) und Galaktose.

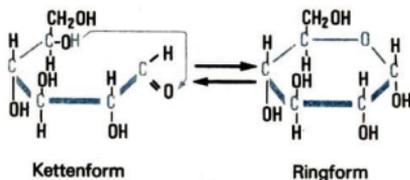
Bau der Glukose. In der vereinfachten Strukturformel der Glukose



sind eine Kette von Kohlenstoffatomen mit einer Aldehydgruppe als endständiges Kohlenstoffatom und fünf Hydroxylgruppen zu erkennen. Diese Struktur beeinflußt die chemischen

Eigenschaften. Glukose kann auf Grund des Vorhandenseins von Hydroxylgruppen im Molekül Ester bilden. Glukose reagiert mit Fehlingscher Lösung (Experiment 39). Auffällig ist jedoch, daß die für Aldehyde ebenfalls typische chemische Reaktion mit fuchsin-schwefeliger Säure (Experiment 40) nicht eintritt. Eine genauere Untersuchung der Struktur der Glukosemoleküle ergibt, daß nicht nur die Kettenform mit einer Aldehydgruppe vorkommt. Bei einem großen Teil der Moleküle tritt in wäßriger Lösung zwischen der Aldehydgruppe und einer Hydroxylgruppe innerhalb des gleichen Moleküls Ringbildung ein. Es entsteht die **Ringform des Glukosemoleküls** mit einem Ring aus fünf Kohlenstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Im Biologieunterricht wird vereinfacht nur das Symbol für den Ring zur Bezeichnung von Glukosemolekülen benutzt.

①



Zwischen der Kettenform und der Ringform der Glukosemoleküle bildet sich ein chemisches Gleichgewicht aus. Im chemischen Gleichgewicht liegt hauptsächlich die Ringform vor, in der keine Aldehydgruppe mehr vorhanden ist. Deshalb ist die für Aldehyde charakteristische chemische Reaktion mit fuchsin-schwefeliger Säure bei Glukose nicht möglich. Die chemische Reaktion mit Fehlingscher Lösung wird durch die Ringbildung nicht beeinflusst.

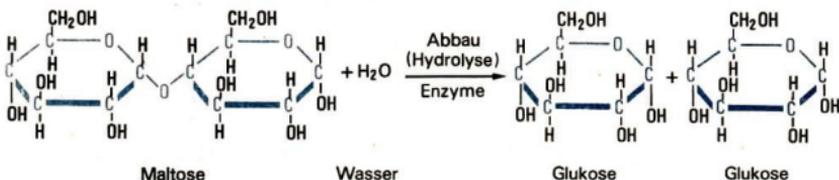
Glukose ist ein Kohlenhydrat, das große Bedeutung für den Stoffwechsel der lebenden Organismen hat. Glukosemoleküle können Ketten- und Ringform haben.

Maltose und Saccharose als Disaccharide

33

Maltose. In der Natur kommt **Maltose (Malzzucker)** $C_{12}H_{22}O_{11}$ nur als Zwischenprodukt des Stärkeabbaus, zum Beispiel in Malzextrakt, in keimendem Getreide sowie Kartoffelkeimen vor und entsteht auch im Speisebrei beim Abbau der Stärke im Mund unter Einwirkung des Speichels.

Maltose ist ebenfalls ein Kohlenhydrat, das aber doppelt so viele Kohlenstoffatome im Molekül enthält wie das Monosaccharid Glukose. Maltosemoleküle lassen sich durch Hydrolyse in je zwei Glukosemoleküle spalten. Dieser Vorgang des Abbaus von Maltose erfolgt im Organismus unter Einwirkung von Enzymen.



- ①* . Vergleichen Sie den Ring der Glukosemoleküle mit dem Ring im Benzenmolekül!
- ② Begründen Sie die Zuordnung von Maltose und Saccharose zu den Kohlenhydraten!
- ③ Erläutern Sie den Begriff Disaccharid!
Begründen Sie die Zuordnung der Maltose und Saccharose zu den Disacchariden!
- ④* Die Hydrolyse haben Sie als Reaktionen der Ester kennengelernt (↗ Register, ChiÜb).
Vergleichen Sie damit die chemischen Reaktionen beim Abbau von Disacchariden!
- ⑤ Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Hydrolyse der Saccharose unter Verwendung der Summenformeln!
- ⑥ Erläutern Sie die biologische Bedeutung der Saccharose (↗ Biologie, Klasse 8)!
- ⑦ Informieren Sie sich, wo in der Nähe Ihres Schulorts Saccharose hergestellt wird!
- ⑧ Stellen Sie Beispiele für das Vorkommen von Stärke zusammen!
- ⑨* Begründen Sie die Zuordnung a) der Stärke und b) der Zellulose zu den Kohlenhydraten!



Maltose ist ein Beispiel für ein **Disaccharid**.

- **Disaccharide sind Kohlenhydrate, deren Moleküle durch Hydrolyse in je zwei Monosaccharidmoleküle gespalten werden können.** ② ③ ④

Saccharose. Zu den Disacchariden gehört auch **Saccharose (Rohrzucker)** $C_{12}H_{22}O_{11}$. Sie ist der Stoff, der allgemein als Zucker bezeichnet wird. Saccharose kommt in vielen Früchten, vor allem aber in Zuckerrohr und in Zuckerrüben vor. Daraus wird Saccharose in den Zuckerfabriken gewonnen.

Saccharose ist ein süß schmeckender Stoff, der farblose Kristalle bildet. Bei der Hydrolyse der Saccharose entstehen Glukose und Fruktose.

⑤ ⑥ ⑦

Neben Maltose und Saccharose gibt es noch andere Disaccharide, beispielsweise Laktose (Milchzucker) in der Milch.

Stärke und Zellulose

34

- 41 ▼
- 42 ▼
- 43 ▼

Stärkelösung, Kartoffelscheiben, ein Stückchen Brot und Haferflocken werden mit Jodlösung geprüft.

Vorsicht! Stärkelösung wird mit Fehlingscher Lösung zum Sieden erhitzt.

Vorsicht! Stärkelösung wird mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure zum Sieden erhitzt. Nach der Neutralisation ist die Lösung mit Fehlingscher Lösung zu prüfen (↗ Ch-SE 9/10, Exper. 6).

Vorkommen und Eigenschaften von Stärke. Stärke $(C_6H_{10}O_5)_n$ entsteht bei der Assimilation und kommt in den Samen, Wurzelknollen und anderen Speicherorganen von Pflanzen vor. Sie kann durch die Blaufärbung mit Jodlösung nachgewiesen werden (Experiment 41). Stärke ist ein weißer, fester Stoff; sie quillt mit Wasser auf. Unter Ausnutzung dieser Eigenschaft kann Stärkekleister hergestellt werden. Stärke spielt eine wichtige Rolle im Stoffwechsel der Pflanzen sowie in Form von Stärkemehl als Nährstoff für Mensch und Tier. ⑧ ⑨

Bau der Stärke. Stärke ist ein Kohlenhydrat. Stärke kann durch Hydrolyse in Glukose gespalten werden (Abb. 33).

Die Anzahl der Molekülreste von Glukose im Stärkemolekül ist sehr groß. Die relative Molekülmasse der Stärke liegt bei etwa 50000 bis 200000. Sie kann aber nicht genau angegeben werden, da die Größe der Moleküle schwankt. Stärke besteht aus Makromolekülen. Sie ist demnach ein makromolekularer Stoff. Da die Stärke in der Natur vorkommt, spricht man von einem natürlichen makromolekularen Stoff im Gegensatz zu den künstlich hergestellten synthetischen makromolekularen Stoffen (↗ S. 86). Stärke aus verschiedenen Pflanzen, zum Beispiel Kartoffelstärke, Reisstärke, Stärke im Weizenmehl, unterscheidet sich in den Eigenschaften. ① ②

Stärke reagiert nicht mit Fehlingscher Lösung. Erhitzt man Stärke einige Zeit mit verdünnter Säure, so tritt auf Grund der katalytischen Wirkung von Wasserstoff-Ionen Hydrolyse zu Maltose und schließlich zu Glukose ein (Experimente 42 und 43). ③ ④ ⑤

Kohlenhydrate wie die Stärke, deren Moleküle aus sehr vielen Molekülresten von Monosacchariden aufgebaut sind, werden als **Polysaccharide** bezeichnet.

Polysaccharide sind Kohlenhydrate. Polysaccharide sind makromolekulare Stoffe, deren Moleküle durch Hydrolyse in Monosaccharidmoleküle gespalten werden können. Stärke ist ein Polysaccharid, deren Moleküle in Glukosemoleküle gespalten werden können.

Stärke im Stoffwechsel. Stärke hat außerordentlich große Bedeutung bei biochemischen Prozessen. Durch Photosynthese entsteht in den Pflanzen Glukose. Dieser wasserlösliche Stoff läßt sich leicht transportieren. In den Samen, Knollen und anderen Speicherorganen kann Glukose dann unter Einwirkung von Enzymen zu Stärke aufgebaut werden. Bei Bedarf erfolgt in der Pflanze, wiederum durch Einfluß von Enzymen, die Hydrolyse zu Maltose und weiter zu Glukose. Auch im menschlichen und tierischen Organismus wird die aufgenommene Stärke zu Glukose abgebaut.

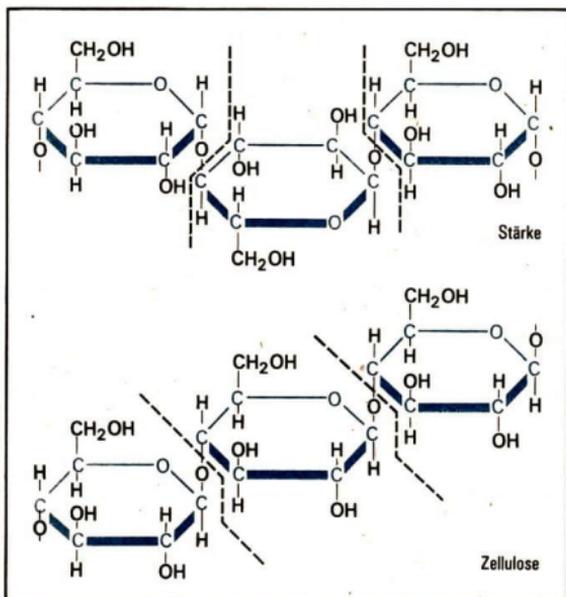


Abb. 33 Ausschnitt aus der Strukturformel von Stärke- und Zellulosemolekülen

- ①* Ermitteln Sie, wieviel Molekülreste von Glukose etwa in einem Stärkemolekül enthalten sind!
- ② Nennen Sie makromolekulare Stoffe, die Sie schon früher im Chemieunterricht kennengelernt haben! Vergleichen Sie deren Entstehung und Aufbau mit a) Stärke und b) Zellulose!
- ③* Erklären Sie, warum Stärke nicht mit Fehlingscher Lösung reagiert!
- ④ a) Erläutern Sie die chemische Reaktion der Hydrolyse am Beispiel des Stärkeabbaus!
b) Warum können bei dieser chemischen Reaktion auch Maltosemoleküle entstehen?
c) Begründen Sie die Zuordnung der Hydrolyse zur Substitutionsreaktion!
- ⑤* Stärkemoleküle sollen bis zu den Monosaccharidmolekülen zerlegt werden. Entwickeln Sie einen Vorschlag für die Durchführung eines entsprechenden Experiments! Denken Sie an Möglichkeiten zum Abbau von Fetten! Überlegen Sie auch, wie sich der Abbau der Stärke nachweisen läßt! Denken Sie dabei an Nachweismöglichkeiten der Monosaccharide! Realisieren Sie Ihren Vorschlag nach der Experimentbeschreibung (✓ Ch-SE 9/10, Experiment 6)!
- ⑥* Erfrorene Kartoffeln schmecken süß. Dieser Geschmack läßt sich durch ausreichendes Wässern weitgehend beseitigen. Versuchen Sie beide Erscheinungen zu erklären!
- ⑦ Erläutern Sie die chemischen Reaktionen bei der Herstellung von Äthanol aus Stärke!
- ⑧ Im Stoffwechsel von Mensch, Tier und Pflanzen spielen die folgenden chemischen Reaktionen eine wichtige Rolle:
$$\text{Glukose} \rightleftharpoons \text{Maltose} \rightleftharpoons \text{Stärke.}$$

Erläutern Sie die Reaktionen! Wenden Sie dabei die Begriffe Monosaccharid, Disaccharid und Polysaccharid an!
- ⑨ Begründen Sie die Notwendigkeit, Papier als Sekundärrohstoff zu sammeln, um es erneut zu Papier zu verarbeiten! Gehen Sie von der Angabe im Text über die Herstellung des Papiers aus!

Technisch entsteht Glukose durch Abbau von Stärke. Bei der Herstellung von Bier wird die Stärke im Malz durch die Wirkung von Enzymen hydrolytisch abgebaut und die Glukose anschließend vergoren. Auch aus Kartoffeln, Getreide und anderen stärkehaltigen Produkten kann auf ähnliche Weise Äthanol gewonnen werden. ⑥ ⑦ ⑧

Zellulose. Zellulose ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n (auch Cellulose) kommt als Gerüstsubstanz von Pflanzen, beispielsweise in Baumwolle, Flachs, anderen Pflanzenfasern und Holz vor. Sie ist ebenfalls ein Polysaccharid, deren Moleküle aus Molekülresten von Glukose aufgebaut sind. Zellulose kann hydrolytisch in Glukose gespalten werden. Sie unterscheidet sich von der Stärke in der Struktur der Makromoleküle (Abb. 33).

Die Makromoleküle der Stärke haben vor allem Knäuelform, die der Zellulose sind demgegenüber fadenförmig. Deshalb ist Zellulose als Gerüstsubstanz in den Pflanzen geeignet.

Zellulose ist von großer praktischer Bedeutung. Aus stark zellulosehaltigen Pflanzenteilen kann durch Abtrennen anderer Bestandteile in entsprechenden chemisch-technischen Verfahren Zellstoff gewonnen werden. Durch geeignete weitere chemische Behandlung läßt sich Zellstoff zu Zellulosefaserstoffen (Viskosefasern) weiterverarbeiten, die in der DDR unter dem Namen Regan zur Herstellung von Textilien, aber vor allem auch zu Kordeinlagen für Autoreifen verwendet werden. Zellstoff ist ferner Ausgangsstoff für die Herstellung von Zellglas und Nitrolacken. Besonders große Mengen an Zellulose werden für die Herstellung von Papier benötigt.

⑨

▶ **Zellulose ist ein Polysaccharid, deren Moleküle durch Hydrolyse zu Glukosemolekülen abgebaut werden können. Die unterschiedlichen Eigenschaften von Stärke und Zellulose beruhen auf der unterschiedlichen Struktur der Moleküle.**

Ein anderes Polysaccharid ist das Glykogen, das in der Leber vorkommt. In der folgenden Übersicht sind einige Kohlenhydrate zusammengefaßt (Übersicht 13).

①

Übersicht 13 Vergleich einiger Kohlenhydrate

| | Monosaccharid | Disaccharid | Polysaccharide | |
|-------------------------------------|---|--|---|---|
| | ■ Glukose | ■ Maltose | ■ Stärke | ■ Zellulose |
| Summenformel | $C_6H_{12}O_6$ | $C_{12}H_{22}O_{11}$ | $(C_6H_{10}O_5)_n$ | $(C_6H_{10}O_5)_n$ |
| Vorkommen | Früchte, Honig | keimende Samen, Zwischenprodukt des Stärkeauf- und -abbaus | Samen und Speicherorgane der Pflanzen | Gerüstsubstanz von Pflanzen |
| Eigenschaften relative Molekülmasse | 180 | 342 | 50 000 bis 200 000 | 500 000 bis 2 000 000 |
| Hydrolyse | nicht möglich | zu Monosaccharid | zu Di- und Monosacchariden | zu Di- und Monosacchariden |
| Löslichkeit in Wasser | löslich | löslich | nicht löslich | nicht löslich |
| Reaktion mit Fehlingscher Lösung | möglich | möglich | nicht möglich | nicht möglich |
| spezieller Nachweis | | | mit Jodlösung | |
| Bedeutung und Verwendung | Stoffwechsel, rasch wirkender Nährstoff (Traubenzucker) | Stoffwechsel | Stoffwechsel, Nahrungsmittel, Herstellung von Äthanol | Aufbau der Pflanzen, Zellulosefasern, Zellulosefasernstoffe, Papier |

Aminosäuren und Peptide

35

Aus dem Biologieunterricht ist bekannt, daß die ungeheuer große Anzahl der Eiweiße aus wenigen Aminosäuren aufgebaut ist. In den folgenden Abschnitten soll der Bau dieser Stoffe näher untersucht werden. Dadurch können Stoffwechselfvorgänge in der Natur noch besser erklärt werden.

Aminogruppe als funktionelle Gruppe. Aminosäuren sind organische Stoffe mit mindestens zwei unterschiedlichen funktionellen Gruppen im Molekül. Ihre Moleküle enthalten neben Karboxylgruppen $-\text{COOH}$ noch **Aminogruppen** $-\text{NH}_2$ als funktionelle Gruppen.

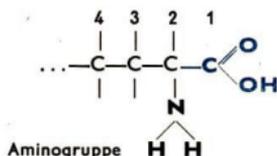
In dieser funktionellen Gruppe ist ein Stickstoffatom mit zwei Wasserstoffatomen durch Atombindung verbunden.

②

Bei den Aminosäuren, die am Aufbau der Eiweiße beteiligt sind, befindet sich die Aminogruppe stets an dem Kohlenstoffatom neben der Karboxylgruppe.

- ① Vergleichen Sie die Angaben in den Spalten der Übersicht! Erörtern Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede unter Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen der Struktur der Moleküle und den Eigenschaften der Stoffe!
- ② Vergleichen Sie alle Ihnen bisher bekannten funktionellen Gruppen mit der Aminogruppe!

Um die Stellung der funktionellen Gruppe genau angeben zu können, numeriert man die Kohlenstoffatome im Molekül von der Karboxylgruppe aus.



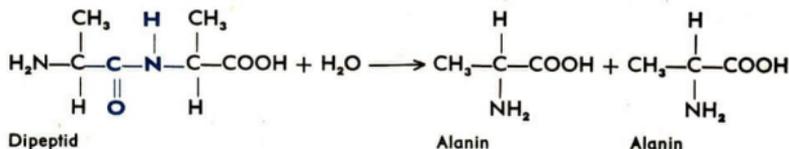
Die Stellung der funktionellen Gruppe wird dann durch die entsprechende Zahl angegeben. Am Aufbau der Eiweiße sind demnach **2-Aminosäuren** beteiligt. Wichtige 2-Aminosäuren sind Glykokoll (2-Amino-äthansäure; auch Glycokoll) und Alanin (2-Amino-propansäure) (Abb. 34).

| Modell des Moleküls | Strukturformel | Vereinfachte Strukturformel | Name | Abkürzung |
|---------------------|----------------|--|---------------------------------------|-----------|
| | | $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ | Glykokoll (2-Amino- äthansäure) | Gly |
| | | $\text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad \quad \text{NH}_2$ | Alanin (2-Amino- propan säure) | Ala |

Abb. 34 Modelle und Strukturformeln einfacher 2-Aminosäuremoleküle

- **Aminosäuren sind Karbonsäuren, die neben Karboxylgruppen —COOH auch Aminogruppen —NH₂ im Molekül enthalten. Aus 2-Aminosäuren bauen sich die Eiweiße auf.**

Dipeptide und Peptidbindung. Ein Stoff, der die Molekülreste von zwei Aminosäuren enthält, wird als **Dipeptid** bezeichnet. Dipeptide lassen sich hydrolytisch, also unter Wasseraufnahme, wieder in die Aminosäuren spalten.



Dipeptidmoleküle enthalten die **Peptidbindung** —CO—NH— . ①

Peptide. Auch ein Dipeptidmolekül enthält eine Carboxylgruppe und eine Aminogruppe. Es kann mit weiteren 2-Aminosäuremolekülen Peptidbindungen ausbilden. So können Tripeptidmoleküle aus drei Aminosäuremolekülen und immer größere Moleküle, die **Polypeptide**, entstehen. Umgekehrt lassen sich Peptidmoleküle hydrolytisch in 2-Aminosäuremoleküle spalten. ②

Polypeptide enthalten in ihren Molekülen bis zu 100 Molekülreste von 2-Aminosäuren. Da die einzelnen Molekülreste der 2-Aminosäuren in unterschiedlicher Reihenfolge und Anzahl verbunden sein können, ergeben sich sehr viele Kombinationsmöglichkeiten.

Wenn nur zwei Aminosäuren an der Bildung eines Tripeptids beteiligt sind, dann können $2^3 = 8$ verschiedene Tripeptide entstehen. Wären diese beiden Aminosäuren beispielsweise Glykokoll und Alanin, dann ergeben sich folgende acht Anordnungen im Tripeptidmolekül:



Wenn nur drei verschiedene Aminosäuren ein Polypeptid aus zehn Molekülresten von Aminosäuren bilden, dann gibt es dafür bereits 3^{10} , das sind 59049 Möglichkeiten der Anordnung. Jede dieser denkbaren Verbindungen hätte andere spezifische Eigenschaften.

Aus wenigen unterschiedlichen Aminosäuremolekülen läßt sich eine außerordentlich große Anzahl verschiedener Polypeptidmoleküle bilden.

Peptide sind organische Stoffe, die hydrolytisch in 2-Aminosäuren gespalten werden können. Die Molekülreste der 2-Aminosäuren sind in den Peptiden durch Peptidbindungen —CO—NH— miteinander verbunden.

Eiweiße

36

Vorsicht, Schutzbrille! Festes Eiweiß (z. B. Federn, Horn) wird mit etwas festem Natriumhydroxid bedeckt und erhitzt. Die entweichenden Gase sind auf Geruch und mit feuchtem Unitestpapier zu prüfen.

Eiweißlösung wird vorsichtig zum Sieden erhitzt.

Eiweißlösung ist mit verdünnter Säure zu versetzen.

Vorsicht! Zu Eiweißlösung, weißen Federn und festem Ei wird jeweils konzentrierte Salpetersäure gegeben.

Vorkommen und Eigenschaften. Eiweiße sind die wesentliche Grundlage für das Leben der Organismen. Sie sind besonders am Aufbau der Zellen beteiligt. Es sind makromolekulare Naturstoffe, die aus Molekülresten von 2-Aminosäuren bestehen. Die Molekülreste der 2-Aminosäuren sind in unterschiedlicher Reihenfolge durch Peptidbindungen

- ① Erläutern Sie die chemische Gleichung für die Hydrolyse eines Dipeptids!
- ② Weisen Sie an der Formel des Dipeptids auf Seite 82 nach, daß Dipeptide eine Carboxylgruppe und eine Aminogruppe enthalten!
- ③* a) Entwickeln Sie die Strukturformeln für die zwei Tripeptidmoleküle aus Glykokoll und Alanin mit den Anordnungen Gly – Ala und Ala – Gly – Gly! Beachten Sie dabei, daß an der Peptidbindung vom jeweils links stehenden Molekülrest der Aminosäure die Carboxylgruppe, vom rechts stehenden die Aminogruppe beteiligt sein soll!
b) Weisen Sie nach, daß die beiden Anordnungen Moleküle verschiedener Stoffe sind und nicht nur Drehungen des Moleküls um 180°.
- ④ Begründen Sie, warum eine große Anzahl art- und körperspezifischer Eiweiße in den Lebewesen vorkommen kann, obwohl nur etwa 20 verschiedene 2-Aminosäuren an ihrem Aufbau beteiligt sind!
- ⑤ Viele Blei-, Kupfer- oder Zinnsalze sind Gifte. Versuchen Sie das zu begründen!
- ⑥ Belegen Sie am Beispiel der Eiweißgerinnung die Tatsache, daß chemische Reaktionen bewußt vom Menschen für humanitäre Zwecke genutzt, die gleichen Reaktionen aber auch zum Nachteil der Menschen ablaufen können!
- ⑦ Erläutern Sie die Wirkung des Konservierens durch Erhitzen unter Luftabschluß!

wie in den Polypeptiden miteinander verbunden. Eiweißmoleküle haben sehr unterschiedliche Struktur und Größe. Die Bezeichnung Eiweiß stammt von dem ersten dieser Stoffe, der genauer untersucht worden ist, dem Eiklar des Hühneris. In der Chemie wird heute häufig auch von **Proteinen** gesprochen (e und i getrennt sprechen!). Im Unterschied zu den Polypeptidmolekülen bestehen die Moleküle der Proteine aus mehr als 100 Molekülresten von Aminosäuren.

Das Element Stickstoff kann beim Erhitzen von Eiweiß mit Hydroxiden nachgewiesen werden. Bei der dabei eintretenden Zersetzung entweicht unter anderem Ammoniak, das feuchtes Unitestpapier blau färbt und an seinem Geruch erkannt werden kann (Experiment 44) ④

Beim Erhitzen sowie beim Zusatz von verdünnten Säuren, Methanal (S. 52), Äthanol und Schwermetallsalzen (z. B. Blei-, Kupfer-, Zinnsalzen) gerinnt Eiweiß (Experimente 45 und 46). Diese Gerinnung ist nicht umkehrbar. Das Abtöten von Fäulnis- und Krankheits-erregern kann deshalb durch Hitze erfolgen. Andererseits können durch Überhitzungen und Verbrennungen gefährliche Schäden an Organen von Lebewesen entstehen.

⑤ ⑥ ⑦

Eiweiße können durch verschiedene Fällungs- und Farbreaktionen nachgewiesen werden. Ein Beispiel ist die Gelbfärbung von Eiweiß durch konzentrierte Salpetersäure, die **Xanthoprotein-Reaktion** (Experiment 47).

► **Eiweiße sind makromolekulare Stoffe. In ihren Molekülen sind Molekülreste von 2-Aminosäuren durch Peptidbindung miteinander verbunden. Eiweiße gerinnen durch Erhitzen und bei Zusatz von Säuren.**

Abbau von Eiweiß. Eiweiße können durch Hydrolyse in einfache Peptide und weiter in 2-Aminosäuren gespalten werden. Innerhalb des Stoffwechsels der Organismen wirken dabei Enzyme katalytisch, bei der Hydrolyse im Laboratorium Wasserstoff-Ionen. Wegen der Empfindlichkeit von Eiweiß gegen Hitze und viele Chemikalien muß der Abbau im Laboratorium sehr vorsichtig erfolgen. Beim Abbau von Eiweißen treten im wesentlichen stets die gleichen etwa 20 2-Aminosäuren auf. Durch die verschiedenen Möglichkeiten der Anordnung dieser wenigen Molekülreste von Aminosäuren innerhalb eines Eiweißmoleküls ergibt sich aber eine unvorstellbar große Anzahl verschiedener Kombinationsmöglichkeiten.

Durch schrittweisen Abbau ist es gelungen, die Anordnung der Molekülreste von 2-Aminosäuren in bestimmten Eiweißmolekülen genau zu bestimmen. So konnte im Jahre 1954 zuerst die Struktur des Hormons **Insulin** aufgeklärt werden. Das Insulinmolekül besteht aus 51 Molekülresten von Aminosäuren und hat die relative Molekülmasse 5750. Inzwischen ist es gelungen, diesen Stoff auch aus den entsprechenden Aminosäuren synthetisch herzustellen. Auch andere Eiweiße sind in ihrem Bau inzwischen genau erforscht, so beispielsweise auch das **Hämoglobin**. Das Hämoglobinmolekül besteht aus 574 Molekülresten von Aminosäuren.

Eiweiße im Stoffwechsel der Organismen. Beim Stoffwechsel wird von den Lebewesen aufgenommenes Eiweiß unter Wirkung entsprechender Enzyme hydrolytisch gespalten. Dabei entstehen Spaltprodukte, vor allem einfache Peptide und 2-Aminosäuren, die anschließend wieder zu körpereigenem Eiweiß aufgebaut werden. ①

Die genaue Kenntnis der Struktur und der Eigenschaften von Eiweißen, insbesondere der Rolle im Stoffwechsel, ist von besonderer Bedeutung für die Medizin, die Ernährungswissenschaften, die Landwirtschaft und viele andere Bereiche unseres Lebens. Bereits die fehlerhafte Anordnung des Molekülrestes einer 2-Aminosäure in einem Eiweißmolekül kann von großem Einfluß auf die Lebensvorgänge im Organismus sein und Störungen des Stoffwechsels bewirken. Deshalb spielt die Eiweißforschung heute eine bedeutende Rolle.

Eiweißforschung. Viele Forschungsinstitute, auch bei uns in der DDR, arbeiten an der Untersuchung von Eiweißen. Diese Arbeiten sind wegen der starken Empfindlichkeit von Eiweißen gegen Hitze und geringe Mengen vieler Chemikalien sehr kompliziert. Es bedurfte langwieriger Forschungsarbeit, um Methoden für das schonende Untersuchen von Eiweiß zu entwickeln. ②

Da Eiweiß ein bedeutender Nährstoff ist, der wegen des Stickstoffanteils auch nicht durch andere Nährstoffe ersetzt werden kann, ist die ausreichende Versorgung der Menschen, aber auch der Tiere mit Eiweißen heute ein weltweites Problem. Große Anstrengungen werden in der Forschung unternommen, um neue **Eiweißreserven** zu erschließen, so die Nutzung von Eiweißen aus Meeresorganismen oder die Eiweißgewinnung mit Hilfe von Mikroorganismen (z. B. Hefen).

Wesentliche Bedeutung für die Begründung der Eiweißchemie haben die Arbeiten von **Emil Fischer** (Abb. 35). Er arbeitete während seines ganzen Lebens an der Aufklärung der Struktur der Naturstoffe. *Emil Fischer* ist einer der Begründer der modernen Biochemie. Nachdem sich *Fischer* zunächst mit den Kohlenhydraten beschäftigt und unter anderem die Struktur der Glukose aufgeklärt hatte, wandte er sich dann der Untersuchung



Abb. 35

Emil Fischer (1852 bis 1919). Er wurde als Sohn einer rheinischen Fabrikantenfamilie in Euskirchen geboren, begann 1869 ein Chemiestudium in Bonn, das er später in Straßburg fortsetzte. Er war ein bedeutender Experimentator und entwickelte viele neue Verfahren für die sich damals rasch entfaltende chemische Großindustrie. *Emil Fischers* Hauptverdienste liegen aber auf dem Gebiet der Biochemie. Er gilt als einer der bedeutendsten Vertreter der organischen Chemie und erhielt für seine überragenden Leistungen 1902 den Nobelpreis für Chemie. Von Jugend an war sein Denken und Handeln mit der Entwicklung des Monopolkapitalismus und der chemischen Industrie verbunden. So unterstützte er im Jahre 1914 auch folgerichtig die Ziele des deutschen Imperialismus. Erst später änderte er nach dem Tode seines Sohnes im ersten Weltkrieg seine Ansichten und vertrat pazifistische Auffassungen. Der Revolution von 1918 stand er verständnislos gegenüber.

- ① Stellen Sie Ihre Kenntnisse aus dem Biologieunterricht über den Eiweißstoffwechsel zusammen! Erläutern Sie die Stoffwechselvorgänge mit den Erkenntnissen aus dem Chemieunterricht!
- ② Begründen Sie die Notwendigkeit, Reaktionen mit Eiweiß unter sehr schonenden Bedingungen durchzuführen!
- ③ Belegen Sie die Weitsicht der Aussage von Engels, die er etwa 30 Jahre vor den Untersuchungen von Fischer gemacht hat! Setzen Sie sich mit dem Zitat aus heutiger Sicht auseinander!
- ④ Lesen Sie nochmals die Angaben über Fischer! Kennzeichnen Sie die bedeutenden Leistungen Fischers für die Eiweißchemie!
- ⑤* Nennen Sie wesentliche historische Ereignisse während der Lebenszeit von Fischer!

von Eiweißen zu. Ihm gelang es, Eiweiße schonend zu hydrolysieren und den Nachweis des Aufbaus aus 2-Aminosäuren zu erbringen. Davon ausgehend konnte Fischer 1903 ein Dipeptid und 1907 sogar ein Peptid aus 18 Molekülresten von Aminosäuren synthetisch herstellen.

Mit der Hydrolyse von Eiweißen und der Synthese von Peptiden aus Aminosäuren wurden grundlegende Arbeitsmethoden der Eiweißchemie entwickelt. Zugleich ist damit endgültig bewiesen worden, daß auch für so empfindliche Naturstoffe, wie die Eiweiße, die gleichen Gesetzmäßigkeiten des Baus der Stoffe und der chemischen Reaktion gelten wie für alle anderen Stoffe. Durch die Arbeiten von Liebig und Wöhler war zwar bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts nachgewiesen worden, daß es keinen prinzipiellen Unterschied zwischen anorganischen und organischen Stoffen gibt. Skeptiker verwiesen aber immer wieder auf die Eiweiße, die nur im lebenden Organismus entstehen könnten. Fischers Arbeiten haben das endgültig widerlegt. Friedrich Engels hatte zu diesem Problem im Jahre 1886 gesagt: „Wenn wir aber bedenken, ... wie unzählige sogenannte organische Zusammensetzungen jetzt künstlich ohne irgendwelche organische Stoffe hergestellt werden, werden wir der Chemie kein Halt vor dem Eiweiß gebieten wollen ... Sobald die Zusammensetzung der Eiweißkörper einmal bekannt ist, wird sie an die Herstellung von lebendigem Eiweiß gehen können.“

③ ④ ⑤

Aufgaben zur Festigung

37

1. a) Stellen Sie die Ihnen bekannten funktionellen Gruppen zusammen (✓ ChiÜb)!
- b) Welche chemischen Reaktionen sind für organische Stoffe mit diesen funktionellen Gruppen im Molekül typisch?
- c) Welchen Reaktionsarten sind diese chemischen Reaktionen zuzuordnen?
2. 10 g Glukose werden vollständig zu Kohlendioxid und Wasser oxydiert. Welches Volumen von Sauerstoff ist notwendig?
3. Ein Mol eines Polypeptids mit 10 Molekülresten von Aminosäuren in den Molekülen soll hydrolysiert werden. Welche Stoffmenge und Masse des Wassers ist erforderlich?
4. a) Charakterisieren Sie die chemische Reaktion der Hydrolyse!
- b) Inwiefern ist diese chemische Reaktion eine Substitution (✓ ChiÜb)?
- c) Vergleichen Sie die chemischen Reaktionen der Hydrolyse beim Abbau von Fetten, Kohlenhydraten und Eiweißen!
- d) Begründen Sie, warum Nahrungsmittel kühl und trocken gelagert werden sollen!
5. a) Nennen Sie Ihnen bekannte makromolekulare Stoffe!
- b) Durch welche chemischen Reaktionen entstehen diese Stoffe? Ordnen Sie diese den Arten chemischer Reaktionen zu!

Plaste, Elaste und Chemiefaserstoffe

Vom farbenfrohen Kinderspielzeug bis zur korrosionsbeständigen Trinkwasserleitung, vom Autoreifen bis zur Tragluft-Lagerhalle, vom pflegeleichten Kleiderstoff bis zum chemikalienbeständigen Filtertuch reicht der Einsatz synthetischer makromolekularer Stoffe.

Als Plaste, Elaste und Chemiefaserstoffe haben diese aus Riesenmolekülen bestehenden Stoffe im Verlauf weniger Jahrzehnte Einzug in fast alle Industriebereiche, in die Landwirtschaft, das Bauwesen und das Verkehrswesen gehalten. Auch für die Medizin, die Kerntechnik und die Erschließung des Weltraums sind sie unentbehrlich.

Wie ist die vielseitige Verwendbarkeit dieser synthetischen makromolekularen Stoffe als Werkstoffe zu erklären?

Werden Plaste bekannte Werkstoffe, wie Metalle oder Holz, eines Tages ganz verdrängen?

Sollten Chemiefaserstoffe die natürlichen Faserstoffe, wie Wolle und Baumwolle, einst völlig ersetzen?

Die wichtigsten Ausgangsstoffe zur Herstellung von Plasten, Elasten und Chemiefaserstoffen sind Produkte aus Kohle, Erdöl und Erdgas.

Wissenschaftlich-technischer Fortschritt wird für synthetische makromolekulare Stoffe gegenwärtig an verbesserten Herstellungsverfahren, dem Erschließen neuer Anwendungsgebiete sowie vor allem an der Produktion von Werkstoffen mit gewünschten Eigenschaften gemessen.

Synthetische makromolekulare Stoffe als Werkstoffe

38

Durch die synthetische Herstellung von Werkstoffen wird die technische Entwicklung fast aller Wirtschaftszweige seit etwa 50 Jahren zunehmend beeinflusst. Der werkstoffgerechte Einsatz von Plasten, Elasten und Chemiefaserstoffen in nahezu allen Bereichen der Volkswirtschaft und im täglichen Leben ist nur möglich, wenn umfassende Kenntnisse über die Eigenschaften dieser Stoffe vorhanden sind.

① ②

Plaste. Eine Gruppe synthetisch hergestellter makromolekularer Stoffe ist bei der Verarbeitung plastisch formbar oder geformt worden. Das bekannte Polyvinylchlorid, das Polyäthylen und das Polystyren haben diese Eigenschaft, die der gesamten Gruppe von Werkstoffen den Namen gab. Die **Plaste** weisen eine geringe Dichte, gute Korrosionsbeständigkeit und Unempfindlichkeit gegenüber vielen aggressiven Chemikalien auf. Diese Eigenschaften werden bei ihrem Einsatz als Werkstoffe geschätzt.

Andere Eigenschaften begrenzen die Gebrauchsfähigkeit einiger Plaste. So ist zu beachten, daß einige Plaste beim Erhitzen schmelzen, brennbar sind, altern, zum Verziehen und Schrumpfen neigen.

③ ④ ⑤

Es gibt keinen Werkstoff, der ausschließlich solche Eigenschaften hat, die für seine Verwendung vorteilhaft sind. So sind Metalle im allgemeinen korrosionsanfällig, Glas ist meist zerbrechlich und Holz ist brennbar. Ein Ziel der Forschung ist es, aus den Plasten

- ①* Informieren Sie sich über Betriebe in Ihrem Bezirk, die Plaste oder Chemiefaserstoffe herstellen beziehungsweise verarbeiten!
- ② Synthetische makromolekulare Stoffe werden von natürlichen makromolekularen Stoffen unterschieden. Ordnen Sie bekannte Stoffe den synthetischen beziehungsweise den natürlichen makromolekularen Stoffen zu!
- ③* Nennen Sie Produkte der Verkokung und der Vergasung der Kohle, von denen Sie wissen, daß sie auch als Ausgangsstoffe zur Herstellung von Plasten dienen!
- ④ Äthen, Äthin und Benzen werden als wichtige Ausgangsstoffe für die Plastproduktion sowohl auf der Basis von Erdöl als auch von Kohle hergestellt.
 - a) Welche Plaste können aus diesen Stoffen produziert werden (✓ ChiÜb)?
 - b) Beschreiben Sie durch Wortgleichungen die grundlegenden chemischen Reaktionen, die vom Rohstoff Kohle beziehungsweise Erdöl zum jeweils angegebene Plast führen!
- ⑤ Stellen Sie Eigenschaften zusammen, die vielen Plasten gemeinsam sind! Unterscheiden Sie die Eigenschaften danach, ob sie für den Einsatz der Plaste als Werkstoffe vorteilhaft oder ungünstig sind! Leiten Sie aus den genannten Eigenschaften Folgerungen für den Gebrauch dieser synthetischen makromolekularen Stoffe her!

„Werkstoffe nach Maß“ zu entwickeln. Wissenschaftler und Techniker arbeiten daran, den Bau synthetischer makromolekularer Stoffe so zu beeinflussen, daß neuentwickelte Werkstoffe erwünschte Eigenschaften aufweisen.

- Der Plast Polytetrafluoräthylen ist einer dieser vorzüglichen Werkstoffe, die der Mensch auf synthetischem Wege hergestellt hat. Seine extreme Beständigkeit gegenüber Hitze und Chemikalieneinwirkung sind Eigenschaften, die verschiedene Laborgeräte aufweisen müssen. Dieser Plast wird deshalb bisweilen mit dem Edelmetall Platin verglichen und „organisches Platin“ genannt.

► **Plaste sind meist synthetisch hergestellte makromolekulare Stoffe. Als Werkstoffe zeichnen sich Plaste durch geringe Dichte, gute Korrosionsbeständigkeit und Formbarkeit aus.**

Volkswirtschaftliche Bedeutung der Plaste. Als Werkstoffe sind Plaste auf Grund ihres vielseitigen Einsatzes sowie der Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren anderen Werkstoffen überlegen (Abb. 36).

- Für die Produktion von Plasten und Rohstahl jeweils gleicher Massen sind Investitionen im Verhältnis 1:3 aufzuwenden. Für die Herstellung von Einzelteilen aus Plasten sind im allgemeinen nur 60 ... 80% der Arbeitszeit notwendig, die für vergleichbare Teile aus Metallen benötigt wird. Bei der Verarbei-

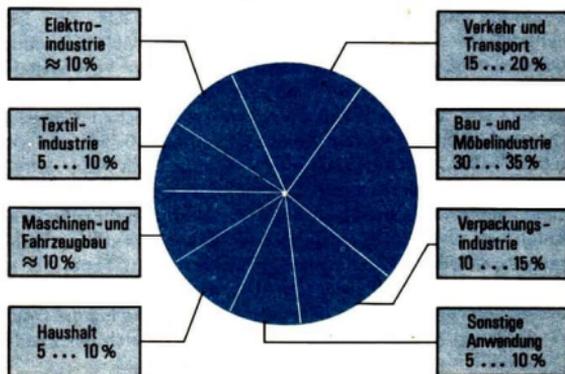


Abb. 36 Anteil der Industrie am Plastikverbrauch

tung von Plastmaterial werden 90 ... 95% ausgenutzt, hingegen liegt bei Metallen die Materialausnutzung durchschnittlich bei 70%. Allerdings gelingt es ungleich besser, Metallabfälle als Sekundärrohstoffe wieder der Produktion zuzuführen. Anfallende Sekundärrohstoffe aus Plasten werden gegenwärtig nur zu 10% genutzt. In dem Erfassen und Wiederaufbereiten dieser Abfälle bestehen wertvolle Rohstoffreserven für die Volkswirtschaft.

Tiefgreifende Veränderungen im Werkstoffbereich sind vor allem aus der Kombination verschiedenartiger Werkstoffe zu erwarten. Glasfaserverstärkte Plaste, plastbeschichtete Metalle oder Plaste mit aufgetragenen Metalloberflächen werden bereits eingesetzt. ① In den Mitgliedsländern des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe, so auch in der Deutschen Demokratischen Republik, wird die Plastproduktion zielstrebig erhöht. Gegenwärtig produzieren diese Länder jährlich etwa 6 Mio t Plaste; die Jahresproduktion an Plasten stieg damit gegenüber 1970 auf das Zweieinhalbfache. Mit einer jährlichen Pro-Kopf-Produktion von etwa 50 kg beziehungsweise 60 kg Plasten gehören die DDR und die ČSSR zu den zehn führenden Industriestaaten der Welt auf diesem Gebiet.

Elaste. Diese Stoffe haben auf Grund ihres Baus die Eigenschaft, nach dem Einwirken einer verformenden Kraft ihre ursprüngliche Gestalt wieder anzunehmen. *Gummi, natürlicher Kautschuk und synthetischer Kautschuk* zeigen dieses elastische Verhalten. Gummi läßt sich bis auf das Achtfache seiner ursprünglichen Länge dehnen, ohne zu zerreißen, um im Bruchteil einer Sekunde wieder seine Ausgangsform zu erlangen.

In den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts richtete sich das Streben von Chemikern darauf, den Bau des Naturstoffs Kautschuk aufzuklären, um einen Werkstoff mit gleichen Eigenschaften auf synthetischem Wege herzustellen. Zur Zeit arbeiten Forscher daran, Spezialkautschuksorten zu entwickeln, die hochtemperaturbeständig sind, von aggressiven Chemikalien nicht angegriffen werden, kältefest sind und bei sehr tiefen Temperaturen elastisch bleiben. Vor allem im Maschinenbau und in der Kerntechnik werden derartige Werkstoffe gebraucht.

■ Sowjetischen Wissenschaftlern gelang es, eine Gummiart zu entwickeln, deren Verschleißfestigkeit gegenüber den herkömmlichen Arten 200mal so hoch ist. Die Oberfläche dieses Werkstoffs wurde bestrahlt. Der neue „glatte“ Gummi ist ein idealer Werkstoff für Dichtungen, sowohl für Rohrleitungen der Erdöl- und Erdgasindustrie als auch für Uhren.

► **Elaste sind makromolekulare Werkstoffe. Sie werden synthetisch hergestellt oder sind Naturstoffe. Diese Stoffe nehmen nach Einwirken einer verformenden Kraft ihre ursprüngliche Gestalt wieder an.**

Chemiefaserstoffe. *Polyester, Polyakrylnitril* sind chemische Bezeichnungen für bekannte „Textilien aus der Retorte“, die Warenzeichen Wolpryla und Dederon sind weltweit anerkannt für spezielle Chemiefaserstoffe aus der DDR.

Synthetische makromolekulare Stoffe, deren Moleküle einen fadenförmigen Bau haben, werden häufig zu solchen **Chemiefaserstoffen** verarbeitet. Unter der Bezeichnung Chemiefaserstoffe werden alle auf chemischem Wege hergestellten Faserstoffe zusammengefaßt. Die Makromoleküle der vollsynthetischen Chemiefaserstoffe entstehen bei der chemischen Reaktion von einfach gebauten, aus kleinen Molekülen bestehenden organischen Stoffen. Chemiefaserstoffe sind aber auch Faserstoffe aus dem natürlichen Rohstoff Zellulose, der bereits aus Makromolekülen aufgebaut ist.

Chemiefaserstoffe haben in der Deutschen Demokratischen Republik gegenwärtig einen Anteil von etwa 70% an den verschiedenen Textilien. Zu ihnen gehören neben den Erzeugnissen der Bekleidungsindustrie Gardinen, Teppiche, technische Gewebe, Seile und Transportbänder. Mit einer jährlichen Produktion allein an vollsynthetischen Chemiefaserstoffen von rund 10 kg pro Kopf der Bevölkerung hat die Deutsche Demokratische Republik Weltgeltung. Auch bei Chemiefaserstoffen hat sich der Produktionsumfang seit dem Jahre 1970 mehr als verdoppelt. ②

- ① Ein interessantes Beispiel für die Kombination von Werkstoffen findet in der Elektrotechnik beziehungsweise der Elektronik als sogenannte „gedruckte Schaltung“ Anwendung. Was wissen Sie darüber?
- ② Stellen Sie Eigenschaften zusammen, die Sie an Textilien aus Chemiefaserstoffen besonders schätzen!
- ③ Erläutern Sie die Polymerisation von Äthen! Ordnen Sie die Polymerisation einer der Arten chemischer Reaktionen zu!
- ④* Bei der Verarbeitung von Erdölfraktionen fällt Propen an. Stellen Sie Vermutungen über dessen Weiterverarbeitung an!
- ⑤ Welche Eigenschaften des Polyäthylens ermöglichen oder begünstigen den Einsatz dieses Werkstoffes bei a) Trinkwasserleitungen, b) Folien, Flaschen, Schüsseln, Eimern sowie c) Kabel- und Drahtummantelungen?
- ⑥ Bei der Installation einer Abwasserleitung hat der Installateur für Sanitäranlagen Rohre gleichen Durchmessers aus Polyvinylchlorid miteinander zu verbinden. Wie geht er dabei vor?

► **Chemiefaserstoffe sind makromolekulare Werkstoffe, die synthetisch oder durch Umwandlung von Naturstoffen hergestellt werden. Der fadenförmige Bau der Makromoleküle ist Voraussetzung für den Einsatz als Faserstoffe.**

Polymerisate

39

Eine chemische Reaktion zur Herstellung von makromolekularen Stoffen ist die **Polymerisation**. Aus einfach gebauten Molekülen mit Doppelbindungen entstehen Makromoleküle von unterschiedlicher Größe.

Polyäthylen, Polyvinylchlorid und Polystyren sind bereits bekannte Polymerisationsprodukte oder Polymerisate (Übersicht 14). ③④⑤⑥

Übersicht 14 Einige Polymerisate

| Name des Polymerisats | Name und Formel des Ausgangsstoffs | Vereinfachte Strukturformel des Polymerisats | Wichtige Eigenschaften beim Einsatz als Plast |
|-----------------------|--|---|--|
| Polyäthylen | Äthen $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ | $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_n$ | mechanische Festigkeit; sehr chemikalienbeständig; in der Wärme formbar |
| Polyvinylchlorid | Vinylchlorid $\text{CH}_2=\text{CH}$ Cl | $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$ | sehr chemikalienbeständig; guter elektrischer Isolator; hitzeempfindlich; in der Wärme formbar |
| Polystyren | Styren $\text{CH}_2=\text{CH}$  | $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{Benzolring} \end{array} \right]_n$ | glasklar, gute Festigkeit; hitzeempfindlich; in der Wärme formbar |

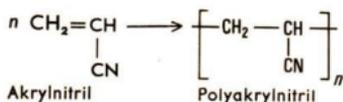
Polyakrylnitril (auch Polyacrylnitril) ist ebenfalls ein Polymerisat.

Polyakrylnitril

Jährlich produzieren die Werktätigen des Kombinats VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, und des VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt etwa 30 000 t Polyakrylnitril. Der makromolekulare Werkstoff wird auf Grund des fadenförmigen Baus der Makromoleküle vorrangig zur Herstellung von Chemiefaserstoffen verwendet. Die Produktion von Polyakrylnitril hat wesentlich zu einer führenden Stellung der Chemiefaserstoffindustrie der DDR beigetragen. Bei der Koordinierung der Volkswirtschaftspläne im Rahmen der sozialistischen ökonomischen Integration der Mitgliedsländer des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe wird auch der Austausch von Chemiefaserstoffen abgestimmt.

Die DDR führt Polyakrylnitrilfaserstoffe vor allem in die UdSSR und die ČSSR aus. Als Gegenlieferung für das in der ČSSR nicht produzierte Polyakrylnitril erhält die DDR Polypropylenfaserstoffe. ①

Herstellung durch Polymerisation. Polyakrylnitril entsteht aus Akrylnitril (auch Acrylnitril). Das Akrylnitril wird aus Äthin oder auch Propen hergestellt. Die Doppelbindung in den Molekülen des Akrylnitrils ermöglicht die Polymerisation.



Bei der Polymerisation entsteht weißes, in einigen organischen Lösungsmitteln gut lösliches, festes Polyakrylnitril.

Durch Polymerisation von Akrylnitril entsteht Polyakrylnitril (PAN). Es wird zur Herstellung von Chemiefaserstoffen verwendet.

Eigenschaften von Chemiefaserstoffen aus Polyakrylnitril. Die Faserstoffe aus *Polyakrylnitril* (PAN) sind zerreifest, formbeständig und wirken wärmeisolierend. Sie sind außergewöhnlich beständig gegen Licht- und Wettereinflüsse. Von Motten und Bakterien können sie nicht beschädigt werden. Infolge der geringen Feuchtigkeitsaufnahme trocknen Textilien aus Polyakrylnitril sehr schnell und sind leicht zu pflegen.

In der Textilindustrie der DDR werden aus den PAN-Faserstoffen **Wolpryla** oder **Akryl** hochwertige gestrickte und gewirkte Oberbekleidung, Gewebe für Kleider und Mäntel, aber auch Füllmaterial für Kaltwetterkleidung hergestellt (Abb. 37).

Wie bei anderen synthetischen makromolekularen Werkstoffen sind auch die Polymerisate des Akrylnitrils Gemische von Makromolekülen unterschiedlicher Größe. Durch Unterschiede in der Reinheit der Ausgangsstoffe, in der Faserform und der Behandlung der Fasern können die Eigenschaften verschiedener Garne und Gewebe aus Polyakrylnitril geringfügig voneinander abweichen. Deshalb tragen diese Chemiefaserstoffe auf dem Weltmarkt eine Vielzahl unterschiedlicher Warenzeichen, wie Acrilan, Acrilia, Acrylic, Belacryl, Crylor, Dralon, Enkacril, Erbacyl, Gelan, Nitron und Orlon.

② ③



Abb. 37 Textiletikett

- ① Werten Sie den gegenseitigen Austausch von Chemiefaserstoffen zwischen den Mitgliedsländern des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe DDR und ČSSR (↗ S. 90)!
- ② Vergleichen Sie die Polymerisation von Acrylnitril mit anderen Polymerisationen!
- ③ Entnehmen Sie dem abgebildeten Textiletikett Angaben über die Materialzusammensetzung des Gewebes! Welche Eigenschaften, die für den Gebrauchswert bedeutungsvoll sind, weist dieses Gewebe auf (↗ S. 90)? Schließen Sie von den angegebenen Pflegesymbolen auf Eigenschaften dieses Gewebes!

Entwicklung des VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt. Der größte Teil des Polyakrylnitrils wird in der DDR im Stammbetrieb des VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt hergestellt. Aus seiner Jahresproduktion an Acrylnitril ließen sich 90 Mio Pullover stricken.

Polyakrylnitril dient auch zur Herstellung spezieller, sehr harter Plaste sowie zur Produktion öl- und benzinbeständiger Gummierzeugnisse. Der VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt ist heute einer der Chemiegiganten unserer Volkswirtschaft. Ein Drittel der gesamten Warenproduktion unserer chemischen Industrie wird von den fast 30000 Werkstätten des Kombinats erarbeitet. Erdölverarbeitung und Petrochemie, Kohlechemie und Mikrobiologie sind Schwerpunkte für Forschung und Produktion. Vom Vergaserkraftstoff bis zum Stickstoffdüngemittel, vom Rohstoff für synthetische Textilien bis zum Bitumen-Baustoff, vom Schmieröl bis zur biochemisch erzeugten Futterhefe aus Erdöl reicht gegenwärtig das Produktionsprogramm dieses Kombinats. Als erster Betrieb der chemischen Großindustrie erhielt der VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt 1977 den Ehrentitel „Betrieb der ausgezeichneten Qualitätsarbeit“. Der VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt ist ein geschätzter, zuverlässiger Handelspartner auf internationalen Märkten. Besonders eng ist jedoch die Wirtschafts- und Wissenschaftskooperation mit der UdSSR und den anderen Mitgliedsländern des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe. Dabei sind seit dem Beschluß, eine leistungsfähige Petrochemie in der DDR zu entwickeln, und der unmittelbar folgenden Gründung des VEB Erdölverarbeitungswerk Schwedt in einem wirtschaftlich rückständigen Gebiet unseres Landes noch nicht 25 Jahre vergangen.

Synthetischer Kautschuk

Entwicklung der Kautschukproduktion. Die Produktion an synthetischem Kautschuk und Gummi beträgt ein Drittel der gesamten Weltproduktion an synthetischen makromolekularen Werkstoffen. Der Bedarf an Elasten wird nach Voraussagen jährlich weiter um etwa 5% anwachsen. Der steigende Bedarf an Erzeugnissen aus synthetischem Kautschuk ist vor allem auf die Fortschritte im Luft-, Schiffs- und Kraftverkehr zurückzuführen (Abb. 38).

- In modernen Großflugzeugen sind bis zu 10000 Gummierzeugnisse mit einer Gesamtmasse von etwa 1 t eingebaut.

Der synthetisch hergestellte makromolekulare Werkstoff ähnelt in seinem Bau und in seinen Eigenschaften einem makromolekularen Naturstoff, dem **Kautschuk**. Der natürliche Kautschuk erlangte zu Beginn dieses Jahrhunderts industrielle Bedeutung als Rohstoff für die Gummiindustrie. Um sich von den Importen an Naturkautschuk unabhängig zu machen, wurden im imperialistischen Deutschland die Forschungsarbeiten zur Herstellung von synthetischem Kautschuk aus einheimischen Rohstoffen besonders intensiv betrieben. Im Jahre 1937 konnten die Buna-Werke die großtechnische Herstellung synthetischen Kautschuks aufnehmen. Der Bau der Buna-Werke stand in engem Zusammenhang mit der unmittelbaren Vorbereitung des zweiten Weltkrieges durch das faschistische Deutschland.

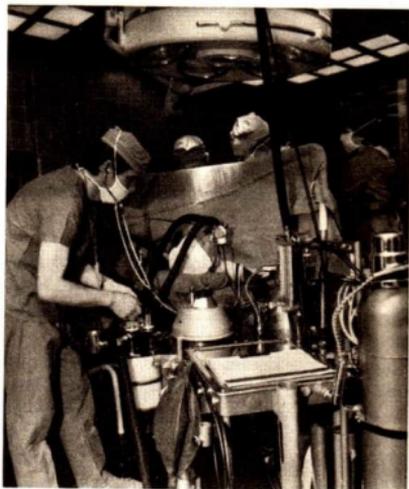
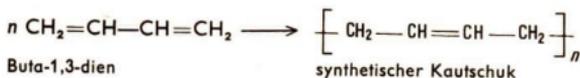


Abb. 38 Einige Einsatzgebiete für Elaste
links oben: im Bauwesen, links unten: bei Transport und Verkehr, rechts: in der Medizin

Ein großer Teil der Produktion von **Buna-Kautschuk** wurde zur Herstellung von Gummi für die kriegswichtige Kraftfahrzeugindustrie und den Flugzeugbau benötigt. Die Gründung weiterer Produktionsbetriebe des IG-Farben-Konzerns für die Herstellung von synthetischem Kautschuk in Leverkusen, Ludwigshafen und Auschwitz-Monowitz war eine wesentliche Voraussetzung für die faschistische Kriegführung.

Herstellung durch Polymerisation. Zur Herstellung des synthetischen Kautschuks erwies sich **Buta-1,3-dien** $\text{CH}_2=\text{CH}=\text{CH}=\text{CH}_2$ als ein geeigneter Ausgangsstoff. Die Bezeichnung **Buna-Kautschuk** ist auf den Namen des Ausgangsstoffs **Buta-1,3-dien** und den Namen des Katalysators **Natrium** zurückzuführen.

Buta-1,3-dien ist ein Kohlenwasserstoff mit zwei Doppelbindungen im Molekül. Bei der Polymerisation von Buta-1,3-dien entstehen Polymerisate, die noch Doppelbindungen in den Makromolekülen enthalten.



Mit diesem Bau ähnelt das Polymerisat dem Naturkautschuk. ①

Durch Polymerisation von Buta-1,3-dien entsteht synthetischer Kautschuk. Buta-1,3-dien ist ein Kohlenwasserstoff, dessen Moleküle zwei Doppelbindungen enthalten.

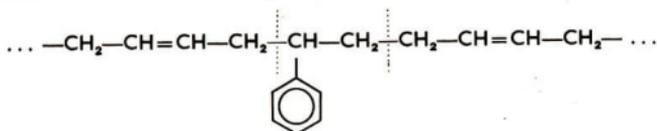
Bau, Eigenschaften und Verwendung. Der synthetische Kautschuk entspricht nach der Polymerisation vor allem hinsichtlich seiner Elastizität noch ungenügend den Anforderungen an einen hochwertigen Werkstoff. Der größte Teil des synthetischen Kautschuks wird deshalb zu **Gummi** weiterverarbeitet. Um dem synthetischen Kautschuk die Eigenschaften eines Schlauch- oder Reifengummis zu verleihen, wird er **vulkanisiert**. Dabei reagiert synthetischer Kautschuk mit Schwefel. Die kettenförmigen Makromoleküle des Polymerisats

- ① Erläutern Sie die Polymerisation bei der Bildung des synthetischen Kautschuks! Beachten Sie dabei insbesondere die Spaltung und Neuausbildung chemischer Bindungen!
- ②* Für das Mischpolymerisat Buna N wird neben Buta-1,3-dien Akrylnitril als Ausgangsstoff verwendet. Stellen Sie Überlegungen zur Struktur der Makromoleküle an!
- ③ Die Esterbildung ist eine Kondensation. Erläutern Sie an einem Beispiel die Merkmale der Kondensation!
- ④ Ordnen Sie die Kondensation einer der Arten chemischer Reaktionen zu! Begründen Sie die Zuordnung!

werden durch Schwefelatome miteinander verknüpft. Diese Veränderungen im Bau des makromolekularen Stoffs bewirken Änderungen in den Eigenschaften. Durch Füllstoffe (Holzmehl, Gesteinsmehl, Gasruß) können die Werkstoffeigenschaften ebenfalls verbessert werden.

Mischpolymerisation. Die Bedeutung des Polymerisats aus reinem Buta-1,3-dien ist inzwischen stark zurückgegangen. Die gegenwärtig hergestellten Sorten von synthetischem Kautschuk sind häufig **Mischpolymerisate**.

Verschiedenartige organische Stoffe, wie Buta-1,3-dien und Styren, reagieren miteinander. Das Produkt wird **Buna S** genannt. Das Polymerisat Buna S enthält in seinen Makromolekülen die unterschiedlich angeordneten Molekülreste von Styren und Buta-1,3-dien.



Buna S ist hochelastisch, abnutzungs- und zerreißfest. Damit ist es ein wertvolles Zwischenprodukt für die Herstellung von Krafffahrzeugbereifungen. ②

Gegenwärtig werden in der Sowjetunion mehr als 100 verschiedene Sorten synthetischen Kautschuks hergestellt. Und dennoch gelang erst etwa im Jahre 1960 die Herstellung synthetischen Kautschuks mit der gleichen Beschaffenheit, der gleichen Struktur und mit gleichen Eigenschaften wie Naturkautschuk. Die Entwicklung synthetischen Kautschuks ist ein Beispiel dafür, wie es dem Menschen mit fortschreitender Erkenntnis gelingt, Naturstoffe oder auch „Werkstoffe nach Maß“ mit gewünschten Eigenschaften auf synthetischem Wege herzustellen.

In der Deutschen Demokratischen Republik wird im Kombinat VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, heute noch als Hauptprodukt Buna-Kautschuk hergestellt. Der sozialistische Großbetrieb der chemischen Industrie unserer Republik trägt ferner auch mit der Erzeugung verschiedener Plaste, Lösungsmittel und Weichmacher dazu bei, die Weltgeltung unserer chemischen Industrie zu festigen.

Polykondensate

40

Polykondensation. Eine weitere chemische Reaktion zur Herstellung von makromolekularen Stoffen aus einfach gebauten, niedrigmolekularen Stoffen ist die **Polykondensation**. Bei der Kondensation verbinden sich jeweils zwei Moleküle der reagierenden Stoffe unter Abspaltung eines einfach gebauten Moleküls. ③④

Die Makromoleküle von Polykondensaten entstehen durch stufenweise fortschreitende Kondensation. Meist reagieren zwei verschiedene organische Stoffe miteinander zum Polykondensat und einem weiteren einfach gebauten Produkt. Die Moleküle der Ausgangsstoffe enthalten jeweils zwei oder mehrere reaktionsfähige Stellen, an denen sich die Moleküle miteinander verbinden. Dabei wird jeweils ein einfach gebautes Molekül abgespalten, häufig ein Wassermolekül. ①

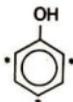
Die Polykondensation ist eine chemische Reaktion, bei der aus zahlreichen Molekülen von niedrigmolekularen organischen Stoffen unter Abspaltung von Molekülen eines einfach gebauten Stoffes Makromoleküle gebildet werden.

Phenoplaste

Vorsicht! Gleiche Volumen von Phenol und Methanal (40%ige Lösung) sind im Reagenzglas vorsichtig zu erwärmen. Nach dem Erwärmen werden dem Stoffgemisch wenige Tropfen Natriumhydroxidlösung zugesetzt. Nach weiterem Erwärmen sind einige Tropfen verdünnte Chlorwasserstoffsäure hinzuzufügen.

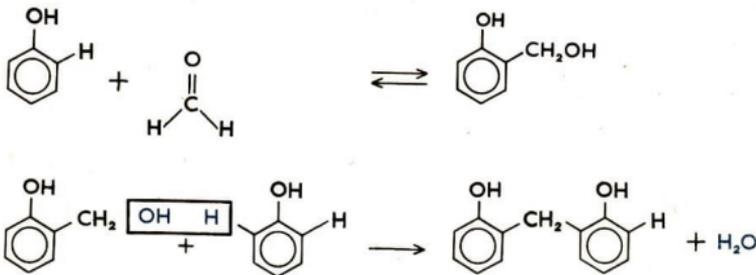
Eine der bekanntesten und zugleich ältesten Gruppen synthetischer makromolekularer Werkstoffe sind die **Phenoplaste**. Als Griffe an Werkzeugen und Möbeln, Apparategehäuse, Elektroschalter und -stecker, im Zündsystem von Autos und selbst als Karosserieteile sind die braun oder schwarz eingefärbten Phenoplaste anzutreffen.

Herstellung durch Polykondensation. Phenoplaste sind Polykondensate. Ausgangsstoffe für die Phenoplastherstellung sind Phenol und Methanal. Auch andere ringförmige, dem Phenol ähnliche organische Stoffe mit Hydroxylgruppen im Molekül können bei der Polykondensation anstelle des Phenols eingesetzt werden. Im Phenolmolekül sind verschiedene Wasserstoffatome besonders reaktionsfähig.



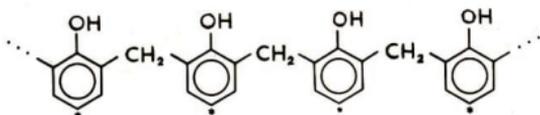
An diesen Stellen können chemische Bindungen zwischen Phenol- und Methanalmolekülen bei der chemischen Reaktion gebildet werden.

Die Polykondensation zwischen Phenol und Methanal verläuft über Zwischenstufen. Zunächst reagiert jeweils ein Phenolmolekül mit einem Methanalmolekül unter Bildung eines Zwischenprodukts. Dieses Molekül bindet ein weiteres Phenolmolekül unter Abspaltung eines Wassermoleküls.



Durch Fortschreiten der Kondensation entstehen zunächst kettenförmige Makromoleküle.

- ① Begründen Sie die Zuordnung der Polykondensation zur Substitution! Verwenden Sie dazu den Merksstoff (↗ S. 94)!
- ② Warum werden dem Stoffgemisch (↗ Experiment 48, S. 94) wenige Tropfen verdünnte Chlorwasserstoffsäure zugefügt?



Wegen vorhandener weiterer reaktionsfähiger Stellen im Phenolmolekül sind die Makromoleküle von Phenoplasten schließlich räumlich vernetzte Gebilde (Abb. 39).

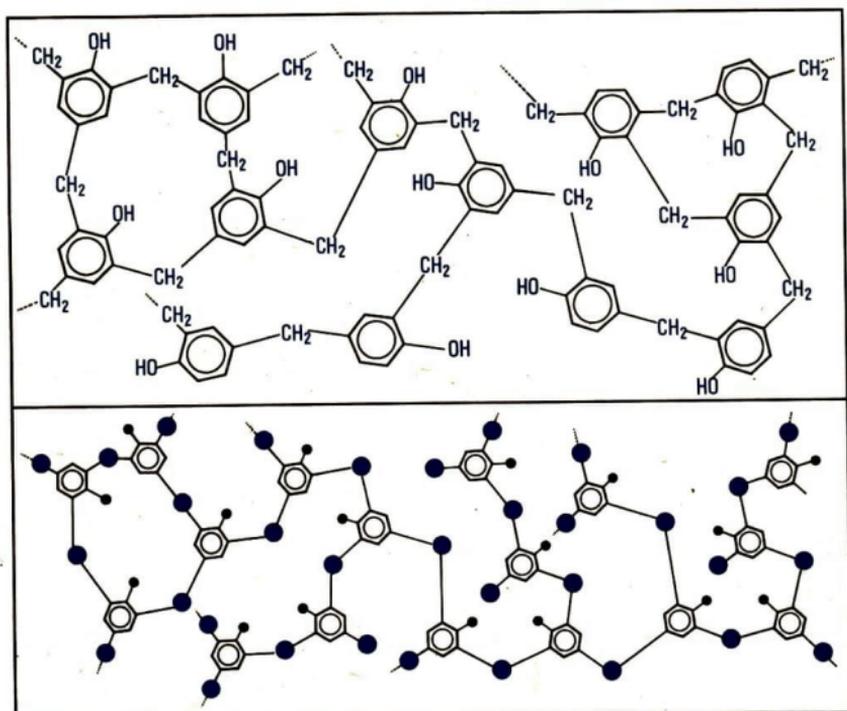


Abb. 39 Bau eines Phenoplasts
oben: Wiedergabe mittels chemischer Zeichen,
unten: schematische Vereinfachung

Die Polykondensation von Phenol und Methanal verläuft langsam. Durch Zugabe eines Katalysators wird die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht (Experiment 48). ②



Durch Polykondensation von Phenol und Methanal entstehen Phenoplaste.

Bei der technischen Herstellung der Phenoplaste kann die Polykondensation durch geeignete Wahl der Reaktionsbedingungen auf einer Zwischenstufe, in der sich harzartige Produkte gebildet haben, unterbrochen werden (Experiment 48).

Eigenschaften und Verwendung. Die harzartigen Zwischenprodukte der Polykondensation können in der Wärme geformt und anschließend durch Erhitzen zu einem Plast von hoher Festigkeit ausgehärtet werden. Die Form dieses festen Phenoplasts ist durch Wärmebehandlung nicht mehr zu beeinflussen. Durch Zusatz von verschiedenen Füllstoffen (z. B. Holzmehl, Gesteinsmehl, Textil- oder Glasfaserstoffen) zu den Phenolharzen wird das Anwendungsgebiet für diese Werkstoffe erweitert (Übersicht 15). ① ②

Übersicht 15 Zusammenhang zwischen Eigenschaften und der Verwendung von Phenoplasten

| Eigenschaft | Verwendung | Beispiel |
|---------------------------------|---|--|
| gleitfähig und druckfest | Maschinenbau | Zahnräder Gleitlager |
| korrosionsbeständig | Fahrzeugbau | Autokarosserien (Trabant) und Verkleidungen |
| guter elektrischer Isolator | Elektrotechnik | Gehäuse für Schalter, Stecker und Zündsystem im Auto |
| geringe Dichte, Festigkeit | Meßapparatebau Werkzeug- und Waffentechnik Haushalt | Gehäuse Griffe, Beschläge |
| physiologisch nicht einwandfrei | keine Verwendung in Nahrungs- und Genußmittelindustrie | |

Phenoplaste werden in unserer Republik hauptsächlich im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, im VEB Plasta Kunstharz- und Preßmassefabrik Espenhain und im VEB Plasta Kunstharz- und Preßmassefabrik Erkner hergestellt.

Aminoplaste

Vorsicht! In einem Reagenzglas wird Harnstoff mit Methanallösung versetzt. Nach dem Erwärmen sind wenige Tropfen konzentrierte Chlorwasserstoffsäure zuzugeben.

Herstellung durch Polykondensation. Bei der Polykondensation von Methanal mit Harnstoff entsteht ein makromolekularer Werkstoff (Experiment 49). **Harnstoff** ist ein organischer Stoff, dessen Moleküle zwei Aminogruppen —NH_2 enthalten.





► **Aminoplaste sind Polykondensate aus Methanal und organischen Stoffen, die Aminogruppen in ihren Molekülen aufweisen.**

Polyamide

50
▼ Farblose Polyamidschnitzel werden in einem Reagenzglas vorsichtig erhitzt. Der Stoff darf sich beim Erhitzen nicht verfärben. Mit Hilfe eines Glasstabs werden lange Fäden aus der Schmelze gezogen.

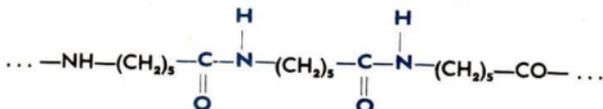
Eigenschaften und Verwendung. Zu den am häufigsten eingesetzten Chemiefaserstoffen gehören solche aus **Polyamiden**. Überall, wo besondere Ansprüche an die Zerreiβfestigkeit und Scheuerfestigkeit der Faserstoffe gestellt werden, sind die in der Deutschen Demokratischen Republik als **Dederon** und **Nylon** bekannten Polyamidfaserstoffe anzutreffen. Aus Polyamiden werden beispielsweise Strümpfe, Gardinen, Teppiche und Möbelbezugsstoffe, aber auch Seile, Gurte und Reifenkord erzeugt (Experiment 50). Als Plaste sind diese Werkstoffe wegen ihrer geringen Dichte, ihrer mechanischen Festigkeit, guten Korrosionsbeständigkeit und Formbarkeit ebenfalls geschätzt (Abb. 40). ①

| | | | | | |
|------------------|--------------------------------|---|--|----------------------|---|
| Polyamide | Plaste | Formteile für Maschinenbau z. B. Zahnräder | Verpackungs- material z. B. Folien | Haushalt- artikel | Chirurgisches Material, Knochenersatz |
| | Chemiefaser- stoffe | Bekleidung, Dekostoffe | Förderbänder, Filtertücher | Netze, Seile | Einlagegewebe für Reifen |

Abb. 40 Verwendungsmöglichkeiten für Polyamide

Bau. Polyamide sind eine Gruppe synthetischer Werkstoffe, in deren Makromolekülen Peptidbindungen $-\text{CO}-\text{NH}-$ wiederkehren. Peptidbindungen sind auch in den Molekülen natürlich vorkommender makromolekularer Stoffe, den Eiweiβen, vorhanden (↗ S. 82). Naturseide besteht aus Eiweiβen. Mit der synthetischen Herstellung der Polyamide ist es dem Menschen gelungen, Chemiefaserstoffe zu entwickeln, die in ihrem Bau den in der Natur vorkommenden Peptiden stark ähneln.

Die Makromoleküle von Polyamiden können folgende Struktur haben:



Peptidbindungen bestehen zwischen 100 ... 150 gleichartigen Molekülresten in den Polyamidmolekülen. Die Makromoleküle sind kettenförmig und parallel zueinander angeordnet (Abb. 41). Zwischen den Makromolekülen wirken zusätzliche Kräfte, die sich auf die Zerreiβfestigkeit der Fäden günstig auswirken.

Vergleich von Polymerisation und Polykondensation

41

Synthetische makromolekulare Werkstoffe entstehen durch Polymerisation oder Polykondensation. Die niedrigmolekularen Ausgangsstoffe werden in makromolekulare Stoffe umgewandelt. Die Polymerisate beziehungsweise Polykondensate sind jeweils Gemische aus Makromolekülen von unterschiedlicher Größe. In jedem einzelnen dieser Stoffe sind die Makromoleküle jedoch nach dem gleichen Prinzip aufgebaut (Übersicht 16).

Übersicht 16 Polymerisation und Polykondensation

| Chemische Reaktion | Polymerisation | Polykondensation |
|---|---|--|
| Reaktionsart | Addition | Substitution |
| Ausgangsstoffe | niedrigmolekulare Stoffe | |
| Strukturmerkmal in den Molekülen der Ausgangsstoffe | mindestens je zwei reaktionsfähige Stellen in den Molekülen wenigstens eines Ausgangsstoffs | |
| | Doppelbindungen | meist funktionelle Gruppen |
| Reaktionsprodukte | Polymerisat | Polykondensat und ein niedrigmolekulares Produkt |
| Beispiele für Reaktionsprodukte | Polyakrylnitril Polyäthylen synthetischer Kautschuk | Phenoplaste Aminoplaste |
| Einsatz der Produkte | Plaste, Elaste und Chemiefaserstoffe | |

Aufgaben zur Festigung

42

- Erläutern Sie die chemischen Reaktionen, die zu synthetischen makromolekularen Stoffen führen!
- Erläutern Sie die Bezeichnungen „Werkstoffe nach Maß“, „Textilien aus der Retorte“ und „Kunststoffe“!
- a) Stellen Sie die Strukturformeln der entsprechenden Ausgangsstoffe für die Herstellung von Polyvinylchlorid, Phenoplasten und Buna-Kautschuk auf!
b) Ordnen Sie die genannten makromolekularen Stoffe den Polymerisaten beziehungsweise den Polykondensaten zu!
- Vergleichen Sie Dederon und Wolpryla!
- Geben Sie für die Werkstoffe *Plaste*, *Elaste* und *Chemiefaserstoffe* je ein Beispiel an! Nennen Sie einige *Eigenschaften* und *Verwendungsmöglichkeiten* für den jeweiligen Werkstoff!
Fertigen Sie in Ihrem Arbeitsheft eine Übersicht an; benutzen Sie die hervorgehobenen Begriffe zur Beschriftung der Spalten und Zeilen der Übersicht!

Systematisierung

Das Element Kohlenstoff ist in allen organischen Stoffen enthalten. Da in den Molekülen organischer Stoffe jedes Kohlenstoffatom mit anderen Kohlenstoffatomen verbunden sein kann, ist die Anzahl von organischen Stoffen sehr groß. Neben dem Element Kohlenstoff sind am Aufbau der organischen Stoffe nur noch wenige Elemente beteiligt, vor allem die Elemente Wasserstoff, Sauerstoff, Chlor, Brom, Jod, Stickstoff und Schwefel. Auf die verschiedenen Struktur der Moleküle sind die unterschiedlichen Eigenschaften der organischen Stoffe zurückzuführen. Trotz der geringen Anzahl von Elementen sind vielfältige chemische Reaktionen mit organischen Stoffen möglich. Einige chemische Reaktionen sind Grundlage für chemisch-technische Verfahren zur Veredlung von Kohle, Erdöl und Erdgas.

Damit Sie einen besseren Überblick über die behandelten organischen Stoffe erhalten, sind in den nachfolgenden Abschnitten Strukturmerkmale und chemische Reaktionen organischer Stoffe nochmals zusammengestellt.

Organische Stoffe

43

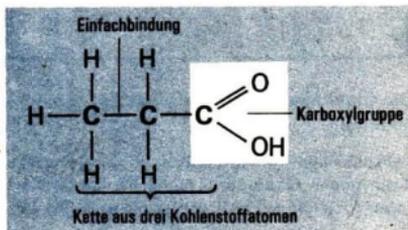
Zu den organischen Stoffen gehören alle Kohlenstoffverbindungen außer den Oxiden, außer der Kohlensäure und außer den Karbonaten. Viele organische Stoffe kommen in der lebenden Natur vor. Sie lassen sich oftmals auch synthetisch aus anorganischen Stoffen herstellen. Das gelang aber erst zu Beginn des vorigen Jahrhunderts. (1) (↗ S. 103)

Die Stoffe unterscheiden sich in ihren Eigenschaften voneinander. Bei organischen Stoffen ist der Zusammenhang zwischen den Eigenschaften und dem Bau der Stoffe besonders deutlich. Die Moleküle der verschiedenen organischen Stoffe haben eine unterschiedliche Struktur.

In den Molekülen organischer Stoffe können folgende **Strukturmerkmale** unterschieden werden:

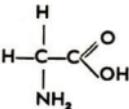
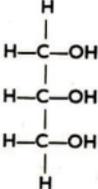
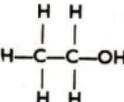
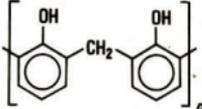
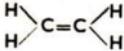
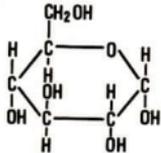
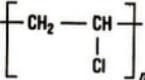
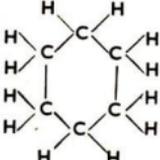
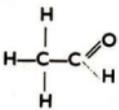
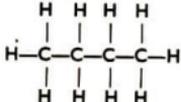
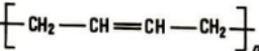
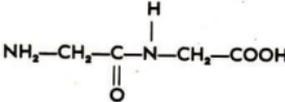
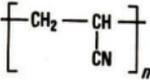
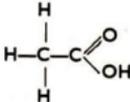
- funktionelle Gruppen im Molekül,
- chemische Bindungen zwischen den Kohlenstoffatomen,
- Anordnung der Kohlenstoffatome im Molekül,
- Anzahl der Kohlenstoffatome.

■ Propansäure



Strukturmerkmale des Propansäuremoleküls sind die Kette mit den drei Kohlenstoffatomen, die Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen und die Carboxylgruppe. Organische Stoffe können nach solchen Strukturmerkmalen geordnet und benannt werden (Übersicht 17). (2)(3)(4)(5)(6) (↗ S. 103)

Übersicht 17 Strukturformeln von Molekülen einiger organischer Stoffe

| | | | |
|---|--|--|---|
| a | b | c | d |
|  |  |  |  |
| e | f | g | |
| $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ |  |  | |
| h | i | j | |
|  |  |  | |
| k | l | m | |
|  |  |  | |
| n | o | p | |
|  |  |  | |

Die Eigenschaften organischer Stoffe sind von den Strukturmerkmalen in den Molekülen abhängig.

■ Kettenförmige Kohlenwasserstoffe mit Doppel- und Dreifachbindungen in den Molekülen entfärben Bromwasser. Alkansäuren bilden infolge der Carboxylgruppen in den Molekülen mit unedlen Metallen Salze. Alkohole mit Hydroxylgruppen in den Molekülen können mit Säuren zu Estern reagieren. ⑦

► Die Moleküle organischer Stoffe weisen charakteristische Strukturmerkmale auf. Die wichtigsten Strukturmerkmale sind funktionelle Gruppen im Molekül und chemische Bindungen zwischen den Kohlenstoffatomen. Viele Eigenschaften der organischen Stoffe sind auf die Strukturmerkmale in den Molekülen zurückzuführen.

- ① Werten Sie die Bedeutung der Herstellung der ersten organischen Stoffe aus anorganischen Stoffen zu Beginn des 19. Jahrhunderts!
- ② Nennen Sie Beispiele für unverzweigte und verzweigte kettenförmige Kohlenwasserstoffe, für ringförmige Kohlenwasserstoffe, für Abkömmlinge der Kohlenwasserstoffe mit einer und mit mehreren funktionellen Gruppen! Stellen Sie für die Moleküle dieser Stoffe die Strukturformeln auf!
- ③ Begründen Sie, warum Äthen den Alkenen, Äthansäure den Alkansäuren und Glukose den Kohlenhydraten zuzuordnen sind!
- ④ Bestimmen Sie die Namen der angegebenen organischen Stoffe (↗ Übersicht 17)!
- ⑤ Geben Sie wichtige Strukturmerkmale für die Moleküle der angegebenen organischen Stoffe an (↗ Übersicht 17)!
- ⑥ Ordnen Sie die Strukturmerkmale in den Molekülen der angegebenen organischen Stoffe (↗ Übersicht 17)! Ermitteln Sie Zusammenhänge zwischen Strukturmerkmalen in den Molekülen und Eigenschaften bei organischen Stoffen!
- ⑦ Stellen Sie Beispiele a) für funktionelle Gruppen, b) für chemische Bindungen zwischen den Kohlenstoffatomen, c) für verschiedene Anordnungen der Kohlenstoffatome in den Molekülen organischer Stoffe zusammen!
Ordnen Sie Eigenschaften den organischen Stoffen zu, deren Moleküle solche Strukturmerkmale aufweisen!
- ⑧ Nennen Sie volkswirtschaftlich bedeutsame chemische Reaktionen mit organischen Stoffen! Entwickeln Sie für drei chemische Reaktionen die chemischen Gleichungen!

Chemische Reaktionen mit organischen Stoffen

44

Organische Stoffe können an verschiedenen chemischen Reaktionen beteiligt sein. Viele solcher chemischen Reaktionen haben auch in der chemischen Industrie Bedeutung. ⑧

Arten chemischer Reaktionen

51

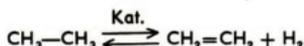
52

Vorsicht! Äthin wird dargestellt und in Bromwasser eingeleitet. Benzen und Hexan werden ebenfalls mit Bromwasser versetzt (↗ Ch-SE 9/10, Experiment 7).

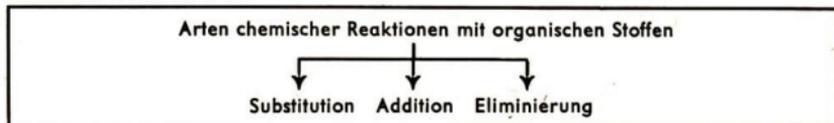
Vorsicht! Speisesessig (10%ige Äthansäure) wirkt jeweils in einem Reagenzglas auf Magnesium und Zink ein (↗ S. 54).

Viele chemische Reaktionen mit organischen Stoffen lassen sich den **Arten chemischer Reaktionen** zuordnen. Diese Arten chemischer Reaktionen unterscheiden sich in ihren Merkmalen voneinander.

■ Äthan kann unter Einwirkung von Katalysatoren zu Äthen reagieren.



Bei der chemischen Reaktion werden jeweils zwei Wasserstoffatome aus jedem Äthanmolekül abgespalten. Es entsteht eine Doppelbindung zwischen den Kohlenstoffatomen. Das sind Merkmale einer Eliminierung. Die Eliminierung ist in diesem Beispiel eine Dehydrierung.



Substitution, Addition und Eliminierung sind die wichtigsten Arten chemischer Reaktionen mit organischen Stoffen (Übersicht 18). Darüber hinaus laufen bei chemischen Reaktionen mit organischen Stoffen Redoxreaktionen und Reaktionen zwischen Ionen ab. ①②

Übersicht 18 Chemische Reaktionen organischer Stoffe

③④⑤

| | |
|---|---|
| a | Alkane $\xrightleftharpoons[\text{Hydrierung}]{\text{Dehydrierung}}$ Alkene $\xleftarrow{\text{Hydrierung}}$ Alkine |
| b | Zylohexan $\xrightleftharpoons[\text{Hydrierung}]{\text{Dehydrierung}}$ Benzen |
| c | Verbrennung von Kohlenwasserstoffen $2 \text{C}_6\text{H}_{14} + 19 \text{O}_2 \longrightarrow 12 \text{CO}_2 + 14 \text{H}_2\text{O}$ |
| d | Polymerisation $n \text{CH}_2=\underset{\text{CN}}{\text{CH}} \longrightarrow \left[\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}} \right]_n$ |
| e | Veresterung $\text{C}_4\text{H}_9-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{array} + \text{HO}-\text{C}_2\text{H}_5 \rightleftharpoons \text{C}_4\text{H}_9-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OC}_2\text{H}_5 \end{array} + \text{H}_2\text{O}$ |
| f | Dehydrierung von Alkanolen $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH} \xrightleftharpoons{\text{Kat.}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{array} + \text{H}_2$ |
| g | $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ |

Zwischen den Strukturmerkmalen in den Molekülen und den chemischen Reaktionen der organischen Stoffe besteht ein enger Zusammenhang (Experiment 51 und 52). Die möglichen chemischen Reaktionen organischer Stoffe lassen sich deshalb aus der Struktur der Moleküle ableiten (Übersicht 19). ⑥

Übersicht 19 Zusammenhang zwischen Strukturmerkmalen der Moleküle und chemischen Reaktionen organischer Stoffe

⑦⑧

| Strukturmerkmale in den Molekülen organischer Stoffe | Mögliche chemische Reaktionen der organischen Stoffe | Strukturmerkmale in den Molekülen organischer Stoffe | Mögliche chemische Reaktionen der organischen Stoffe |
|--|--|--|---|
| | Substitutionsreaktion Eliminierungsreaktion | $-\text{OH}$ | Substitutionsreaktion Eliminierungsreaktion |
| | Additionsreaktion Substitutionsreaktion (Eliminierungsreaktion) | $-\text{C} \begin{array}{l} \text{H} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$ | Additionsreaktion |
| | Additionsreaktion Substitutionsreaktion | $-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$ | Substitutionsreaktion |
| | Substitutionsreaktion Additionsreaktion | $-\text{NH}_2$ | Substitutionsreaktion |

- ① Erläutern Sie an je einem selbstgewählten Beispiel wichtige Merkmale von Substitutionsreaktionen, Additionsreaktionen, Eliminierungsreaktionen!
- ② Ordnen Sie folgende chemische Reaktionen den Arten chemischer Reaktionen mit organischen Stoffen zu: a) Fettspaltung durch Hydrolyse, b) Reaktion von Chlormethan mit Kaliumhydroxidlösung, c) Wasserabspaltung aus Alkanolen, d) Polykondensation, e) Hydrierung von Butin!
- ③ Ergänzen Sie die Übersicht 18 (↗ S. 104) durch Lösen folgender Aufgaben:
 - a) Geben Sie Beispiele mit chemischen Gleichungen für die Dehydrierungen und Hydrierungen unter a) an!
 - b) Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen mit Strukturformeln für b)!
 - c) Formulieren Sie die Wortgleichung für die chemische Reaktion unter g)!
- ④ Bestimmen Sie für jedes angegebene Beispiel (↗ Übersicht 18, S. 104) die Art der chemischen Reaktion! Begründen Sie Ihre Entscheidung!
- ⑤ a) Ordnen Sie die chemischen Reaktionen (↗ Übersicht 18, S. 104) den Arten chemischer Reaktionen zu!
 b) Leiten Sie aus diesem Ergebnis wichtige Arten chemischer Reaktionen mit organischen Stoffen ab!
 c) Formulieren Sie einen Merksatz!
- ⑥ Erläutern Sie an Beispielen den Zusammenhang zwischen der Struktur der Moleküle und den chemischen Reaktionen der organischen Stoffe!
- ⑦ Begründen Sie, warum nicht mit jedem organischen Stoff Additionsreaktionen, Eliminierungsreaktionen und Substitutionsreaktionen ablaufen können!
- ⑧ Nennen Sie organische Stoffe, geben Sie die Strukturmerkmale in den Molekülen an und schließen Sie auf mögliche chemische Reaktionen!

Gesetzmäßigkeiten der chemischen Reaktion

Um chemische Reaktionen technisch und ökonomisch möglichst günstig durchführen zu können, sind umfassende Kenntnisse über die gesetzmäßigen Zusammenhänge beim Ablauf chemischer Reaktionen notwendig. Für chemische Reaktionen mit anorganischen und organischen Stoffen gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten (↗ Merksstoff, S. 106).

Bei verschiedenen chemisch-technischen Verfahren verläuft die Stoffumwandlung nach umkehrbaren chemischen Reaktionen (Übersicht 20).

Übersicht 20 Umkehrbare chemische Reaktionen bei chemisch-technischen Verfahren

| | Chemisch-technisches Verfahren | Umkehrbare chemische Reaktion |
|---|--------------------------------|---|
| a | Herstellung von Mischgas | $C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2; Q = + 131,1 \text{ kJ}$ |
| b | Herstellung von Branntkalk | $CaCO_3 \rightleftharpoons CaO + CO_2; Q = + 178,4 \text{ kJ}$ |
| c | Herstellung von Äthen | $CH_3-CH_3 \rightleftharpoons CH_2=CH_2 + H_2; Q = + 125 \text{ kJ}$ |
| d | Methanolsynthese | $CO + 2 H_2 \rightleftharpoons CH_3OH; Q = - 90,5 \text{ kJ}$ |
| e | Äthanolynthese | $CH_2=CH_2 + H_2O \xrightleftharpoons{\text{Kat.}} CH_3-CH_2-OH; Q = - 85 \text{ kJ}$ |
| f | Herstellung von Ammoniak | $N_2 + 3 H_2 \xrightleftharpoons{\text{Kat.}} 2 NH_3; Q = - 92,4 \text{ kJ}$ |

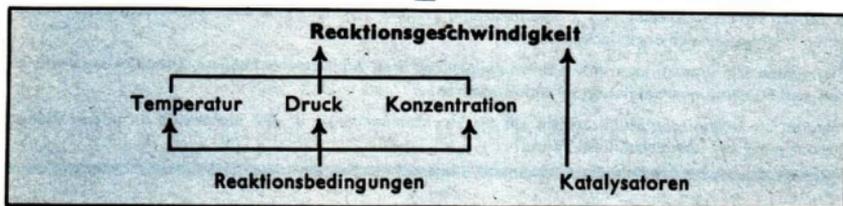
| Merkmale | |
|--|---|
| Stoffumwandlung, verbunden mit Energieumwandlung | Teilchenveränderung, verbunden mit Umbau chemischer Bindungen |



Chemische Reaktion

Bei umkehrbaren chemischen Reaktionen stellt sich unter gegebenen Reaktionsbedingungen ein chemisches Gleichgewicht ein.

Ausgangsstoffe \rightleftharpoons Reaktionsprodukte



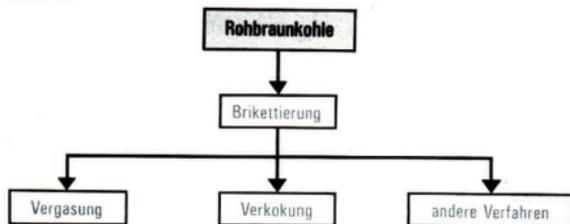
① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

Organische Stoffe aus Kohle, Erdöl und Erdgas

45

Eine Voraussetzung für die weitere stabile Entwicklung der Volkswirtschaft in der DDR ist die Ausnutzung unserer einheimischen Rohstoffreserven. Zur Herstellung organischer Stoffe werden kohlenstoffhaltige Rohstoffe benötigt. Das sind vor allem Kohle, Erdöl und Erdgas. Für die Volkswirtschaft in der DDR ist Kohle wichtiger Energieträger und chemischer Rohstoff. Die Umwandlungsprozesse, die von der Kohle zu anderen volkswirtschaftlich wertvollen Stoffen führen, werden als Verfahren der **Kohleveredlung** bezeichnet.

⑧ ⑨ ⑩



Durch die Verfahren der Kohleveredlung ist eine günstige Ausnutzung der Energie in der Rohbraunkohle möglich. Bei den Verfahren der Kohleveredlung entstehen aber auch wertvolle Ausgangsstoffe für chemisch-technische Verfahren der Kohlechemie.

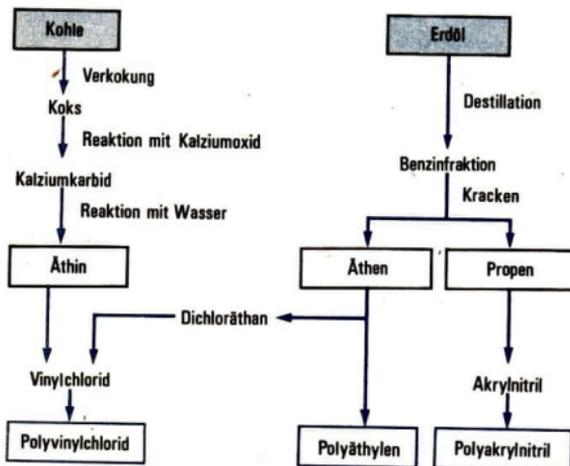
- ① Erläutern Sie die dargestellten Merkmale und Bedingungen chemischer Reaktionen an Beispielen (↗ S. 105)!
- ② Erläutern Sie an einem Beispiel (↗ Übersicht 20, S. 105) die Merkmale des chemischen Gleichgewichts!
- ③ Diskutieren Sie am Beispiel der Äthenherstellung (↗ Übersicht 20, S. 105) Möglichkeiten der Beeinflussung der Konzentration der reagierenden Stoffe!
- ④ Kennzeichnen Sie am Beispiel der Äthanol synthese den Einfluß von Katalysatoren und von Reaktionsbedingungen auf die umkehrbare chemische Reaktion!
- ⑤ Weisen Sie an Beispielen (↗ Übersicht 20, S. 105) nach, daß für Reaktionen mit anorganischen und organischen Stoffen die gleichen Gesetzmäßigkeiten gelten!
- ⑥ Erläutern Sie für die chemischen Reaktionen (↗ Übersicht 20, S. 105) die Gesetzmäßigkeiten chemischer Reaktionen!
Begründen Sie die Notwendigkeit, Reaktionsbedingungen optimal zu gestalten!
- ⑦ Die chemischen Reaktionen zur Herstellung von Kalziumkarbid aus Kalziumoxid und Kohlenstoff ($Q = + 470 \text{ kJ}$) und zur Hydrierung von Benzen ($Q = -216 \text{ kJ}$) sind zu vergleichen. Verwenden Sie zur Lösung der Aufgabe „Chemie in Übersichten“ und das Lehrbuch Chemie Klasse 9! Suchen Sie dort Angaben über diese chemischen Reaktionen auf!
Legen Sie in Ihrem Arbeitsheft eine Tabelle für die Lösung der Teilaufgaben an!
a) Entwickeln Sie für die genannten chemischen Reaktionen die chemischen Gleichungen! Ermitteln Sie für beide chemischen Reaktionen den Stoffmengenumsatz und den Massenumsatz der reagierenden Stoffe!
b) Geben Sie für beide chemischen Reaktionen die Reaktionsbedingungen an, die erfüllt sein müssen, damit die Reaktionen ablaufen können!
c) Beide chemischen Reaktionen sind umkehrbar. Welcher Zustand wird deshalb im Verlauf der Reaktion erreicht, wenn sich die reagierenden Stoffe in einem geschlossenen Gefäß befinden? Ergänzen Sie die chemische Gleichung!
d) Leiten Sie für eine höchstmögliche Ausbeute an Kalziumkarbid und Zyklohexan die günstigsten Reaktionsbedingungen ab!
Ergänzen Sie die Tabelle!
e) Zyklohexan entsteht durch katalytische Hydrierung von Benzen am Nickel-Kontakt. Welche Wirkung hat der Katalysator?
Ergänzen Sie die Tabelle!
f) Lesen Sie die gewonnenen Aussagen über die beiden chemischen Reaktionen in der Tabelle durch! Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse und leiten Sie daraus allgemeine Merkmale und Bedingungen für chemische Reaktionen mit anorganischen und organischen Stoffen ab!
Formulieren Sie Ihre Erkenntnisse als Sätze!
- ⑧ Nennen Sie wichtige Kohle-, Erdöl- und Erdgasvorkommen im Bereich der Mitgliedsländer des RGW (↗ Atlas)!
- ⑨ Nennen Sie wesentliche Bestandteile der Mineralkohlen und des Erdöls!
- ⑩ Erläutern Sie die Verfahren zur Kohleveredlung und zur Aufarbeitung des Erdöls!
Verwenden Sie die Übersichten im Lehrbuch und in „Chemie in Übersichten“!
- ⑪ Erläutern Sie die Begriffe Kohlechemie und Petrochemie!

Als Ergänzung unserer Rohstoffbasis für die chemische Industrie müssen Erdöl und Erdgas importiert werden. Den Hauptanteil des Erdöls bezieht die DDR auf der Grundlage langfristiger Vereinbarungen aus der Sowjetunion über die Erdölleitung „Freundschaft“. Eine Steigerung der Erdöl- und Erdgasimporte ist nur begrenzt möglich. Der effektive und rationelle Einsatz von Erdöl und Erdgas ist deshalb eine vordringliche Aufgabe für die Volkswirtschaft in der DDR. Erdöl und Erdgas werden nach verschiedenen Verfahren aufgearbeitet. ⑩



Die Produkte der Aufarbeitung des Erdöls können zum Antrieb von Verbrennungsmotoren genutzt werden und dienen damit der Energieumwandlung. Ein Teil der Erdölprodukte ist Ausgangsstoff für die chemisch-technischen Verfahren der Petrochemie.

Organische Stoffe können nach den chemisch-technischen Verfahren der Kohlechemie beziehungsweise der Petrochemie hergestellt werden. Die Rohstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas lassen sich durch diese chemisch-technischen Verfahren veredeln. ①

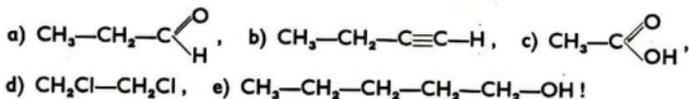


Methan, Äthen, Äthin, Propen, Buten und Benzen sind Kohlenwasserstoffe, die aus Kohle, Erdöl und Erdgas gewonnen werden können. Sie sind Ausgangsstoffe für viele chemisch-technische Verfahren der Kohlechemie beziehungsweise Petrochemie. ② ③

Aufgaben zur Festigung

46

- Nennen Sie Strukturmerkmale, nach denen die Einteilung und Benennung von organischen Stoffen erfolgt!
- Bestimmen Sie den Namen folgender organischer Stoffe:



-
- ① Diskutieren Sie die Herstellung von Polyvinylchlorid aus Kohle beziehungsweise Erdöl!
 - ② Begründen Sie die volkswirtschaftliche Notwendigkeit der höheren Veredlung von Erdöl und Kohle!
 - ③ Obwohl Erdöl und Erdgas häufig ökonomisch günstiger zu verarbeiten sind, hat Kohle die größte Bedeutung für die weitere Entwicklung unserer Volkswirtschaft. Geben Sie Begründungen dafür an!
-

3. Ordnen Sie folgende organische Stoffe nach den vorhandenen Strukturmerkmalen den verschiedenen Stoffklassen zu:
Hexansäure, Polyäthylen, Propanol, Pentin, Stärke, Benzen, 2-Amino-propansäure, Butanal, Polyakrylnitril, Heptan!
Geben Sie die Strukturmerkmale in den Molekülen an und schließen Sie auf mögliche chemische Reaktionen!

4. a) Ordnen Sie die genannten Reaktionen den Arten chemischer Reaktionen zu!

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| 1. Hydrierung | 6. Verbrennung |
| 2. Veresterung | 7. Kondensation |
| 3. Polymerisation | 8. Wasseranlagerung |
| 4. Reaktion mit Sauerstoff | 9. Dehydrierung |
| 5. Hydrolyse | 10. Wasserabspaltung |

b) Nennen Sie Beispiele für die genannten chemischen Reaktionen!

5. Begründen Sie die Zuordnung der folgenden chemischen Reaktion zur Substitutionsreaktion!



6. Entscheiden Sie, welche der nachfolgend aufgeführten chemischen Reaktionen möglich sind und bestimmen Sie jeweils die Art der chemischen Reaktion:

- a) Reaktion von Butanol mit Propansäure,
- b) Polymerisation von Äthan,
- c) Wasseranlagerung an Propen,
- d) Dehydrierung von Butin,
- e) Wasserabspaltung aus Äthanol!

7. a) Nennen Sie je zwei chemisch-technische Verfahren, bei denen Katalysatoren eingesetzt werden!

Entwickeln Sie für die chemischen Reaktionen die chemischen Gleichungen!

b) Diskutieren Sie an diesen Beispielen den Einfluß von Katalysatoren und von Reaktionsbedingungen auf umkehrbare chemische Reaktionen!

8. Erläutern Sie am Beispiel der Methanolsynthese den Einfluß der Reaktionsbedingungen auf die umkehrbare chemische Reaktion!

9. Vergleichen Sie die Verwendung der Braunkohle mit der Verwendung des Erdöls!

a) Begründen Sie, warum die chemisch-technischen Verfahren der Kohlechemie für die weitere Entwicklung unserer Volkswirtschaft so bedeutungsvoll sind!

b) Begründen Sie, warum die Erdölimporte aus der Sowjetunion eine Voraussetzung für die weitere Entwicklung unserer Volkswirtschaft sind!

10. Äthen ist ein bedeutender Ausgangsstoff für viele chemisch-technische Verfahren. Beweisen Sie die Richtigkeit dieser Aussage!

11. Nennen Sie chemisch-technische Verfahren der Kohle- und Petrolchemie! Vergleichen Sie die chemisch-technischen Verfahren entsprechend der vorhandenen Rohstoffquellen an einem Beispiel!

Lösungen zu den Aufgaben

S. 9 ⑥ $C_{H_2SO_4} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$

⑦ $C_{NaOH} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{l}};$

$C_{KOH} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$

S. 31 ② a) $C_{NaOH} = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{l}};$

b) $C_{HNO_3} = 1 \frac{\text{mol}}{\text{l}};$

c) $C_{HCl} = 7 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$

S. 37 ⑤ $m_{Na} = 0,1 \text{ g};$

$m_{CH_3OH} = 0,14 \text{ g}; m_{C_3H_7OH} = 0,27 \text{ g}; m_{C_4H_{13}OH} = 0,46 \text{ g}$

⑥ Je Mol Äthanol entstehen 0,5 mol Wasserstoff.

S. 41 ② a) $V_{CO} = 700 \text{ m}^3;$

b) $V_{H_2} = 1400 \text{ m}^3$

③ $V_{O_2} = 216,4 \text{ l}$

S. 45 ③ $V_{CH_2=CH_2} = 38469 \text{ l}$ oder $38,5 \text{ m}^3$

⑩ $m_{C_2H_5OH} = 0,41 \text{ g}$

S. 47 ⑤ a) $m_{Cl_2} = 22,2 \text{ g};$

b) $m_{Cl_2} = 15,4 \text{ g}$

S. 53 ② $m_{CH_3OH} = 1,07 \text{ t}$

③ $V_{CH_2=CH_2} = 509 \text{ m}^3$

S. 55 ⑬ $m_{CH_3COOH} = 0,6 \text{ g}$

S. 57 ⑤ $m_{CH_3COOH} = 0,88 \text{ t}$

S. 61 ① $V_{CH_2=CH_2} = 373,3 \text{ m}^3$

② $m_{C_2H_5OH} = 0,77 \text{ t};$

$V_{O_2} = 373,4 \text{ m}^3$

S. 63 ⑥ a) $m_{C_4H_9COOH} = 5,9 \text{ g};$

$m_{C_3H_7OH} = 3,5 \text{ g}$

S. 75 ⑦ $m_{C_2H_5OH} = 0,51 \text{ kg}$

S. 79 ① 300 bis 1235 Molekülreste der Glukose

S. 85 2. $V_{O_2} = 7,5 \text{ l}$

Register

- Addition** 44 104
Adenosindiphosphat ADP 64 ... 65
Adenosintriphosphat ATP 64 ... 65
Akryl 90
Akrylnitril 90
Aktivierungsenergie 6 18
Alanin 81
Aldehyde 49
Aldehydgruppe 49
Alkanale 48 ... 54 66 68
Alkanole 33 ... 46 66 68
Alkansäuren 54 ... 60 66 68
Alkensäuren 72 ... 73
Alkohol ↗ Äthanol
Alkoholgenuß 42
Alkoholmißbrauch 42
2-Amino-äthansäure ↗ Glykoll
Aminogruppe 80 ... 81
Aminoplaste 96 ... 98
2-Amino-propansäure ↗ Alanin
2-Aminosäuren 80 ... 81 82 84
Arten chemischer Reaktionen 103 104
Äthanal 52 ... 53
Äthanol 33 40 ... 44
Äthansäure 54 58 ... 60
Azetat 58
- Bindung, chemische** 6 30
Buna-Kautschuk 92
Buta-1,3-dien 92
- Chemiefaserstoffe** 88 89
- Dederon** 98
Dehydrierung 49 54 68
Dipeptide 81 ... 82 85
Disaccharide 77 80
- Eiweißabbau** 83
Eiweiße 82 ... 85
Eiweißforschung 84 ... 85
Eiweißversorgung der Organismen 84
Elaste 88 91 ... 93
Eliminierung 44 104
Energieumwandlung 5 30
Enzym 19 74 76 78 84
Erdölaufbereitung 108
Ester 61 ... 66 72
- Fettaufbau** 74
Fette 72 ... 74
fette Öle 73
- Fettsäuren** 73
Fettspaltung 74
Fettstoffwechsel 74
Fischer, Emil 84 ... 85
Formiat 57
Fruktose 75 77
funktionelle Gruppe 36 46 49 80 81 101 102 104
- Gärung, alkoholische** 43 ... 44 74 79
– Essig- 59
Gleichgewicht, chemisches 21 ... 30 38 ... 40 63 69 106
– Druckabhängigkeit 26 ... 28
– Einstellung 21 23
– Merkmale 23
– Temperaturabhängigkeit 24 ... 26
Gleichgewicht, dynamisches 23
Glukose 74 ... 79 80 84
Glukosemolekül 76
– Kettenform 76
– Ringform 76
Glykoll 81
Glyzerol 71 ... 72
Gummi 88 91 92
- Hämoglobin** 84
Harnstoff 96 97
Hexadekansäure 60 72
Hinreaktion 21
homologe Reihe 34 50 56
Hydrierung 51 54 68
Hydrolyse 63 ... 64 74 76 78 79 82 83
Hydroxylgruppe 33 36 46
- Insulin** 84
- Jodreaktion der Stärke** 77
- Kampfstoffe, chemische** 65
Kaprolaktam 99
Karbonsäuren 54 81
Karboxylgruppe 54
Katalysator 16 ... 19 23 30 70 106
– Beteiligung an der chemischen Reaktion 18
– selektive Wirkung 17
– Wiederverwendbarkeit 17
Kautschuk 91 ... 93
– natürlicher 88 91
– synthetischer 88 91 ... 95
Kohlechemie 108
Kohlenhydrate 74 ... 80 84

Kohleveredlung 106
Kombinat VEB Chemische Werke Buna 90 41
93
Kondensation 63 ... 64
Konzentration 9 10

Le Chatelier, Henry 29
- Prinzip 29

Maltose 76 80
Massenanteil 9
Methanal 52 94 97
Methanol 33 34 38 ... 40
Methanolsynthese 38 ... 40
Methansäure 54 57 ... 58
Mischpolymerisation 93
Monosaccharide 75 80

Napalm 60
Nobel, Alfred 72
Nylon 98

Oktadekansäure 60 72
Oktadezensäure 72
organische Stoffe 101
- aus Kohle, Erdöl und Erdgas 106
- chemische Reaktionen 103
- mit einer funktionellen Gruppe
im Molekül 33 ... 70
- mit mehreren funktionellen Gruppen
im Molekül 71 ... 85

Papier 79
Peptidbindung 82
Peptide 81 ... 83 85 98
Petrolchemie 108
Phenol 46 47 94
Phenolat 46
Phenoplaste 94 ... 96
Phosphorsäureester 64 ... 65
Photosynthese 74
Plaste 86 ... 88
Plaste, Elaste und Chemiefaserstoffe
86 ... 100

Polyakrylnitril 90
Polyamide 98 99
Polyäthylen 86 89
Polykondensate 93 ... 97
Polykondensation 93 94 96 97 100
Polymerisate 89 ... 93
Polymerisation 89 90 92 100
Polypeptide 82
Polysaccharide 78 80
Polystyren 86 89
Polyvinylchlorid 86 89
Propantriol / Glycerol
Proteine 83

Reaktion, chemische 5 ... 32
- endotherme 5
- exotherme 5
- Gesetzmäßigkeiten 105 106
- Merkmale 5 6 15 30 106
- umkehrbare 19 ... 21
Reaktionsbedingung 14 24 ... 30 106
Reaktionsgeschwindigkeit 6 11 12 30 106
- Konzentrationsabhängigkeit 13 14
- Temperaturabhängigkeit 14
- und Katalysator 16
Reaktionswärme 5
Rückreaktion 21

Saccharide 74
- Disaccharide 76 80
- Monosaccharide 75 80
- Polysaccharide 78 80
Saccharose 77
Seifen 60 74
Stärke 76 77 ... 79 80
Stoffgemische, Zusammensetzung 8
Stoffmengenkonzentration 9
Stoffwechsel 73 ... 74 78 ... 79 83 ... 84
Stoffumsatz 19 ... 21
Stoffumwandlung 5 30
Strukturmerkmal 101 102 104
Substitution 45 104

Teilchen 6 14 30

VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ 18 96 99
VEB Petrochemisches Kombinat Schwedt 90 91
Veresterung 63 ... 64 72
Viskosefaser 79
Volumenanteil 9

Wasserabspaltung 44 68
Werkstoffe, synthetische makromolekulare
86 ... 100
Wolpryla 90

Xanthoprotein-Reaktion 83

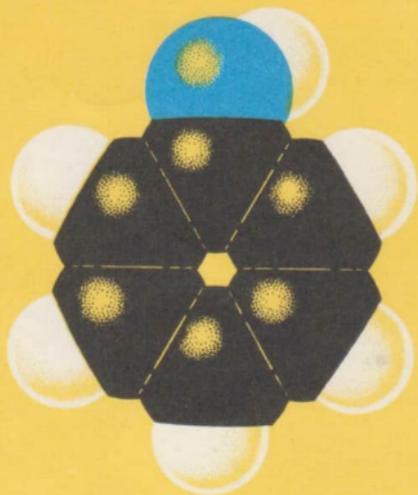
Zellulose 79 80
Zellulosefaser 79

Abbildungsnachweis

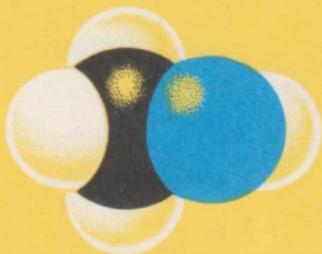
ADN-ZB/Japan Press (Abb. 30), ADN-ZB/
Junge (Abb. 38), ADN-ZB/Siebbahn (Abb. 38),
Volker Ertelt, Berlin (Innentitelbild, Abb. 10, 35),
Maximilian Seifert, Berlin (Abb. 37), VEB
Gärungschemie Dessau (Abb. 16), VEB Leuna-
Werke „Walter Ulbricht“ (Abb. 42), Volk und
Wissen Volkseigener Verlag Berlin (Abb. 13),
Zentralbild/Kluge (Abb. 38), Zentralbild/VNA
(Abb. 26).



Methan



Phenol



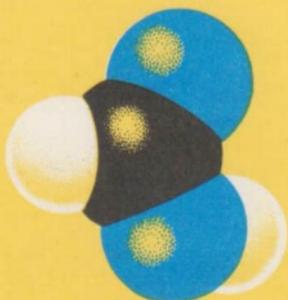
Methanol



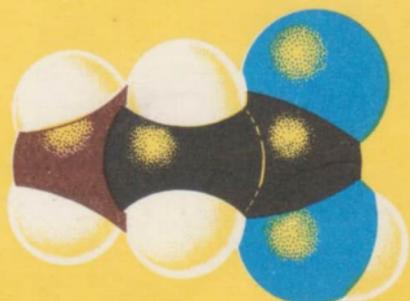
Methanal



Äthansäuremethylester



Methansäure



Glykokoll

Kurzwort: 030906 Lehrb. Chemie KI 9
Schulpreis DDR: 2,25
ISBN 3-06-030911-6