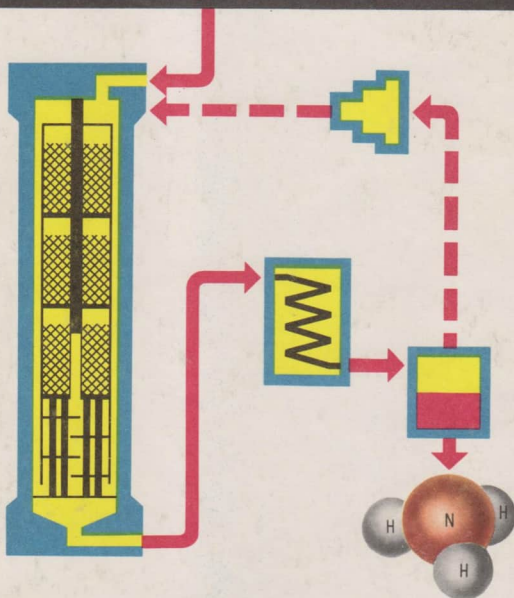
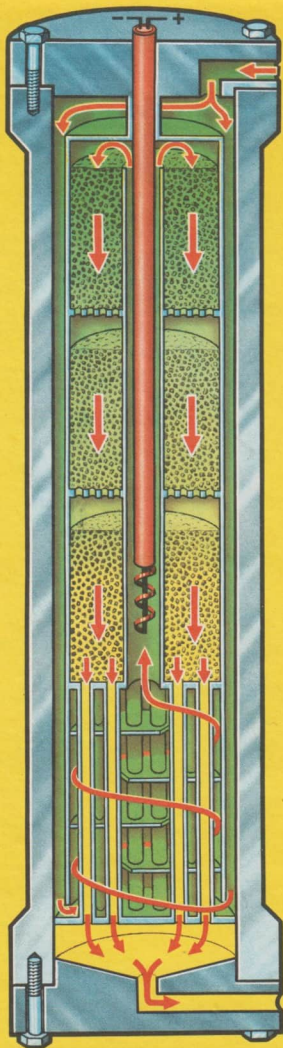


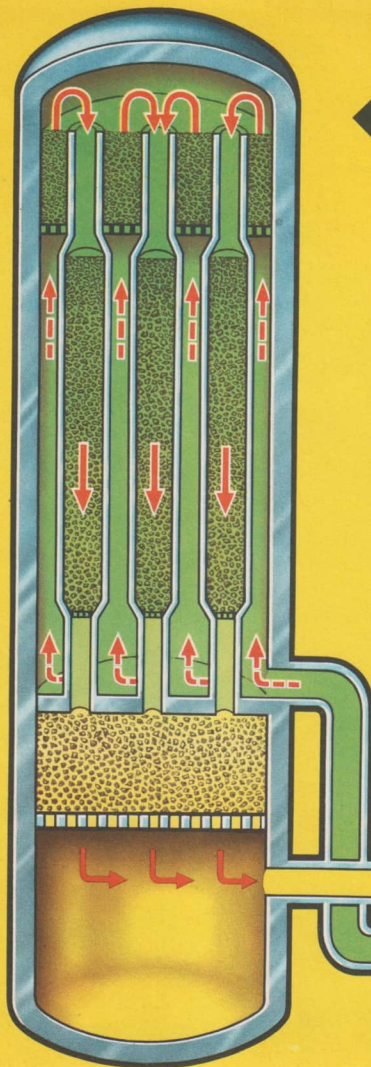
CHEMIE

10



Ammoniak-
Kontaktfen



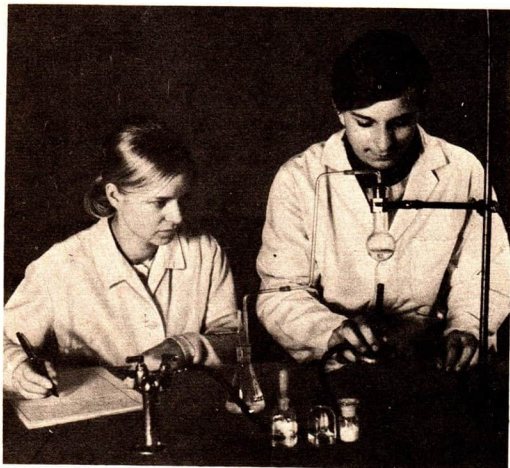


◀ Schwefeltrioxid-
Kontaktoven mit
Wärmeaustauscher



CHEMIE

Lehrbuch für Klasse 10



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin · 1974

Autoren:

Peter Lange (Redoxreaktion — Oxydationszahl)

Heinz Obst (Stickstoff als Element der V. Hauptgruppe)

Jochen Teichmann (Schwefel als Element der VI. Hauptgruppe)

Günter Wegner (Systematisierung und Praktikum zur chemischen Reaktion)

Gerhard Schiller (Die Wissenschaft Chemie als Produktivkraft)

Redaktionelle Bearbeitung: Edward Gutmacher

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

4. Auflage

Ausgabe 1971

Lizenz Nr. 203 · 1000/73 (UN)

LSV 1201

Zeichnungen: Fritz Hampel

Ausstattung: Atelier VWV · Günter Runschke

Printed in the German Democratic Republic

Satz: Offizin Andersen Nexø BT V, Leipzig · III/18/38

Druck und Binden: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden

Gesetzt aus der Gill

Redaktionsschluss: 10. September 1973

Bestell-Nr. 7304538

Schulpreis DDR: 2,20

Inhalt

Redoxreaktion — Oxydationszahl

	Seite
1 Oxydationszahl	7
2 Bestimmen von Oxydationszahlen	9
3 Erweiterung des Redoxbegriffes	15
4 Erkennen von Redoxreaktionen	18
5 Wiederholung und Übung	20

Stickstoff als Element der V. Hauptgruppe

6 Elemente der V. Hauptgruppe	21
7 Stickstoff	23
8 Ammoniak und Ammonium-Ion	25
9 Ammoniumsalze	29
10 Technische Ammoniaksynthese	32
Physikalisch-chemische Grundlagen der Ammoniaksynthese	32
Technische Durchführung der Ammoniaksynthese	35
Die Entwicklung der Leuna-Werke	38
11 Oxide des Stickstoffs	41
Stickstoffmonoxid 41 Stickstoffdioxid 43	
12 Salpetersäure	44
13 Nitrate	46
14 Wiederholung und Übung	47

Schwefel als Element der VI. Hauptgruppe

15 Elemente der VI. Hauptgruppe	49
16 Schwefel	51
17 Sulfide	52
18 Schwefelwasserstoff	54
19 Oxide des Schwefels	56
Schwefeldioxid 56 Schwefeltrioxid 58	
20 Schwefelsäure	62

	Seite
21 Technische Herstellung von Schwefelsäure	64
Technische Herstellung von Schwefeldioxid 64 Kontaktverfahren 66	
Reaktion von Schwefeltrioxid zu Schwefelsäure 69	
22 Wiederholung und Übung	70

Systematisierung und Praktikum zur chemischen Reaktion

23 Chemische Reaktion als Stoffumwandlung	72
24 Chemische Reaktion als Neuausbildung chemischer Bindungen	75
25 Energetische Betrachtung der chemischen Reaktion	77
26 Komplexe Betrachtung der chemischen Reaktion	79
27 Wiederholung und Übung	83
28 Klassifizierung chemischer Reaktionen	85
29 Fällungsreaktionen	86
30 Redoxreaktionen	87
31 Reaktionen mit Protonenübergang	88
32 Addition	89
33 Eliminierung	90
34 Substitution	91
35 Qualitative Untersuchung von Stoffen	92
36 Wiederholung und Übung	93

Die Wissenschaft Chemie als Produktivkraft

37 Chemie und wissenschaftlich-technischer Fortschritt in der Deutschen Demokratischen Republik	95
38 Die chemische Industrie in der Deutschen Demokratischen Republik	100
39 Chemisierung der Volkswirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik	106
Anhang: Schülerexperimente	109
Register	125

Erläuterungen

- 1** *Lehrbuchabschnitte.* Das Buch ist in 39 Abschnitte gegliedert, von denen jeder inhaltlich einen abgeschlossenen Gedankengang darstellt. Diese Abschnitte sind fortlaufend nummeriert.

Tabellen und Abbildungen im Text sind fortlaufend nummeriert.

- 1** *Beschreibungen der Experimente* geben in kurzer Form das Wesentliche der im Unterricht durchzuführenden Experimente an. Sie stellen jedoch keine Experimentieranleitung dar! Das Wort *Vorsicht* weist darauf hin, daß im Ablauf der Experimente Gefahren auftreten können oder die verwendeten Stoffe gefährlich sind. Die Beschreibungen der Experimente sind fortlaufend nummeriert. Im Text wird auf sie verwiesen.

- 1** Im Anhang *Schülerexperimente* werden ausführliche Anleitungen zu einigen im Unterricht durchzuführenden Schülerexperimenten gegeben. Diese Experimentanleitungen sind fortlaufend nummeriert.

- ①** *Aufgaben* befinden sich meist im oberen Teil der rechten Seiten und werden durch zwei starke rote Linien begrenzt. Im Text wird auf sie verwiesen. Die Aufgaben sind für jede Doppelseite gesondert nummeriert.

- *Zusammenfassungen und Merkstoff*

- *Beispiele zur Erläuterung des Textes*

- ↗** *Hinweise auf andere Seiten des Buches beziehungsweise auf andere Schulbücher*

Stoff

Ausgangsstoffe bei chemischen Reaktionen

Stoff

Reaktionsprodukte bei chemischen Reaktionen

Redoxreaktion – Oxydationszahl

In der Wissenschaft Chemie ist man wie in allen anderen Wissenschaften bestrebt, möglichst viele Einzelerkenntnisse über untersuchte Stoffe und Vorgänge systematisch zu ordnen, um allgemeingültige Aussagen über diese Stoffe und Vorgänge ableiten zu können. So werden in der Chemie Stoffe in Stoffgruppen eingeteilt und Reaktionen verschiedener Art unterschieden. Arten chemischer Reaktionen sind beispielsweise Addition und Substitution sowie die Redoxreaktion. Die chemischen Reaktionen einer Art sind durch gemeinsame Merkmale gekennzeichnet, die beim Vergleichen der Reaktionen von der Erscheinung oder von der Theorie her erfaßt werden. Bisher wurden **Redoxreaktionen** und **Reaktionen mit Elektronenübergang** als zwei Arten chemischer Reaktionen betrachtet. Da diese Reaktionen auch ein gemeinsames Merkmal haben, können sie als **Redoxreaktionen im erweiterten Sinne** zusammengefaßt werden. Um das Wesen der Redoxreaktionen im erweiterten Sinne zu kennzeichnen, benutzt man die **Oxydationszahl** als Hilfsmittel.

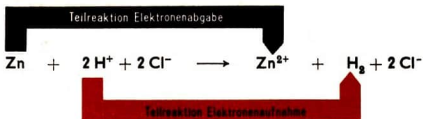
Oxydationszahl

1

1
▼
Zink wird in verdünnte Salzsäure gegeben.

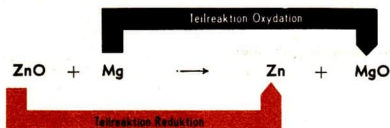
2
▼
Zinkoxid wird mit feinem Magnesiumgrieß gemischt und erhitzt.

Die chemische Reaktion von Zink mit verdünnter Salzsäure ist als Reaktion mit Elektronenübergang bekannt (Experiment 1).



Aus dieser Reaktionsgleichung ist ersichtlich, welche Teilchen der reagierenden Stoffe durch Elektronenabgabe beziehungsweise Elektronenaufnahme ihre elektrische Ladung ändern. ① (↗ S. 9)

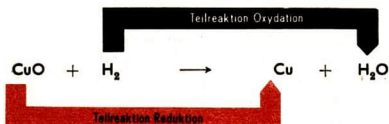
Die chemische Reaktion von Zinkoxid mit Magnesium ist ein Beispiel für eine Redoxreaktion (Experiment 2).



Diese Reaktionsgleichung läßt zunächst keine Veränderungen elektrischer Ladungen deutlich werden. Mit Hilfe der Kenntnisse über den Atombau und die chemische Bindung lassen sich aber auch bei dieser chemischen Reaktion Änderungen elektrischer Ladungen angeben. Zinkoxid ist aus Zink-Ionen Zn^{2+} und Oxid-Ionen O^{2-} aufgebaut. Bei der Reaktion bildet sich elementares Zink. Demnach müssen Zink-Ionen Elektronen aufgenommen haben. Außerdem entsteht bei dieser Reaktion Magnesiumoxid, das aus Magnesium-Ionen Mg^{2+} und Oxid-Ionen O^{2-} aufgebaut ist. Das elementare Magnesium muß also Elektronen abgegeben haben. ②

Aus den Beispielen geht hervor, daß sowohl bei der Reaktion von Zink mit verdünnter Salzsäure als auch bei der Reaktion von Zinkoxid mit Magnesium Veränderungen elektrischer Ladungen erfolgen. Beide Reaktionen haben also ein gemeinsames Merkmal.

Die chemische Reaktion von Kupfer(II)-oxid mit Wasserstoff ist ebenfalls eine Redoxreaktion (Experiment 3, S. 15).



Die bei dieser Reaktion auftretenden Verbindungen Kupfer(II)-oxid und Wasser sind nicht aus Ionen aufgebaut. Außerdem kann man bei dieser Reaktion keinen Elektronenübergang feststellen. ③

Bei Verbindungen, die Atombindung mit teilweise Ionencharakter besitzen, ist es jedoch möglich, sich die Verbindungen aus Ionen aufgebaut zu denken. Im Kupfer(II)-oxid halten sich die Elektronen der gemeinsamen Elektronenpaare zwischen dem Kupferatom und dem Sauerstoffatom häufiger in der Nähe des Elementes mit dem größeren Elektronegativitätswert, also in der Nähe des Sauerstoffatoms auf. Man kann sich deshalb Kupfer(II)-oxid formal aus Kupfer(II)-Ionen und Oxid-Ionen aufgebaut denken. Wasser wird entsprechend aus Wasserstoff-Ionen und Oxid-Ionen aufgebaut betrachtet. Unter diesen Bedingungen ist dann die Bildung gedachter Wasserstoff-Ionen des Wassers aus elementarem Wasserstoff als Ergebnis einer Elektronenabgabe und die Bildung von elementarem Kupfer aus gedachten Kupfer(II)-Ionen als Ergebnis einer Elektronenaufnahme aufzufassen. Damit läßt sich auch bei

- ① Stellen Sie die chemischen Gleichungen in Ionenschreibweise für die Teilreaktionen Elektronenabgabe und Elektronenaufnahme bei der Reaktion von Zink mit verdünnter Salzsäure auf!
- ② Beurteilen Sie den Charakter der chemischen Bindung in Zinkoxid und Magnesiumoxid mit Hilfe der Elektronegativitätswerte der beteiligten Elemente!
- ③ Geben Sie die Art der chemischen Bindung für die bei der Reaktion von Kupfer(II)-oxid mit Wasserstoff beteiligten Stoffe an!
- ④ Erteilen Sie den bei der Reaktion von Wasserdampf mit Magnesium beteiligten freien oder gebundenen Elementen Oxydationszahlen! Stellen Sie dazu die Gleichung für die Reaktion auf, und nutzen Sie die Beispiele auf Seite 9!

dieser Redoxreaktion ein gemeinsames Merkmal mit der Reaktion von Zink und verdünnter Salzsäure zeigen. In jedem Falle wurde die Veränderung vorhandener oder gedachter Ladungen festgestellt.

Um vorhandene oder gedachte elektrische Ladungen bei Stoffen einheitlich kenntlich zu machen, benutzt man in der Chemie die **Oxydationszahl** als Hilfsmittel. Zu diesem Zweck werden alle Verbindungen so aufgefaßt, als ob sie aus einfachen Ionen aufgebaut wären. Freien Elementen kommt dagegen die Ladung Null zu.

Die Oxydationszahl eines Elementes gibt Art und Anzahl der elektrischen Ladungen an, die einem freien oder in einer Verbindung vorliegendem Element unter der Bedingung zukommen, daß man alle Verbindungen aus einfachen Ionen aufgebaut betrachtet.

Die Oxydationszahlen geben keine Auskunft über die Art der chemischen Bindung in einem Stoff.

In der chemischen Zeichensprache werden die Oxydationszahlen als arabische Ziffern mit positivem oder negativem Vorzeichen über die Symbole der betreffenden Elemente geschrieben. ④

$+2 \quad -2 \quad +2 \quad -2 \quad \pm 0 \quad +2 \quad +1 \quad +1 \quad -2 \quad \pm 0$
 Zn O; Cu O; Mg; Mg^{2+} ; H^+ ; H_2 O; H_2

Bestimmen von Oxydationszahlen

2

Einem Element können verschiedene Oxydationszahlen zukommen (Abb. 1). Welche Oxydationszahl ein Element jeweils hat, hängt zunächst davon ab, ob es frei oder in einer Verbindung vorliegt. Freie Elemente erhalten stets die Oxydationszahl ± 0 . Ist das Element in einer Verbindung enthalten, so richtet sich die Oxydationszahl danach, mit welchen anderen Elementen es verbunden ist und in welchem Zahlenverhältnis die Atome der verschiedenen Elemente in einer Verbindung auftreten (Tab. 1).

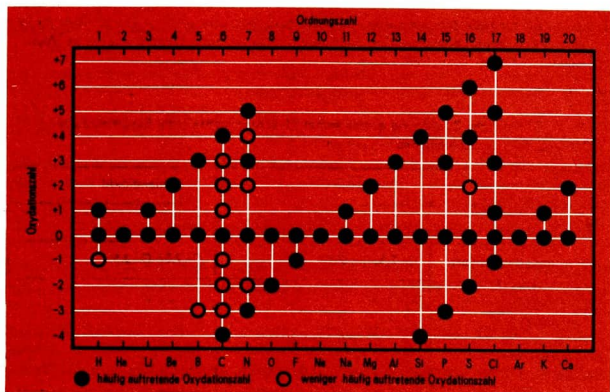


Abb. 1 Häufige Oxydationszahlen der Elemente mit den Kernladungszahlen 1...20

Tabelle 1 Verschiedene Oxydationszahlen des Elementes Kohlenstoff

Name des Stoffes	Methan	Kohlenstoff	Kohlenmonoxid	Kohlendioxid
chemisches Zeichen	CH ₄	C	CO	CO ₂
Oxydationszahl des Kohlenstoffs	-4	±0	+2	+4

Liegt zwischen den Atomen zweier Elemente Atombindung mit teilweise Ionencharakter vor, so werden die gemeinsamen Elektronenpaare stets zu Atomen des Elementes mit dem größeren Elektronegativitätswert hin verlagert gedacht. Die Atome dieses Elementes erhalten mit jedem hinzugeordneten Elektronenpaar ein zusätzliches Elektron zugeordnet. Das bedeutet aber die formale Aufnahme einer negativen elektrischen Ladung und somit eine Verringerung der Oxydationszahl um 1. Umgekehrt führt die gedachte Abtrennung eines Elektronenpaares zur formalen Abgabe einer negativen elektrischen Ladung und damit zu einer Erhöhung der Oxydationszahl um 1 (Tab. 2). ①

Bei den Hauptgruppenelementen besteht ein direkter Zusammenhang zwischen den möglichen höchsten Oxydationszahlen und der Stellung der Elemente im Periodensystem. Für diese Elemente entspricht die mögliche höchste (positive) Oxydationszahl allgemein zahlenmäßig der Gruppennummer. Eine ähnliche Aussage ist über den Zusammenhang zwischen der höchsten Wertigkeit der Hauptgruppenelemente gegenüber Sauerstoff und deren Stellung im Periodensystem bekannt (Tab. 3).

- ① Bestimmen Sie mit Hilfe der Kenntnisse über Atombau, chemische Bindung und Elektronegativitätswerte (↗ Chemie in Übersichten, S. 39) die Oxydationszahlen der Elemente in Wasser, Ammoniak und Chlorwasserstoff!

Tabelle 2 Gedankliche Zuordnung gemeinsamer Elektronenpaare beim Bestimmen der Oxydationszahlen des Kohlenstoffs in Verbindungen

Name	■ Methan	■ Kohlendioxid
Formel	CH_4	CO_2
Elektronegativitätswerte	C: 2,5; H: 2,1	C: 2,5; O: 3,5
Vergleich der Elektronegativitätswerte	$2,5 > 2,1$	$2,5 < 3,5$
Außenelektronen der Atome	$\cdot\dot{\text{C}}\cdot; \cdot\text{H}$	$\cdot\dot{\text{C}}\cdot; \cdot\ddot{\text{O}}\cdot$
Richtung der Zuordnung der Elektronen	$\text{C} \leftarrow \text{H}$	$\text{C} \rightarrow \text{O}$
Zuordnung der Elektronen (gedanklich)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H} \left(\begin{array}{c} \cdot\ddot{\text{C}}\cdot \\ \cdot\ddot{\text{C}}\cdot \end{array} \right) \text{H} \\ \text{H} \end{array}$	$\ddot{\text{O}}::\text{C}::\ddot{\text{O}}$
Oxydationszahlen	$\begin{array}{c} -4 \quad +1 \\ \text{C} \quad \text{H}_4 \end{array}$	$\begin{array}{c} +4 \quad -2 \\ \text{C} \quad \text{O}_2 \end{array}$

Tabelle 3 Zusammenhang zwischen der Stellung der Hauptgruppenelemente im Periodensystem, ihrer höchsten Wertigkeit gegenüber Sauerstoff und ihrer höchstmöglichen Oxydationszahl

Nummer der Hauptgruppe	I	II	III	IV	V	VI	VII
höchste Wertigkeit gegenüber Sauerstoff	I	II	III	IV	V	VI	VII
höchstmögliche Oxydationszahl	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
Oxide der Elemente der III. Periode	+1 Na_2O	+2 MgO	+3 Al_2O_3	+4 SiO_2	+5 P_2O_5	+6 S O_3	+7 Cl_2O_7

Das Bestimmen von Oxydationszahlen wird durch eine Reihe von Festlegungen erleichtert, die in Tabelle 4 zusammengestellt sind. ① ②

Tabelle 4 Festlegungen, die beim Bestimmen von Oxydationszahlen zu beachten sind

Es gilt für	die Festlegung	
1. freie Elemente	Oxydationszahl: ± 0	$\pm 0 = 0$ Mg; Cl_2
2. einige Elemente in Verbindungen, nämlich 2.1. Metalle 2.2. Wasserstoff 2.3. Sauerstoff	Oxydationszahl ist positiv und entspricht zahlenmäßig der Wertigkeit Oxydationszahl: $+1$ Oxydationszahl: -2	$+2$ CuO $+1$ NaOH -2 PbO
3. einfache Ionen	Oxydationszahl entspricht der elektrischen Ladung	$+2$ -1 Cu^{2+} ; Br^-
4. zusammengesetzte Ionen	Summe aller Oxydationszahlen entspricht der elektrischen Ladung	$+6$ -2 SO_4^{2-} $+6 + 4(-2) = -2$
5. Moleküle von Verbindungen ¹	Summe aller Oxydationszahlen ist gleich Null	$+1$ -2 H_2O $2(+1) - 2 = 0$
6. elektrisch neutrale Atomgruppen (gedacht bei organischen Verbindungen)	Summe aller Oxydationszahlen ist gleich Null	-1 $+1$ -2 $+1$ $-\text{CH}_2\text{OH}$ $-1 + 2(+1) - 2 + 1 = 0$

Beim Errechnen der Summen von Oxydationszahlen ist zu beachten, daß die über den Symbolen der Elemente stehende jeweilige Oxydationszahl mit einer gegebenenfalls vorhandenen tiefgestellten Zahl hinter dem Symbol eines Elementes zu multiplizieren ist.

Das nachfolgende Beispiel zeigt das Vorgehen beim Errechnen der Summe der Oxydationszahlen für schweflige Säure.

$$\begin{array}{ccc}
 +1 & +4 & -2 \\
 \text{H}_2 & \text{S} & \text{O}_3 \\
 2(+1) + 4 + 3(-2) = 0
 \end{array}$$

Beim Bestimmen der Oxydationszahlen von Elementen in Verbindungen arbeitet man günstig nach Schrittfolgen, die in Tabelle 4 (S. 12) angeführten Festlegungen

¹ Bei Verbindungen mit Ionenbeziehung wird entsprechend der Formel das Zahlenverhältnis der Ionen zugrunde gelegt.

- ① Begründen Sie mit Hilfe der Elektronegativitätswerte (↗ Chemie in Übersichten, S. 39), warum alle Metalle in Verbindungen positive Oxydationszahlen erhalten müssen!
- ② Geben Sie die Oxydationszahlen an für: Mg, Cl^- , Na^+ , Cl_2 , Al^{3+} , P, J⁻, Al, Ca^{2+} und O_2 !
- ③ Bestimmen Sie mit Hilfe der Schrittfolge (Tab. 5) die Oxydationszahlen für die Elemente in a) MgO , MgBr_2 , AlCl_3 , MnO_2 , P_2O_5 , PbCl_2 und SiO_2 , b) SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , MnO_4^- , CO_3^{2-} und PO_4^{3-} !
- ④ Bestimmen Sie mit Hilfe der Schrittfolge (Tab. 5) die Oxydationszahlen für die Elemente in a) H_3PO_4 , HNO_3 , H_2SO_3 und H_2CO_3 , b) PbSO_4 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, Na_2SO_3 , CaCO_3 und $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$!
- ⑤ Bestimmen Sie die Oxydationszahlen der Elemente in a) Kupfer(II)-nitrat, Eisen(III)-chlorid und Natriumkarbonat, b) Aluminiumsulfat, Eisen(III)-sulfat und Kalziumphosphat!

berücksichtigen. Die in Tabelle 5 angegebene Schrittfolge ist für anorganische Verbindungen und entsprechend zusammengesetzte Ionen anzuwenden. ③ ④ ⑤

Tabelle 5 Schrittfolge zum Bestimmen von Oxydationszahlen für Elemente in anorganischen Verbindungen

Teilschritte	☑ Schwefelsäure	genutzte Festlegung Nebenrechnungen
1. Notieren der Formel	H_2SO_4	
2. Erteilen von Oxydationszahlen nach Festlegung 2. (Tab. 4) in gegebener Reihenfolge	$+1 \quad x \quad -2$ $\text{H}_2 \quad \text{S} \quad \text{O}_4$	<u>Festlegungen 2.2. und 2.3.</u>
3. Errechnen der fehlenden Oxydationszahl über Festlegung 4. oder 5. (Tab. 4)	$+1 \quad +6 \quad -2$ $\text{H}_2 \quad \text{S} \quad \text{O}_4$	<u>Festlegung 5.</u> $2(+1) + x + 4(-2) = 0$ $x = +6$
4. Durchführen der Probe über Festlegung 4. oder 5. (Tab. 4)	$+1 \quad +6 \quad -2$ $\text{H}_2 \quad \text{S} \quad \text{O}_4$ Summe der Oxydationszahlen ist gleich Null	<u>Festlegung 5.</u> $2(+1) + 6 + 4(-2) = 0$ $8 - 8 = 0$

Für das Bestimmen der Oxydationszahlen der Elemente in organischen Verbindungen ist ein besonderes Vorgehen notwendig. In den Molekülen dieser Verbindungen liegen meist Grundgerüste mit Ketten oder Ringen von Kohlenstoffatomen vor, die auch in den Strukturformeln der Verbindungen deutlich werden. Man denkt sich die Bindung zwischen benachbarten Kohlenstoffatomen aufgehoben und arbeitet gedanklich mit elektrisch neutralen Atomgruppen, die je aus einem Kohlenstoffatom und den daran gebundenen andersartigen Atomen bestehen. Für die Elemente in diesen Atomgruppen werden die Oxydationszahlen gesondert bestimmt (Abb. 2).

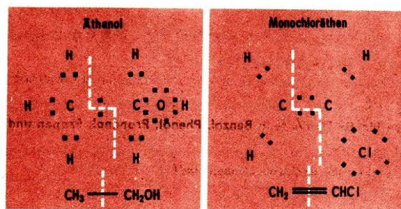


Abb. 2
Gedankliches Trennen
der Bindung zwischen
den Kohlenstoffatomen
beim Bestimmen
der Oxydationszahlen
der Elemente
in organischen Verbindungen

Man benutzt beim Bestimmen der Oxydationszahlen der Elemente in organischen Verbindungen eine besondere Schrittfolge (Tab. 6), in der ebenfalls die Festlegungen aus Tabelle 4 ($\nearrow$ S. 12) berücksichtigt sind.

① ② ③

Tabelle 6 Schrittfolge zum Bestimmen der Oxydationszahlen der Elemente
in organischen Verbindungen

Teilschritte	■ Äthansäure	genutzte Festlegung <u>Nebenrechnungen</u>
1. Notieren der Strukturformel oder der vereinfachten Struktur- formel	$\text{CH}_3 - \text{COOH}$	
2. Abtrennen von Atomgruppen, bestehend aus je einem Kohlenstoffatom und den daran gebundenen anders- artigen Atomen	$\text{CH}_3 - \text{C} - \text{COOH}$	
3. Erteilen von Oxydationszahlen nach Festlegung 2. (Tab. 4) in jeder Atomgruppe	$\begin{array}{c} x+1 \quad y-2 \quad -2+1 \\ \text{C} \quad \text{H}_3 \quad \text{C} \quad \text{O} \quad \text{O} \quad \text{H} \end{array}$	<u>Festlegungen 2.2. und 2.3.</u>
4. Errechnen der fehlenden Oxydationszahl je Atomgruppe über Festlegung 6. (Tab. 4)	$\begin{array}{c} -3+1 \quad +3-2-2+1 \\ \text{C} \quad \text{H}_3 \quad \text{C} \quad \text{O} \quad \text{O} \quad \text{H} \end{array}$	<u>Festlegung 6.</u> 1. $x+3(+1) = 0$ $x = -3$ 2. $y-2-2+1 = 0$ $y = +3$
5. Durchführen der Probe über Festlegung 5. (Tab. 4)	$\begin{array}{c} -3+1 \quad +3-2-2+1 \\ \text{C} \quad \text{H}_3 \quad \text{C} \quad \text{O} \quad \text{O} \quad \text{H} \end{array}$ Summe der Oxydations- zahlen ist gleich Null	<u>Festlegung 5.</u> $-3+3(+1)+3-2-2+1$ $= 0$ $7-7 = 0$

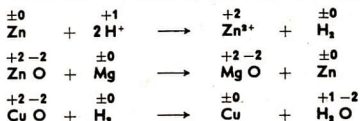
- ① Bestimmen Sie mit Hilfe der Schrittfolge (Tab. 6) die Oxydationszahlen der Elemente in C_2H_6 , C_2H_5OH und C_6H_5CHO !
- ② Bestimmen Sie mit Hilfe der Schrittfolge (Tab. 6) die Oxydationszahlen der Elemente in Butan, Buten-(2), Butadien-(1,3) und Butin-(1)!
- ③ Bestimmen Sie die Oxydationszahlen für die Elemente in Benzol, Phenol, Propanol, Propen und Propansäure!
- ④ Erklären Sie, warum die folgenden Reaktionen Redoxreaktionen sind!
 - a) Kupfer(II)-oxid mit Aluminium,
 - b) Wasserstoff mit Sauerstoff,
 - c) Eisen mit verdünnter Schwefelsäure,
 - d) Blei(II)-oxid mit Wasserstoff.
 Stellen Sie dazu die Gleichungen für die Reaktionen auf, und bestimmen und vergleichen Sie die Oxydationszahlen!

Erweiterung des Redoxbegriffes

3

Wasserstoff wird über glühendes Kupfer(II)-oxid geleitet.

Bisher wurden Reaktionen mit Elektronenübergang und Redoxreaktionen getrennt betrachtet. Da alle diese Reaktionen durch Veränderungen von Oxydationszahlen gekennzeichnet sind, lassen sie sich als Reaktionen einer Art zusammenfassen. Man bezeichnet sie als **Redoxreaktionen im erweiterten Sinne**.



Zu solchen Redoxreaktionen gehören auch Reaktionen, die bisher weder als Redoxreaktionen mit Sauerstoffübergang noch als Reaktionen mit Elektronenübergang aufgefaßt werden konnten. Ein Beispiel dafür ist die Synthese von Chlorwasserstoff aus den Elementen Wasserstoff und Chlor.



Alle Reaktionen, bei denen ein Stoff mit elementarem Sauerstoff reagiert, sind Redoxreaktionen im erweiterten Sinne. Ein Beispiel dafür ist die Reaktion von Kohlenmonoxid mit Sauerstoff, die bisher als Oxydation bezeichnet wurde.



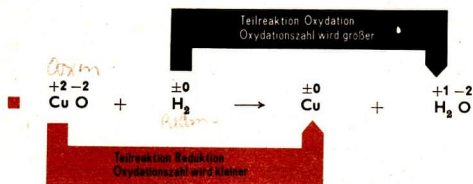
④

Bei einer Redoxreaktion müssen sich jedoch nicht die Oxydationszahlen *aller* vorkommenden Elemente verändern. Beispielsweise verändert sich die Oxydationszahl des Sauerstoffs bei der Reaktion von Zinkoxid mit Magnesium nicht. ①

- **Redoxreaktionen sind chemische Reaktionen, bei denen Elemente der reagierenden Stoffe ihre Oxydationszahl verändern.**

Bei dieser Fassung des Begriffs Redoxreaktion sind die Teilreaktionen Oxydation und Reduktion durch die Richtung der Veränderung von Oxydationszahlen gekennzeichnet.

Bei der Reaktion von Kupfer(II)-oxid mit Wasserstoff wird der Wasserstoff oxydiert. Die Oxydationszahl des Wasserstoffs wird größer, indem sie sich von ± 0 zu $+1$ verändert. Das Kupfer des Kupfer(II)-oxids wird zu elementarem Kupfer reduziert. Die Oxydationszahl des Kupfers wird bei dieser Reaktion kleiner. Sie verändert sich von $+2$ zu ± 0 .



- **Oxydation ist die Teilreaktion einer Redoxreaktion, bei der die Oxydationszahl eines Elementes größer wird. Reduktion ist die Teilreaktion einer Redoxreaktion, bei der die Oxydationszahl eines Elementes kleiner wird.**

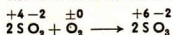
②

Oxydation und Reduktion im Sinne der Veränderung von Oxydationszahlen können nicht als Einzelreaktionen ablaufen. Zugleich mit jeder Oxydation findet eine Reduktion statt. Oxydation und Reduktion sind einander entgegengesetzte Reaktionen. Sie bilden eine Einheit von Gegensätzen, die Redoxreaktion. Dabei ist bei jeder Redoxreaktion der Betrag der Erhöhung von Oxydationszahlen gleich dem Betrag der Verringerung anderer Oxydationszahlen.

Bei entsprechenden Berechnungen geht man von der chemischen Gleichung für die Reaktion aus. Die Oxydationszahl eines Elementes ist sowohl mit einer gegebenenfalls bei einem Symbol oder einer Klammer vorhandenen tiefgestellten Zahl in der Formel als auch mit dem Faktor vor dem chemischen Zeichen zu multiplizieren. In diese Berechnungen werden nur die Elemente einbezogen, deren Oxydationszahlen sich verändern. Beispielsweise errechnet man für die Reaktion von Schwefeldioxid mit Sauerstoff eine Erhöhung des zahlenmäßigen Gesamtwertes der Oxydationszahl für Schwefel um den Betrag 4 und eine Verringerung des entsprechenden Wertes für Sauerstoff ebenfalls um den Betrag 4. Die Berechnung dieser Beträge geht aus Tabelle 7 hervor.

- ① Erklären Sie, warum die folgenden Reaktionen Redoxreaktionen sind!
- Kohlenstoff mit Kohlendioxid,
 - Äthen mit Wasserstoff,
 - Phosphor mit Sauerstoff.
- ② Ermitteln Sie für die folgenden Reaktionen die Teilreaktionen Oxydation und Reduktion! Arbeiten Sie dabei mit Oxydationszahlen!
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \longrightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$
 - $\text{HCHO} + 2 \text{Ag}^+ + 2 \text{OH}^- \longrightarrow \text{HCOOH} + 2 \text{Ag} + \text{H}_2\text{O}$
- ③ Geben Sie für die folgenden Reaktionen Oxydationsmittel und Reduktionsmittel an! Begründen Sie Ihre Aussage mit Hilfe der Oxydationszahlen!
- $2 \text{Na} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2 \text{NaCl}$
 - $2 \text{KBr} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2 \text{KCl} + \text{Br}_2$
 - $3 \text{CuO} + 2 \text{Al} \longrightarrow 3 \text{Cu} + \text{Al}_2\text{O}_3$
 - $\text{Mg} + 2 \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2$

Tabelle 7 Zahlenmäßige Veränderung der Gesamtbeträge der Oxydationszahlen für Schwefel und Sauerstoff bei der Reaktion von Schwefeldioxid mit Sauerstoff:



Summe der Oxydationszahlen	in den Ausgangsstoffen	in den Reaktionsprodukten	Veränderung der Summe der Oxydationszahlen
des Schwefels	$2(+4) = +8$	$2(+6) = +12$	Erhöhung um den Betrag 4
des Sauerstoffs	$2 \cdot 2(-2) + 0 = -8$	$2 \cdot 3(-2) = -12$	Verringerung um den Betrag 4

Entsprechend den Aussagen über die Begriffe Oxydation und Reduktion werden auch die Begriffe **Oxydationsmittel** und **Reduktionsmittel** mit Hilfe der Angaben über die Veränderung von Oxydationszahlen bestimmt. So ist beispielsweise bei der Reaktion von Kaliumjodid mit Brom das elementare Brom das Oxydationsmittel, da dessen Oxydationszahl kleiner wird. Kaliumjodid wirkt dagegen als Reduktionsmittel. Die Oxydationszahl des Jods im Kaliumjodid wird größer.



► **Oxydationsmittel** ist ein Reaktionspartner, bei dem bei einer Redoxreaktion eine Oxydationszahl kleiner wird.

Reduktionsmittel ist ein Reaktionspartner, bei dem bei einer Redoxreaktion eine Oxydationszahl größer wird.

③

In Tabelle 8 sind wichtige Begriffe zur Redoxreaktion zusammengefaßt.

Tabelle 8 Begriffe zur Redoxreaktion

Begriff	Bestimmung mit Hilfe der Oxydationszahlen
Redoxreaktion	Reaktion mit Veränderung von Oxydationszahlen
Oxydation	Teilreaktion, bei der eine Oxydationszahl größer wird
Reduktion	Teilreaktion, bei der eine Oxydationszahl kleiner wird
Oxydationsmittel	Reaktionspartner, bei dem eine Oxydationszahl kleiner wird
Reduktionsmittel	Reaktionspartner, bei dem eine Oxydationszahl größer wird

Erkennen von Redoxreaktionen

4

2 ml Bromwasser werden mit einer Spatelspitze Zinkpulver versetzt und geschüttelt.

1 ml Kaliumjodidlösung wird mit 0,5 ml Chlorwasser und 1 ml Tetrachlormethan versetzt und geschüttelt.

Kalziumspäne werden mit Wasser übergossen.

Zu verdünnter Schwefelsäure wird etwas Eisenpulver gegeben.

Vorsicht! Methanallösung wird zusammen mit frisch zubereiteter ammoniakalischer Silbernitratlösung im Wasserbad langsam erwärmt.

Vorsicht! Glukoselösung wird zusammen mit Fehlingscher Lösung langsam zum Sieden erhitzt.

Durch Bestimmen und Vergleichen der Oxydationszahlen ist es möglich, Redoxreaktionen von Reaktionen anderer Art zu unterscheiden. Nur bei Redoxreaktionen tritt eine Veränderung der Oxydationszahlen ein. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um chemische Reaktionen aus dem Bereich der anorganischen oder organischen Chemie handelt.

Als Beispiele sollen die Reaktion von Zink mit Brom in wäßriger Lösung und die Reaktion von Natriumchloridlösung mit Silbernitratlösung verglichen werden.

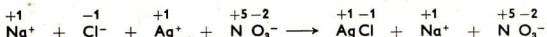
Versetzt man Bromwasser mit Zinkpulver, so erhält man neben einem Rückstand von überschüssigem Zink eine farblose Lösung von Zinkbromid (Experiment 4).



Die Oxydationszahl von Zink wird größer. Zink wird oxydiert. Es wirkt als Reduktionsmittel. Die Oxydationszahl von Brom wird kleiner. Brom wird reduziert. Es wirkt als Oxydationsmittel. Diese Reaktion ist eine Redoxreaktion, denn Oxydationszahlen verändern sich.

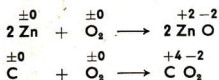
- ① Beurteilen Sie, ob nachstehende Reaktionen Redoxreaktionen sind! Betrachten Sie dabei die Oxydationszahlen!
a) Zink mit Sauerstoff, b) Kupfer mit Chlor, c) Kaliumjodid mit Chlor, d) Magnesiumchlorid-lösung mit Silber-Ionen, e) Wasserstoff mit Brom.
- ② Beurteilen Sie nach dem Bestimmen von Oxydationszahlen folgende Reaktionen: a) Eisen(III)-oxid mit Kohlenstoff, b) Kalziumoxid mit Wasser, c) Barium mit Wasser, d) Magnesiumhydroxid mit Schwefelsäure!
- ③ Entscheiden Sie an Hand der chemischen Gleichungen und Oxydationszahlen, ob folgende Reaktionen Redoxreaktionen sind!
a) Propen reagiert mit Wasserstoff, b) Äthanal reagiert mit Silber-Ionen in einer mit Ammoniak basisch gemachten Lösung, c) Buten-(1) reagiert mit Brom.
- ④ Beweisen Sie, daß die Reaktionen, die gedanklich oder tatsächlich von Propan über Propanol und Propanal zu Propansäure führen, sämtlich Redoxreaktionen sind! Stellen Sie dazu die chemischen Gleichungen für die einzelnen Reaktionen auf, und bestimmen und vergleichen Sie die Oxydationszahlen!

Gibt man zu Natriumchloridlösung einige Tropfen Silbernitratlösung, so fällt weißes Silberchlorid aus.



Diese Reaktion ist keine Redoxreaktion, denn es verändert sich keine Oxydationszahl.

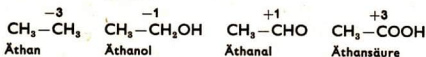
In gleicher Weise lassen sich alle Reaktionen untersuchen und beurteilen. Dabei zeigt sich, daß die Reaktionen von Metallen beziehungsweise Wasserstoff mit Halogenen Redoxreaktionen sind (Experiment 4). Die Reaktionen von Bromiden oder Jodiden mit Chlor sind gleichfalls Redoxreaktionen (Experiment 5). Auch die aus Klasse 7 bekannten Reaktionen von Metallen beziehungsweise Nichtmetallen mit Sauerstoff sind Redoxreaktionen.



Dagegen sind die Reaktionen von Silber-Ionen mit Chlorid-, Bromid- oder Jodid-Ionen keine Redoxreaktionen. ①

Auch die Reaktionen von Metalloxiden beziehungsweise Nichtmetalloxiden mit geeigneten Metallen beziehungsweise Nichtmetallen sind ebenso Redoxreaktionen wie die Reaktionen von Wasser beziehungsweise verdünnten Säuren mit unedlen Metallen, die zu Basen- oder Salzlösungen und Wasserstoff führen (Experimente 6 und 7). Andererseits sind die Neutralisationsreaktionen sowie beispielsweise die Reaktionen von Kalziumoxid beziehungsweise Schwefeldioxid mit Wasser oder die Reaktion von Kupfer(II)-oxid mit verdünnter Salpetersäure keine Redoxreaktionen. ②

Aus dem Bereich der organischen Chemie lassen sich die Reaktionen von Kohlenwasserstoffen, Alkanolen und Alkanalen mit Sauerstoff sowie die Reaktionen von Aldehyden mit Silber-Ionen beziehungsweise mit Kupfer(II)-Ionen in basischer Lösung als Beispiele für Redoxreaktionen nennen (Experimente 8 und 9). Ebenso gehören dazu die Hydrierungen und Dehydrierungen, die in der organischen Chemie, unter anderen Gesichtspunkten betrachtet, als Additionen beziehungsweise Eliminierungen aufgefaßt werden. Besonders zu nennen sind noch die Reaktionen, die von einem Kohlenwasserstoff zu dessen Sauerstoffderivaten führen, beispielsweise von Äthan zu Äthansäure. ③ ④ (↗ S. 19)



Wiederholung und Übung

5

1. Stellen Sie die Gleichung in Ionenschreibweise für die Reaktion von Natrium mit Wasser auf, und leiten Sie daraus die chemischen Gleichungen für die Teilreaktionen Elektronenabgabe und Elektronenaufnahme ab!
2. Kennzeichnen Sie mit Hilfe der Kenntnisse über den Atombau den Unterschied zwischen Aluminiumatomen und Aluminium-Ionen!
3. Stellen Sie für die bei der Reaktion von Wasserdampf mit Magnesium beteiligten Stoffe die Art der chemischen Bindung fest!
4. Begründen Sie mit Hilfe eines Vergleichs der Elektronegativitätswerte (↗ Chemie in Übersichten, S. 39) die Vorzeichen der Oxydationszahlen der Elemente in
 $\overset{+3}{\text{Fe}}_2\overset{-2}{\text{O}}_3$, $\overset{+5}{\text{P}}_2\overset{-2}{\text{O}}_5$, $\overset{+6}{\text{S}}\overset{-2}{\text{O}}_3$, $\overset{+7}{\text{Cl}}_2\overset{-2}{\text{O}}_7$, $\overset{+2}{\text{Cu}}\overset{-1}{\text{Cl}}_2$!
5. Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der höchstmöglichen Oxydationszahl eines Hauptgruppenelementes und dessen Atombau an den Beispielen Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel und Chlor!
6. Bestimmen Sie die Oxydationszahlen für die Elemente in:
 a) $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, CrCl_3 , CaCO_3 und b) AgNO_3 , AlI_3 , $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$.
7. Bestimmen Sie die Oxydationszahlen für die Elemente in:
 a) $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$, $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, C_2H_2 und b) $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$, $\text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$!
8. In welcher Funktion treten Halogene bei den Redoxreaktionen mit Metallen beziehungsweise Wasserstoff auf?
9. In welcher Funktion treten unedle Metalle bei den Reaktionen mit Sauerstoff, Halogenen und Metalloxiden auf?
10. Stellen Sie fest, welche der angegebenen Reaktionen Redoxreaktionen sind!
 a) Kohlenstoff mit Sauerstoff, b) Kupfer(II)-oxid mit verdünnter Schwefelsäure, c) Natriumjodidlösung mit Brom, d) Kalziumhydroxidlösung mit verdünnter Schwefelsäure.
 Stellen Sie dazu die Reaktionsgleichungen auf, bestimmen und vergleichen Sie die Oxydationszahlen!

Stickstoff als Element der V. Hauptgruppe

Elemente der V. Hauptgruppe

6

Die Elemente der V. Hauptgruppe sind **Stickstoff N**, **Phosphor P**, **Arsen As**, **Antimon Sb** und **Wismut Bi** (Abb. 3). Die Atome dieser Elemente haben 5 Außenelektronen. Gegenüber Sauerstoff sind diese Elemente dementsprechend maximal fünfwertig. Sie erreichen somit höchstens die Oxydationszahl +5. Gegenüber Wasserstoff sind sie dreiwertig. Sie haben dabei die Oxydationszahl -3. In Verbindungen mit anderen Elementen erreichen die Atome dieser Elemente meist durch Ausbildung von Atombindungen eine stabile Elektronenanordnung.

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ (↗ S. 23)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
				7 N			
				15 P			
				33 As			
				51 Sb			
				83 Bi			

Abb. 3
Stellung der Elemente
der V. Hauptgruppe im
Periodensystem
der Elemente

Auf Grund der unterschiedlichen Anzahl Elektronenschalen in den Atomhüllen besitzen die Elemente der V. Hauptgruppe unterschiedliche Eigenschaften. So sind Stickstoff und Phosphor Nichtmetalle, Arsen und Antimon zeigen einige Metalleigenschaften, und Wismut ist ein Metall. Das Stickstoffdioxid, das Phosphortrioxid und das Phosphorpentoxid sowie die Oxide des Arsens zeigen in wäßriger Lösung saure Reaktion. Das Antimon(III)-oxid ist amphoter. Das Wismut(III)-oxid hingegen

zeigt in wäßriger Lösung basische Reaktion. In Tabelle 9 sind einige Eigenschaften der Elemente der V. Hauptgruppe angegeben. ⑧ ⑨

Tabelle 9 Eigenschaften der Elemente der V. Hauptgruppe

Element Symbol	Stickstoff N	Phosphor P	Arsen As	Antimon Sb	Wismut Bi
relative Atommasse	14,007	30,97	74,92	121,75	208,98
Elektro- negativitätswerte	3,0	2,1	2,0	1,9	1,9
Dichte	$1,25 \frac{\text{g}}{\text{l}}$	$1,82 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ weißer Phosphor	$5,72 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ metallische Modifikation	$6,69 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$9,80 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aggregatzustand bei 20 °C	gasförmig	fest	fest	fest	fest
häufige Oxyda- tionszahlen	$-3 \pm 0 +3$ $+5$	$-3 +3 +5$	$-3 +3 +5$	$-3 +3 +5$	$-3 +3$
Formeln einiger Oxide	NO N ₂ O ₃ NO ₂ N ₂ O ₅	P ₂ O ₃ P ₂ O ₅	As ₂ O ₃ As ₂ O ₅	Sb ₂ O ₃ Sb ₂ O ₅	Bi ₂ O ₃ Bi ₂ O ₅
Nichtmetall- charakter	← zunehmend				
Metall- charakter	zunehmend →				
saurer Charakter der Oxide	← zunehmend				
basischer Charak- ter der Oxide	zunehmend →				

► Stickstoff N, Phosphor P, Arsen As, Antimon Sb und Wismut Bi sind die Elemente der V. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente.

- ① Informieren Sie sich über den Aufbau des Periodensystems der Elemente und die ihm zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten!
(↗ Chemie in Übersichten, S. 30...34)
- ② Erläutern Sie die für jedes Element im Periodensystem enthaltenen Angaben!
- ③ Weisen Sie am Beispiel des Stickstoffs den Zusammenhang zwischen Atombau, Stellung im Periodensystem der Elemente und den Eigenschaften eines Elements oder seiner Verbindungen nach!
- ④ Begründen Sie die Zugehörigkeit der Elemente Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon und Wismut zu einer Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente!
- ⑤ Füllen Sie die folgende Tabelle für die Elemente der V. Hauptgruppe aus!

Name	Symbol	Ordnungszahl	relative Atommasse	Anzahl der Außenelektronen in den Atomen

- ⑥ Vergleichen Sie die Energieniveauschemas für die Atomhülle von Stickstoff- und Phosphoratomen!
- ⑦ a) Erläutern Sie am Beispiel des Phosphors den Zusammenhang zwischen Anzahl Außenelektronen in den Atomen, Oxydationszahl und Höchstwertigkeit eines Elements gegenüber Sauerstoff!
b) Erläutern Sie am Beispiel des Phosphors den Zusammenhang zwischen Anzahl Außenelektronen in den Atomen, Oxydationszahl und Wertigkeit eines Elements gegenüber Wasserstoff!
- ⑧ Vergleichen Sie an Hand der Tabelle 9 (↗ S. 22) die Elemente der V. Hauptgruppe hinsichtlich unterschiedlicher Eigenschaften! Welche Gesetzmäßigkeiten des Periodensystems der Elemente erkennen Sie?
- ⑨ Erklären Sie den Begriff amphoterer Oxid!

Stickstoff

7

10
▼

Luft wird über glühendes Kupfer geleitet (Abb. 4). Das nach der Reaktion vorliegende Gas wird auf Brennbarkeit geprüft.

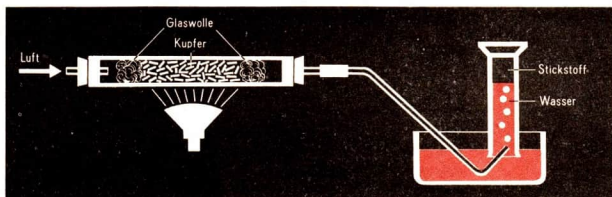


Abb. 4 Stickstoff wird durch Überleiten von Luft über erhitztes Kupfer dargestellt.

Stickstoff hat die Kernladungszahl 7. Stickstoffatome besitzen im Kern 7 Protonen und eine unterschiedliche Anzahl Neutronen. So sind beispielsweise die Isotope $^{14}_7\text{N}$ und $^{15}_7\text{N}$ bekannt. In der Atomhülle befinden sich 7 Elektronen. Sie sind in 2 Schalen, also auf 2 Energieniveaus, angeordnet (Abb. 5). ①

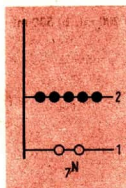


Abb. 5 Energieniveauschema der Atomhülle des Stickstoffatoms

Stickstoffmoleküle sind aus jeweils zwei Stickstoffatomen zusammengesetzt (Abb. 6).



Abb. 6 Modell eines Stickstoffmoleküls

Zwischen den beiden Atomen besteht eine Atombindung. Sie wird durch drei gemeinsame Elektronenpaare gebildet.

$:\text{N} \equiv \text{N}:$

Damit ist eine stabile Elektronenanordnung erreicht. ②

Stickstoff ist mit einem Anteil von etwa 78% des Volumens Hauptbestandteil der Luft (Tab. 10). Er lässt sich aus Luft gewinnen. Dazu wird der Sauerstoff der Luft durch chemische Reaktion an einen anderen Stoff gebunden und das Reaktionsprodukt vom Stickstoff abgetrennt. Im Labor kann Kupfer verwendet werden, das mit Sauerstoff ein festes Oxid bildet (Experiment 10). In der Technik dient Kohlenstoff in Form von Koks zum Binden des Luftsauerstoffs. Das entstehende Kohlendioxid kann auf Grund seiner Wasserlöslichkeit vom Stickstoff getrennt werden. Das gleichzeitig entstehende Kohlenmonoxid lässt sich in Kohlendioxid überführen und somit ebenfalls aus dem Gasgemisch entfernen. ③ ④

Tabelle 10 Zusammensetzung der Luft

Stoff	Anteil in % des Volumens
Stickstoff	78,09
Sauerstoff	20,95
Edelgase	0,92
Kohlendioxid	0,03
Wasserstoff	0,00005

- ① Erläutern Sie die Schreibweise $^{14}_7\text{N}$ und $^{15}_7\text{N}$ für Isotope des Stickstoffs!
- ② Erläutern Sie die Bindungsverhältnisse in Stickstoffmolekülen!
- ③ Erörtern Sie Möglichkeiten zur Gewinnung von Stickstoff aus der Luft durch chemische Reaktion!
- ④ Berechnen Sie, welche Massen an Kupfer mindestens reagieren müssen, um a) 200 ml, b) 500 ml, c) 1100 ml Stickstoff (Normzustand) aus Luft darzustellen! Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen der Masse der Ausgangsstoffe und dem Volumen des Reaktionsprodukts. Gehen Sie von dem Verhältnis $\text{N}_2 : \text{O}_2 = 4 : 1$ aus!
- ⑤ Berechnen Sie aus molarer Masse und molarem Volumen a) die Dichte von Stickstoff und b) die Dichte von Sauerstoff! (↗ Chemie in Übersichten, S. 62)
- ⑥ a) Vergleichen Sie Stickstoff mit Sauerstoff hinsichtlich Farbe, Geruch, Aggregatzustand, Dichte, Brennbarkeit und Unterhalten von Verbrennungen!
b) Geben Sie an, wie Stickstoff von Sauerstoff unterschieden werden kann!

Stickstoff ist farblos und geruchlos. Er brennt nicht (Experiment 10). Im Gegensatz zu Sauerstoff unterhält er die Verbrennung nicht. Seine Dichte ist geringer als die der Luft. ⑤ ⑥

▶ **Stickstoff ist ein farbloses, geruchloses, unbrennbares Gas, dessen Dichte geringer ist als die der Luft.**

Ammoniak und Ammonium-Ion

8

11

Vorsicht! Einige Tropfen einer konzentrierten wässrigen Ammoniaklösung werden in ein Reagenzglas gegeben. Farbe, Geruch und die Reaktion mit Unitest oder Lackmusfarbstoff werden geprüft.

12



Vorsicht, Implosionsgefahr! Ein mit Ammoniak gefüllter Rundkolben wird mit einem Stehkolben verbunden, in dem sich Wasser befindet, dem einige Tropfen eines Indikators zugesetzt sind (Abb. 7). Einige Tropfen Wasser werden mit einem Handgebläse in den mit Ammoniak gefüllten Rundkolben gedrückt.

Abb. 7 Ammoniak löst sich in Wasser.

13

Ammoniak wird mit Chlorwasserstoff zur Reaktion gebracht, indem ein Glasstab mit konzentrierter Salzsäure angefeuchtet und über konzentrierte Ammoniaklösung gehalten wird.

Ammoniak NH_3 ist eine Wasserstoffverbindung des Stickstoffs. Zwischen dem Stickstoffatom und den Wasserstoffatomen bestehen Atombindungen mit teilweise Ionencharakter. Am Stickstoffatom befindet sich ein Elektronenpaar, das nicht an der Bindung beteiligt ist.



Ammoniakmoleküle sind auf Grund der Verteilung der Ladungsschwerpunkte im Molekül Dipole. Das Ammoniakmolekül hat die Form einer flachen dreiseitigen Pyramide (Abb. 8). Der negative Ladungsschwerpunkt befindet sich auf der Seite des Stickstoffatoms. Der positive Ladungsschwerpunkt befindet sich auf der Seite der Wasserstoffatome. ①

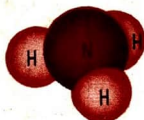


Abb. 8 Modell eines Ammoniakmoleküls

Im Ammoniak besitzt der Stickstoff die Oxydationszahl -3 . Die gleiche Oxydationszahl hat er im Harnstoff $\text{NH}_2-\text{CO}-\text{NH}_2$. ②

- **Zwischen dem Stickstoffatom und den Wasserstoffatomen in den Ammoniakmolekülen bestehen Atombindungen mit teilweise Ionencharakter. Ammoniakmoleküle sind Dipole.**

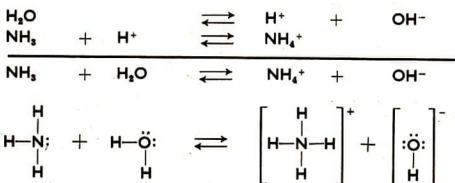
Ammoniak ist farblos und gasförmig. Seine Siedetemperatur beträgt $-33,5^\circ\text{C}$. Unter Normaldruck kann Ammoniak bei Temperaturen unter $-33,5^\circ\text{C}$ verflüssigt werden. Wird der Druck auf über 8 at erhöht, dann gelingt die Verflüssigung bereits bei $+20^\circ\text{C}$. Ammoniak riecht stechend und reizt zum Tränen der Augen (Experiment 11). Seine Dichte ist geringer als die der Luft. ③

Ammoniak löst sich sehr leicht in Wasser (Experiment 12). 100 g Wasser lösen unter den Bedingungen des Normzustands etwa 120 l gasförmiges Ammoniak. Die Löslichkeit des Ammoniaks in Wasser ist temperaturabhängig. Sie nimmt mit steigender Temperatur ab. ④ ⑤ ⑥

- **Ammoniak ist ein farbloses, stechend riechendes Gas, das sich leicht verflüssigen läßt und leicht in Wasser löst. Es hat eine geringere Dichte als Luft.**

Die Lösung von Ammoniak in Wasser zeigt basische Reaktion (Experiment 11). Diese basische Reaktion wird durch einen Überschuß an Hydroxid-Ionen in der Lösung hervorgerufen. Der Überschuß an Hydroxid-Ionen entsteht, weil ein Teil des Ammoniaks mit Wasser reagiert. Bei der Reaktion zwischen Ammoniak und Wasser gibt jeweils ein Wassermolekül ein Wasserstoff-Ion an ein Ammoniakmolekül ab.

- ① Begründen Sie das Vorliegen von Atombindung mit teilweise Ionencharakter in Ammoniakmolekülen!
- ② Vergleichen Sie die Oxydationszahl des Stickstoffs in Ammoniak mit der des Stickstoffs in Harnstoff $\text{NH}_2\text{—CO—NH}_2$!
- ③ a) Ermitteln Sie die Dichte des Ammoniaks im Normzustand ($\nearrow$ Tafelwerk, S. 45), und vergleichen Sie diese mit der der Luft ($1,239 \frac{\text{g}}{\text{l}}$)!
b) Wie muß ein Standzylinder gehalten werden, in dem Ammoniak durch Luftverdrängung aufgefangen werden soll?
- ④ Erörtern Sie, ob es zweckmäßig ist, gasförmiges Ammoniak pneumatisch über Wasser aufzufangen?
- ⑤ Erläutern Sie den Unterschied zwischen flüssigem Ammoniak und wäßriger Ammoniaklösung!
- ⑥ Wie kann Ammoniak aus wäßriger Ammoniaklösung dargestellt werden? Begründen Sie Ihre Aussage!
- ⑦ Erklären Sie die basische Reaktion einer wäßrigen Ammoniaklösung!
- ⑧ Vergleichen Sie Ammoniak und Ammonium-Ionen miteinander hinsichtlich Zusammensetzung, Ladung und Oxydationszahl des Stickstoffs!
- ⑨ Erläutern Sie das Wesen einer Reaktion mit Protonenübergang!



Die Oxydationszahl des Stickstoffs beträgt sowohl in Ammonium-Ionen als auch in Ammoniak -3 . Bei der Bildung von Ammonium-Ionen findet keine Änderung der Oxydationszahl und damit auch keine Redoxreaktion statt. Wasserstoff-Ionen entsprechen Protonen. Sie gehen bei der Reaktion von Ammoniak mit Wasser von den Wassermolekülen zu den Ammoniakmolekülen über. Diese Reaktion wird deshalb als **Reaktion mit Protonenübergang** bezeichnet. Reaktionen mit Protonenübergang stellen eine weitere Gruppe von Reaktionen dar. ⑦ ⑧ ⑨

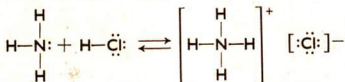
► **Ammonium-Ionen sind zusammengesetzte Kationen. Sie sind aus den Nichtmetallen Stickstoff und Wasserstoff aufgebaut. Sie entstehen aus Ammoniakmolekülen durch Anlagerung von Protonen.**

In einer wäßrigen Ammoniaklösung stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein. Ammoniakmoleküle und Wassermoleküle sowie Ammonium- und Hydroxid-Ionen

liegen nebeneinander vor. Dieses Gleichgewicht liegt stark auf der Seite des gelösten Ammoniaks.

- ▶ In einer wässrigen Ammoniaklösung besteht ein chemisches Gleichgewicht. Diese enthält Ammoniakmoleküle, Wassermoleküle, Ammonium-Ionen und Hydroxid-Ionen nebeneinander.

Ammoniak bildet mit Chlorwasserstoff weißen Rauch (Experiment 13). Es entsteht Ammoniumchlorid, das aus Ammonium-Ionen und Chlorid-Ionen aufgebaut ist. Die Reaktion ist ebenfalls eine Reaktion mit Protonenübergang.



Diese Reaktion wird zum Nachweisen von Ammoniak genutzt. ① ②

- ▶ Ammoniak reagiert mit Stoffen, deren Moleküle Protonen abgeben können, wie Wasser oder Chlorwasserstoff, unter Bildung von Ammonium-Ionen und entsprechenden Anionen. Bei diesen Reaktionen findet ein Protonenübergang statt. Solche Reaktionen werden deshalb als Reaktionen mit Protonenübergang bezeichnet.

75...80% des produzierten Ammoniaks werden zur Herstellung von Stickstoffdüngemitteln oder direkt als Düngemittel verwendet. Seit etwa 1950 finden flüssiges Ammo-

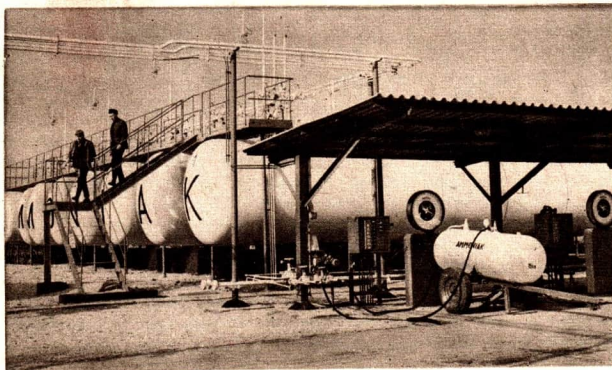


Abb. 9 Flüssiges Ammoniak wird als Düngemittel verwendet.

- ① Erklären Sie die Reaktion von Ammoniak mit Chlorwasserstoff als Reaktion mit Protonenübergang!
- ② Berechnen Sie, wieviel Gramm Ammoniumchlorid bei der Reaktion von a) 224 ml, b) 336 ml, c) 560 ml Ammoniak mit Chlorwasserstoff (Normzustand) entstehen!
Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen dem Volumen der Ausgangsstoffe und der Masse des Reaktionsprodukts!
- ③ Beschreiben Sie das Düngen mit Flüssigdünger!
Nutzen Sie dabei Ihre Kenntnisse aus dem polytechnischen Unterricht!

niak und wäßrige Ammoniaklösung als Düngemittel Verwendung (Flüssigdünger). Die Verwendung von flüssigem Ammoniak bringt gegenüber festen Stickstoffdüngern eine Kosteneinsparung von etwa 40% bei der Düngemittelherstellung und von etwa 30% beim Transport. Diese Vorteile überwiegen gegenüber dem Mehraufwand, der durch die Einrichtung von Ammoniaktanklagern und durch die notwendigen drucksicheren Behälter zum Ausbringen des Ammoniaks entsteht (Abb. 9). Ammoniak wird auch zur Herstellung anderer stickstoffhaltiger Verbindungen, wie Salpetersäure und Aminoplasten, verwendet (Abb. 10). ③



Abb. 10 Ammoniak wird vielseitig verwendet.

Ammoniumsalze

9

Ammoniumchlorid wird mit Natriumhydroxidlösung versetzt. Das entweichende Gas wird mit Chlorwasserstoff oder feuchtem Indikatorpapier geprüft (Abb. 11). (↗ ▼ 1, S. 109)

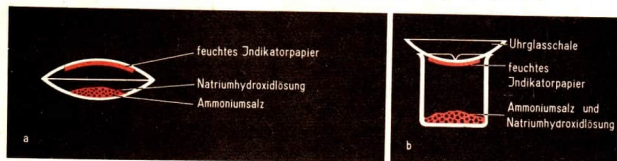


Abb. 11 Ammonium-Ionen werden durch Versetzen von Ammoniumsalzen mit konzentrierter Natriumhydroxidlösung nachgewiesen.

Ammoniumchlorid wird erhitzt. Die Reaktionsprodukte werden nachgewiesen (Abb. 12).

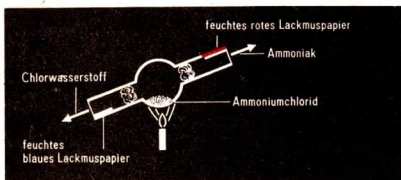


Abb. 12

Ammoniumchlorid kann thermisch gespalten werden.

Bei der Reaktion von Ammoniak mit Säuren entstehen die Ammoniumsalze der betreffenden Säuren oder die entsprechenden Salzlösungen. Dabei stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein.



Diese Reaktionen sind Reaktionen mit Protonenübergang. ① ②

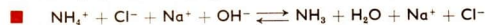


Ammoniumsalze, wie Ammoniumchlorid NH_4Cl , Ammoniumsulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Ammoniumnitrat NH_4NO_3 und Ammoniumkarbonat $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, sind wie andere Salze aus Kationen und Anionen zusammengesetzt. Sie bilden Ionenkristalle. Im Ionengitter befinden sich Ammonium-Ionen an der Stelle der sonst üblichen Metall-Kationen. In ihrem Aussehen sowie in ihrer Löslichkeit ähneln die Ammoniumsalze den entsprechenden Kaliumsalzen. Sie sind im allgemeinen leicht in Wasser löslich. Dabei dissoziieren sie in einfach positiv geladene Ammonium-Ionen und in die entsprechenden Anionen. ③ ④

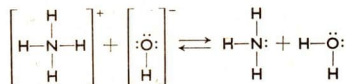


► **Ammoniumsalze sind Verbindungen, deren wässrige Lösungen frei bewegliche Ammonium-Ionen (Kationen) und Säurerest-Ionen (Anionen) enthalten.**

Beim Versetzen von Ammoniumsalzen mit Natriumhydroxidlösung wird Ammoniak frei (Experiment 14). ⑤



Dabei findet ein Protonenübergang statt.



Durch den Zusatz von Hydroxid-Ionen wird die Gleichgewichtslage zugunsten von Ammoniak und Wasser verschoben.

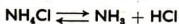
- ① a) Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen in Ionenschreibweise für die Reaktion von Ammoniak mit Salpetersäure und mit Phosphorsäure!
b) Bestimmen Sie für die unter a) genannten Reaktionen, welche Art chemischer Reaktionen vorliegt!
- ② Wieviel Kubikmeter Ammoniak (Normzustand) müssen bei angenommenem vollständigem Umsatz reagieren, um a) 198 t, b) 264 t, c) 1056 t Ammoniumsulfat herzustellen? Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen Volumen des Ausgangsstoffs und Masse des Reaktionsprodukts!
- ③ Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Dissoziation von Ammoniumchlorid, Ammoniumnitrat und Ammoniumkarbonat in wässriger Lösung!
- ④ Wie läßt sich das Vorliegen von Ionen in wässrigen Lösungen experimentell nachweisen?
- ⑤ Begründen Sie die Möglichkeit, Ammoniak aus Ammoniumsalzen durch Natriumhydroxidlösung freizusetzen!
Beachten Sie dabei die Lage des chemischen Gleichgewichts in einer wässrigen Ammoniaklösung!
- ⑥ a) Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Reaktion von Ammoniumkarbonat mit Natriumhydroxid in Ionenschreibweise!
b) Welche Art chemischer Reaktionen liegt vor?
- ⑦ Erläutern Sie die Temperatur- und die Druckabhängigkeit der Lage des chemischen Gleichgewichts am Beispiel der Bildung und des Zerfalls von Ammoniumchlorid!

Diese Reaktion wird zum Nachweis von Ammonium-Ionen genutzt. Das freigesetzte Ammoniak wird mit Chlorwasserstoff oder feuchtem Indikatorpapier geprüft. Zeigt der Indikator eine basische Reaktion an, dann ist der Nachweis für das Vorhandensein von Ammoniak erbracht.

⑥

► **Ammonium-Ionen werden durch Versetzen der zu untersuchenden Stoffe mit Natriumhydroxidlösung und anschließendes Prüfen auf frei werdendes Ammoniak nachgewiesen.**

In der Hitze zerfallen Ammoniumsalze leicht. Dabei wird neben anderen Stoffen Ammoniak frei (Experiment 15).



Auch bei diesen Reaktionen stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein, dessen Lage von Druck und Temperatur abhängt. ⑦

Ammoniumsalze, wie Ammoniumsulfat, Ammoniumnitrat und Ammoniumchlorid, finden wie Ammoniak in großem Maße als Stickstoffdüngemittel Verwendung. Sie werden vorwiegend als Vorratsdünger eingesetzt.

Die Düngung mit Mineralsalzen wurde maßgeblich durch Justus von Liebig (Abb. 13) begründet, indem er Untersuchungen über die Ernährung der Pflanzen durchführte. Dabei erkannte er allerdings erst sehr spät, daß die Pflanzen auch den Stickstoff

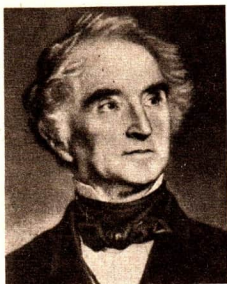


Abb. 13 Justus von Liebig (1803 bis 1873) war maßgeblich an der Entwicklung der experimentellen Chemie und der chemischen Analyse beteiligt. Große Verdienste erwarb er sich durch Untersuchungen zur Düngung mit Mineralsalzen. Durch chemische Analysen von Pflanzen und Bodenproben gelangte er zu der Erkenntnis der Notwendigkeit, dem Boden Mineralsalze zuzuführen. Er war als Sohn eines Materialwarenhändlers (heute etwa vergleichbar mit einem Drogisten) bürgerlicher Herkunft. In den Auseinandersetzungen zwischen dem aufstrebenden Bürgertum und dem reaktionären Feudaladel, der auch die Hochschulen beherrschte, vertrat Liebig stets konsequent seinen fortschrittlichen Standpunkt des aufstrebenden Bürgertums.

zum Aufbau ihres Eiweißes aus Nährsalzen entnehmen. Er glaubte zunächst, sie könnten den Stickstoff der Luft nutzen. ① ②

► **Ammoniak und einige Ammoniums Salze werden als Stickstoffdüngemittel verwendet.**

Technische Ammoniaksynthese

10

Physikalisch-chemische Grundlagen der Ammoniaksynthese

16

▼ **Vorsicht, Knallgasbildung!** Ein Gemisch aus drei Volumen Wasserstoff und einem Volumen Stickstoff wird über einen erwärmten Zerk-Eisen-Katalysator ($100\ldots 200^\circ\text{C}$) geleitet. Das Reaktionsprodukt strömt durch eine Indikatorlösung (Abb. 14).

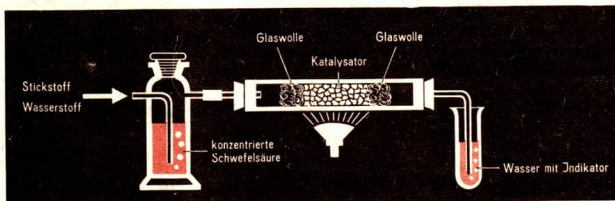


Abb. 14 Stickstoff und Wasserstoff reagieren miteinander unter Bildung von Ammoniak.

Aus der vielfältigen Verwendung von Ammoniak als Düngemittel und als Ausgangsstoff zur Herstellung vieler stickstoffhaltiger Verbindungen resultiert seine Bedeutung für die Volkswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik. Es ist notwendig, große Mengen Ammoniak herzustellen. Ammoniak wird im VEB Leuna-Werke

- ① Welche Bedeutung haben Stickstoffdünger für die Landwirtschaft?
- ② Erörtern Sie den ökonomischen Vorteil der Düngung mit flüssigem Ammoniak gegenüber der Düngung mit Ammoniumsalzen!
- ③ Erläutern und begründen Sie den Einfluß eines Katalysators auf die Einstellung des chemischen Gleichgewichts!
- ④ Begründen Sie die Zuordnung der Ammoniakbildung aus den Elementen zu den Redoxreaktionen!
- ⑤ Berechnen Sie, wieviel Kubikmeter Ammoniak (Normzustand) entstehen, wenn a) 140 m³, b) 210 m³, c) 910 m³ Stickstoff (Normzustand) umgesetzt werden!
Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen Volumen der Ausgangsstoffe und Volumen der Reaktionsprodukte!

„Walter Ulbricht“ und im VEB Petrolchemisches Kombinat Schwedt hergestellt. Die Deutsche Demokratische Republik ist mit führend bezüglich der Pro-Kopf-Produktion an Ammoniak im Weltmaßstab.

Grundlegende Reaktion ist die Bildung von Ammoniak aus den Elementen (Experiment 16). Dazu wird ein Gemisch aus Stickstoff und Wasserstoff im Volumenverhältnis 1 : 3 an einem geeigneten Katalysator zur Reaktion gebracht.



Bei dieser Synthese ändern sich die Oxydationszahlen der Elemente. Es liegt eine Redoxreaktion vor. ③ ④ ⑤

Die Reaktion von Stickstoff mit Wasserstoff führt zu einem chemischen Gleichgewicht. Die Lage des chemischen Gleichgewichts kann nach dem Prinzip von *Le Chatelier* verschoben werden. Die Hinreaktion zur Bildung von Ammoniak ist eine exotherme Reaktion (Abb. 15). Die exotherme Reaktion, das heißt hier die Bildung von Ammoniak, wird durch Temperaturniedrigung begünstigt. Wegen der Volumenänderung bei der Reaktion ist die Gleichgewichtslage auch stark druckabhängig. Druckerhöhung

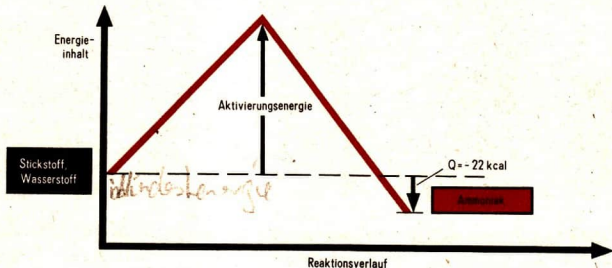


Abb. 15 Die Ammoniaksynthese ist eine exotherme Reaktion.

Tabelle 11 Einfluß von Druck und Temperatur auf die Lage des chemischen Gleichgewichts bei der Ammoniaksynthese
(Angabe der Konzentration in Prozent des Volumens)

Druck in at	100		300		600		1000	
Temperatur in °C	N ₂ ; H ₂	NH ₃	N ₂ ; H ₂	NH ₃	N ₂ ; H ₂	NH ₃	N ₂ ; H ₂	NH ₃
200	18,46	81,54	10,06	89,94	4,63	95,37	1,71	98,29
300	47,96	52,04	29,04	70,96	15,79	84,21	7,47	92,53
400	74,88	25,12	53,00	47,00	34,80	65,20	20,18	79,82
500	89,39	10,61	73,56	26,44	57,85	42,15	42,53	57,47
600	95,48	4,52	86,23	13,77	76,90	23,10	68,57	31,43
700	97,82	2,18	92,72	7,28	87,40	12,60	87,13	12,87

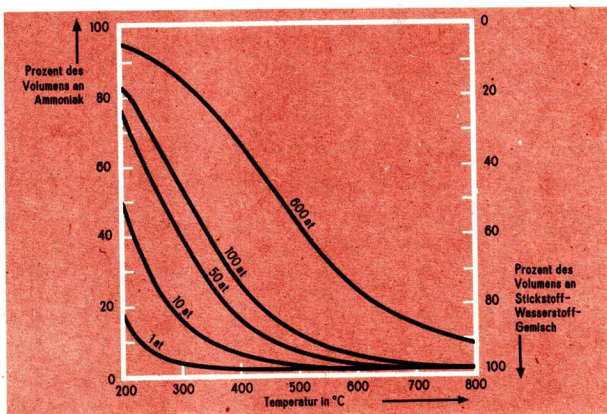


Abb. 16 Die Ammoniakausbeute ist von Druck und Temperatur abhängig.

begünstigt die unter Volumenabnahme verlaufende Reaktion. Das ist bei der Ammoniaksynthese die Ammoniakbildung. Die Ausbeute an Ammoniak ist somit abhängig von Temperatur und Druck (Tab. 11 und Abb. 16). ① ② ③ ④ ⑤

Ohne Katalysator stellt sich das chemische Gleichgewicht nur sehr langsam ein. Der Katalysator setzt die Aktivierungsenergie für die Hin- und die Rückreaktion herab. Er erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit beider Reaktionen und verkürzt damit die Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts (↗ Chemie in Übersichten,

- ① Erläutern Sie am Beispiel der Ammoniaksynthese $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$; $Q = -22 \text{ kcal}$ das Wesen des chemischen Gleichgewichts!
- ② Erörtern Sie den Einfluß folgender Faktoren auf die Lage des chemischen Gleichgewichts bei der Ammoniaksynthese!
a) Temperaturänderung, b) Druckänderung.
- ③ Ermitteln Sie an Hand der Tabelle 11 die theoretisch günstigsten Bedingungen für die Durchführung der Ammoniaksynthese!
- ④ Welchen Einfluß haben folgende Faktoren auf die Ammoniakausbeute?
a) Katalysator, b) Druckänderung, c) Temperaturänderung.
- ⑤ Bestimmen Sie an Hand der Abbildung 16 die Ausbeute an Ammoniak bei verschiedenem Druck und festgelegter Temperatur von 450°C !

S. 53 und S. 54). So läßt sich unter Verwendung eines Katalysators eine bestimmte Menge an Ammoniak in kürzerer Zeit herstellen als ohne Katalysator.

► **Die Ammoniaksynthese ist eine katalytische Redoxreaktion, bei der sich ein chemisches Gleichgewicht einstellt, dessen Lage von Temperatur und Druck abhängt.**

Grundlage für die technische Durchführung einer chemischen Reaktion ist die aus der Praxis gewonnene und in der Praxis überprüfte Theorie. Danach läßt sich Ammoniak unter Beteiligung eines Katalysators aus den Elementen darstellen. Günstige Reaktionsbedingungen sind niedrige Temperatur und hoher Druck. Dabei ist zu beachten, daß jeder Katalysator erst bei einer bestimmten Arbeitstemperatur voll wirksam wird.

Technische Durchführung der Ammoniaksynthese

Die für die Lage des chemischen Gleichgewichts günstigsten Bedingungen müssen unter ökonomischem Gesichtspunkt hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit überprüft werden. In der Technik wird als Kontakt ein eisenoxidhaltiger Mischkatalysator verwendet, der erst bei etwa 450°C voll wirksam ist. Damit ist gleichzeitig die Temperatur als Reaktionsbedingung festgelegt. Der Druck kann noch variiert werden. Ökonomische Gesichtspunkte, wie die Anforderungen an die Festigkeit des Materials der Rohrleitungen und des Reaktionsapparats, sind zu beachten. Deshalb ist es nicht möglich, den Druck unbegrenzt hoch zu wählen. So wird beispielsweise in der DDR mit einem Druck von $200 \dots 300 \text{ at}$ gearbeitet. Unter diesen Bedingungen wird theoretisch höchstens eine Ausbeute von $26,44\%$ des Volumens an Ammoniak erreicht. In der Praxis liegt sie jedoch noch darunter.

► **Die Ammoniaksynthese wird bei einer Temperatur von etwa 500°C und einem Druck von $200 \dots 300 \text{ at}$ unter Verwendung eines eisenoxidhaltigen Mischkatalysators durchgeführt.**

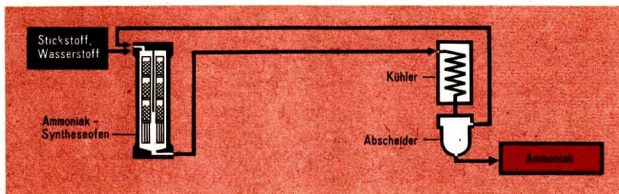


Abb. 17 Kreislaufprinzip bei der Ammoniaksynthese

Auf der Grundlage der für die technische Durchführung einer chemischen Reaktion festgelegten Bedingungen wird der Ablauf des Prozesses geplant. Die für die Ammoniaksynthese gewählten Bedingungen lassen in der Technik nur eine Ausbeute von 17% Ammoniak zu. Das aus dem Reaktionsapparat ausströmende Gasgemisch enthält noch 83% nicht umgesetzte Ausgangsstoffe. Sie werden nach der Abtrennung des Ammoniaks wieder dem Reaktionsapparat zugeführt. Diese Stoffführung wird als **Kreislaufprinzip** bezeichnet (Abb. 17). Das Gasgemisch, das den Reaktionsapparat verläßt, wird gekühlt. Da Ammoniak durch Abkühlung oder Druck im Gegensatz zu Wasserstoff und Stickstoff leicht verflüssigt werden kann, läßt es sich abscheiden. Wasserstoff und Stickstoff können erneut eingesetzt werden. Die Anwendung des Kreislaufprinzips ist von großer ökonomischer Bedeutung, da es so gelingt, die Ausgangsstoffe durch wiederholten Einsatz ohne hohe Verluste umzusetzen. ①

► **Beim Kreislaufprinzip werden nach Abtrennung des gewünschten Reaktionsproduktes nicht umgesetzte Ausgangsstoffe wiederholt dem Reaktionsapparat zugeführt. Das Kreislaufprinzip dient der optimalen Nutzung der Ausgangsstoffe, wenn bei einer Reaktion nur ein Teil der Ausgangsstoffe umgesetzt wird.**

Reaktionsbedingungen und ökonomische Überlegungen sind auch für den Bau der Reaktionsapparate entscheidend.

Der **Ammoniak-Syntheseofen** (Abb. 18 und 19) ist in seiner Grundform ein Rohr. Er ist meist 12 m hoch und hat einen Innendurchmesser von 0,8 m. Ein starkwandiger Stahlmantel und der kreisförmige Querschnitt tragen dem Hochdruck Rechnung. Der Kontakt ist auf Horden übereinander oder in Röhren angeordnet. Durch den Kontakt strömen Stickstoff und Wasserstoff im Gleichstrom von oben nach unten. ②

Die Temperatur wird bei der Ammoniaksynthese durch **Wärmeaustausch** geregelt. Da die Reaktion bei etwa 500 °C stattfindet, ist es erforderlich, die Ausgangsstoffe vorzuwärmen. Andererseits verläuft die Reaktion exotherm. Der Reaktionsapparat muß also im Interesse der Ammoniakausbeute ständig gekühlt werden. Um nicht Energie zum Vorwärmen der Ausgangsstoffe aufwenden und freiwerdende Energie abführen zu müssen, koppelt man das Vorwärmen der Ausgangsstoffe mit dem Abkühlen der Reaktionsprodukte durch Wärmeaustausch. Das in den Ofen eintretende Synthesegas hat eine Temperatur von etwa 50 °C. Es wird zwischen Stahl-

- ① Erläutern Sie an Hand der Abbildung 17 das Kreislaufprinzip bei der Ammoniaksynthese!
- ② Erläutern Sie an Hand der Abbildung 19 den Bau und die Arbeitsweise des Ammoniak-Synthesefens!

mantel und Kontaktbehälter von oben nach unten geführt (Abb. 19). Dabei erwärmt sich das Synthesegas, und der Kontaktbehälter wird gekühlt. Im **Wärmeaustauscher** (Abb. 19) ändert das warme Synthesegas die Strömungsrichtung. Es streicht an den Rohren, durch die das heiße, ammoniakhaltige Gasgemisch den Reaktionsraum verläßt, nach oben. Dadurch wird das Synthesegas weiter erhitzt. Es erreicht eine Temperatur von etwa 400 °C. Das Reaktionsprodukt wird hingegen abgekühlt. Das vorgewärmte Synthesegas wird schließlich im Inneren des Ofens durch ein Rohr nach oben geführt, um es dann durch den Kontakt nach unten zu leiten. Bei der Reaktion steigt die Temperatur des Gases an, und es gibt einen Teil seiner Wärme an das an der Außenwand des Kontaktbehälters entlangströmende kalte Synthesegas ab. Es wird im Wärmeaustauscher weiter abgekühlt und verläßt diesen mit einer Temperatur

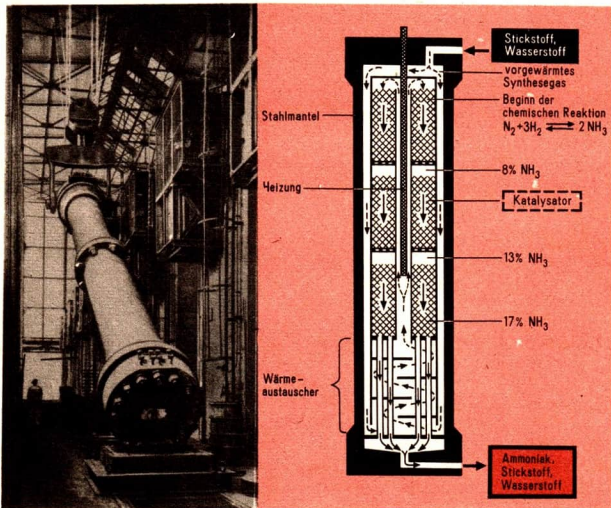


Abb. 18 Einbau eines Ammoniak-Synthesefens im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“

Abb. 19 Schematische Darstellung des Ammoniak-Synthesefens

von etwa 250 °C. Die Wirksamkeit des Wärmeaustauschers ist durch den stofflichen und energetischen Gegenstrom möglich. Die Temperatur im Reaktionsraum beträgt stets 400...500 °C. ①

Daneben kann die Temperatur im Ammoniak-Syntheseofen durch das Einblasen von kaltem Synthesegas geregelt werden. Die Ammoniak-Syntheseanlage arbeitet kontinuierlich.

► **Der Ammoniak-Syntheseofen ist der Reaktionsapparat zur technischen Durchführung der Ammoniaksynthese. Er arbeitet kontinuierlich. Die Temperatur im Ofen wird durch Wärmeaustausch geregelt.**

Die Entwicklung der Leuna-Werke

Die Ammoniaksynthese und die Entwicklung der Leuna-Werke sind eng miteinander verbunden. Während des ersten Weltkrieges begann die großtechnische Produktion von Ammoniak u. a. auch in Leuna als Grundlage für die Herstellung von Sprengstoffen. Das theoretische Fundament hierfür bildeten Untersuchungen von *Fritz Haber* über die Ammoniaksynthese und deren physikalisch-chemische Grundlagen. Für seine wissenschaftliche Leistung erhielt er 1918 den Nobelpreis. Sein Patent hatte sich 1908 sofort die Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF), ein Stammbetrieb des späteren IG-Farben-Konzerns, gesichert. Mit der Synthese von Ammoniak aus Luftstickstoff und Wasserstoff sicherte sich das deutsche Monopolkapital hohe Profite, indem es sich von Importen an Nitraten unabhängig machte und so gleichzeitig die Voraussetzungen für die Kriegsproduktion schuf. An der Nutzung seiner Erkenntnisse für die Profitinteressen des Monopolkapitals bis zum Krieg und Völkermord war *Fritz Haber* nicht unschuldig. So ist er einer der Urheber des Einsatzes von Giftgas im ersten Weltkrieg. Infolgedessen stand er auch auf der Kriegsverbrecherliste der Alliierten. *Haber* war ein Wissenschaftler, der seiner Verantwortung gegenüber der Menschheit nicht gerecht geworden ist.

② ③



Abb. 20
Bewaffnete Arbeiterabteilung
in einer
mitteldeutschen Ortschaft
bei den Märzkämpfen 1921

-
- ① Erklären Sie an Hand der Abbildung 19, Seite 37, den Wärmeaustausch bei der Ammoniaksynthese!
 - ② Zeigen Sie an der historischen Entwicklung der Ammoniaksynthese die Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse unter kapitalistischen Bedingungen zur Sicherung maximaler Profite der Monopole!
 - ③ Erläutern Sie am Beispiel *Fritz Habers* und anderer Wissenschaftler die gesellschaftliche Verantwortung des Wissenschaftlers!
 - ④ Würdigen Sie die historischen Verdienste der Arbeiter der Leuna-Werke für eine fortschrittliche Entwicklung in Deutschland! Nutzen Sie Ihre Kenntnisse aus dem Geschichtsunterricht über die Zeit nach der Novemberrevolution!
-

▶ **Jeder Wissenschaftler hat die Pflicht, sich für die Nutzung seiner Erkenntnisse im Interesse der Völker und des Friedens einzusetzen.**

Dem Treiben des deutschen Imperialismus setzte die deutsche Arbeiterklasse stets ihren Widerstand entgegen. Das gilt auch für die Arbeiter der Leuna-Werke. Sie führten machtvolle Streiks um die Verbesserung ihrer ökonomischen Lage sowie gegen den Einsatz chemischer Produkte zur Führung des imperialistischen Raubkrieges. Einen Höhepunkt in diesen Auseinandersetzungen stellten die Kampfaktionen im März 1921 dar (Abb. 20). ④

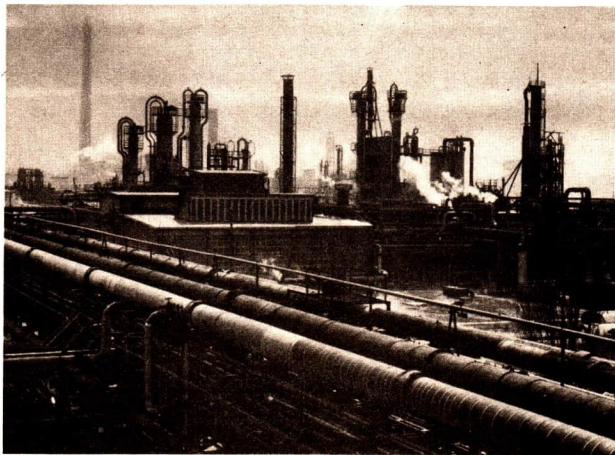


Abb. 21 Teilansicht des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“

Während des zweiten Weltkrieges waren die Leuna-Werke erneut ein wichtiger Rüstungsbetrieb des deutschen Imperialismus.

Nach der Zerschlagung des Faschismus übernahm auf dem Territorium der Deutschen Demokratischen Republik die Arbeiterklasse die Macht. Die Leunaarbeiter begannen mit Hilfe sowjetischer Freunde den Wiederaufbau der zerstörten Werke. Der Betrieb wurde Volkseigentum und trägt heute den verpflichtenden Namen VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ (Abb. 21).

Die Überführung der Werke in Volkseigentum sicherte gleichzeitig auch die Produktion von Ammoniak für friedliche Zwecke, zum Nutzen des Volkes in Industrie und Landwirtschaft. Erst die Arbeiterklasse vermochte unter Führung ihrer Partei die wissenschaftlichen Leistungen *Habers* im Interesse der Menschheit voll zu nutzen. Die Arbeiter des VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ werden deshalb auch ihren Betrieb stets zu schützen wissen (Abb. 22). Sie setzen damit die revolutionären Traditionen der Leunaarbeiter fort. Gegenwärtig unternehmen die Beschäftigten im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ alle Anstrengungen, um die Position der Deutschen Demokratischen Republik hinsichtlich der Chemieproduktion im Weltmaßstab weiter zu festigen und durch die Stärkung unserer Republik zum Sieg des Sozialismus über den Kapitalismus beizutragen. ①

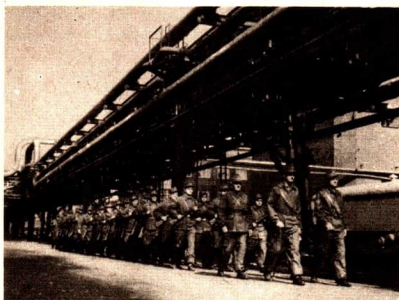


Abb. 22 Kampfgruppen
der Leunaarbeiter

▶ **Die sozialistische Gesellschaftsordnung mit dem Volkseigentum an Produktionsmitteln sichert die friedliche Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse und die Meisterung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts im Interesse der Völker.**

Unter den Bedingungen des Sozialismus in der Deutschen Demokratischen Republik und durch die Zusammenarbeit mit der Sowjetunion ergibt sich für die Weiterentwicklung der Ammoniaksynthese eine ökonomisch vorteilhafte Perspektive. In der Vergangenheit wurden Stickstoff und Wasserstoff über Luftgas und Wassergas aus Kohle, Luft und Wasser gewonnen. Die Reaktionsprodukte dieser Verfahren sind stark verunreinigt. Es bedarf umfangreicher Maßnahmen zur Reinigung des Synthese-

- ① Weisen Sie nach, daß erst unter den Bedingungen des Sozialismus die wissenschaftlichen Leistungen *Habers* bei der Entwicklung der Ammoniaksynthese zum Nutzen des gesamten Volkes wirksam werden konnten!
- ② Erörtern Sie weitere Vorteile des Rohstoffs Erdöl im Vergleich zu Kohle!

gases. Mit der weitgehenden Umstellung der chemischen Produktion auf Erdölbasis wird auch in der Deutschen Demokratischen Republik in zunehmendem Maße Erdöl statt Kohle zur Herstellung des Synthesegases eingesetzt. Umfangreiche Reinigungsverfahren werden so überflüssig. ②

Oxide des Stickstoffs

11

Vom Stickstoff sind Oxide aller Oxydationszahlen dieses Elementes von +1 bis +5 bekannt. Wichtige Oxide des Stickstoffs sind Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid NO₂ (Tab. 12). Die Bindungen zwischen den Stickstoffatomen und den Sauerstoffatomen in den Molekülen der Stickstoffoxide sind Atombindungen mit teilweise Ionencharakter.

Tabelle 12 Einige Oxide des Stickstoffs

Name	Formel	Oxydationszahl des Stickstoffs	Wertigkeit des Stickstoffs gegenüber Sauerstoff
Stickstoffmonoxid	NO	+2	II
Stickstoffdioxid	NO ₂	+4	IV

Stickstoffmonoxid

Ammoniak wird im Gemisch mit Luftsauerstoff über einen erhitzten Katalysator geleitet. Durch Sauerstoffüberschuß wird das entstehende Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxydiert. Stickstoffdioxid wird in Wasser eingeleitet. Die entstehende Lösung wird auf saure Reaktion geprüft (Abb. 23, S. 42).

Stickstoffmonoxid wird zu Stickstoffdioxid oxydiert.

Stickstoffmonoxid NO (Abb. 24) entsteht bei der Reaktion von Ammoniak mit Sauerstoff an einem geeigneten Katalysator. Der Katalysator beeinflusst die Aktivie-



Abb. 24 Modell eines Stickstoffmonoxidmoleküls

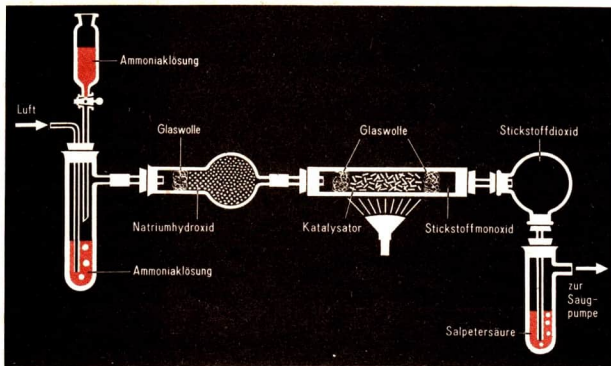


Abb. 23 Ammoniak wird am Katalysator zu Stickstoffmonoxid oxydiert.

rungsenergie so, daß Ammoniak zu Stickstoffmonoxid und Wasser oxydiert wird. Die Reaktion verläuft exotherm, dadurch glüht der Katalysator bei der Reaktion nach anfänglichem Erhitzen weiter (Experiment 17). ① ② ③



Diese Reaktion ist eine Redoxreaktion. Sie wird technisch genutzt. Ihre Entwicklung ist mit dem Namen des deutschen Chemikers *Wilhelm Ostwald* verbunden (Abb. 25). Stickstoffmonoxid ist ein farbloses Gas. Es ist giftig und löst sich kaum in Wasser. An der Luft wird es leicht zu Stickstoffdioxid oxydiert (Experiment 18). ④ ⑤



Abb. 25 *Wilhelm Ostwald* (1853 bis 1932) leistete um die Jahrhundertwende Hervorragendes für die Entwicklung der Chemie. Er arbeitete vor allem auf dem Gebiete der physikalischen Chemie. Besonders widmete er sich der Untersuchung der Katalyse und dabei auch der katalytischen Oxydation von Ammoniak. 1909 erhielt er den Nobelpreis für Chemie. *Ostwald* war Atheist und entschiedener Gegner der Bevormundung der Wissenschaft durch die Kirche. In seinen teilweise materialistischen philosophischen Auffassungen war er jedoch nicht konsequent und kein Marxist, so daß ihn *Lenin* als „großen Chemiker aber kleinen Philosophen“ bezeichnete.

- ① Erläutern Sie die Rolle eines Katalysators bei einer chemischen Reaktion!
- ② Erklären Sie das Aufglühen des Katalysators bei der Ammoniakoxydation ohne Energiezufuhr von außen!
- ③ Berechnen Sie, wieviel Tonnen Ammoniak umgesetzt werden müssen, um a) 56 000 m³, b) 168 000 m³, c) 504 000 m³ Stickstoffmonoxid (Normzustand) herzustellen! Vollständige Umsetzung wird angenommen. Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen Masse des Ausgangsstoffes und Volumen des Reaktionsprodukts!
- ④ Bestimmen Sie die Art der chemischen Reaktion, der die Bildung von Stickstoffdioxid aus Stickstoffmonoxid zuzuordnen ist!
- ⑤ Erläutern Sie am Beispiel der Reaktion des Stickstoffmonoxids mit Sauerstoff das Wesen des chemischen Gleichgewichts!
- ⑥ Vergleichen Sie Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid hinsichtlich Oxydationszahl des Stickstoffs, Aggregatzustand, Farbe, Geruch, Giftigkeit und Löslichkeit in Wasser!
- ⑦ Vergleichen Sie die Oxydationszahl des Stickstoffs in Stickstoffdioxid mit der in Salpetersäure!
- ⑧ Begründen Sie, daß die Reaktion von Stickstoffdioxid mit Sauerstoff und Wasser $4 \text{ NO}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 4 \text{ HNO}_3$ eine Redoxreaktion ist!

► **Stickstoffmonoxid kann durch katalytische Oxydation von Ammoniak hergestellt werden.**

Stickstoffdioxid

Stickstoffdioxid NO₂ (Abb. 26) entsteht durch Oxydation von Stickstoffmonoxid. Die Reaktion verläuft ohne Energiezufuhr. Viele Teilchen der Ausgangsstoffe besitzen bereits unter den Bedingungen des Normzustandes die für das Zustandekommen der Reaktion erforderliche Mindestenergie. Bei der Reaktion stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein, das unter 200 °C nahezu vollständig auf der Seite des Stickstoffdioxids liegt. Stickstoffdioxid ist ein braunes, giftiges Gas, das sich leicht in Wasser löst. ⑥

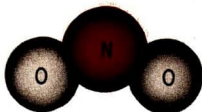


Abb. 26 Modell eines Stickstoffdioxidmoleküls

► **Stickstoffdioxid ist ein Oxydationsprodukt des Stickstoffmonoxids.**

Als Nichtmetalloxid reagiert Stickstoffdioxid mit Wasser. Dabei entstehen sauerstoffhaltige Säuren. Verläuft die Reaktion bei Zufuhr von Sauerstoff, dann entsteht nur Salpetersäure (Experiment 17). ⑦ ⑧



Bei der Bildung von Stickstoffmonoxid aus Ammoniak und von Stickstoffdioxid aus Stickstoffmonoxid sowie bei der Bildung von Salpetersäure aus Stickstoffdioxid, Sauerstoff und Wasser ändert sich jeweils die Oxydationszahl des Stickstoffs. Bei den Reaktionen, die von Ammoniak zur Salpetersäure führen, liegt eine Folge von Redoxreaktionen vor. ①

Die Oxydationszahl des Stickstoffs nimmt von Stickstoffmonoxid über Stickstoffdioxid bis zu Salpetersäure zu. Die Bildung von Salpetersäure aus Stickstoffdioxid, Sauerstoff und Wasser ist eine Redoxreaktion.

Salpetersäure

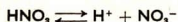
12

Vorsicht! Konzentrierte Salpetersäure wirkt auf Kupfer ein.

Vorsicht! Ein Milliliter verdünnte Salpetersäure wird im Reagenzglas mit Zink oder Magnesium zur Reaktion gebracht.

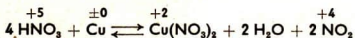
Vorsicht! Ein Milliliter verdünnte Salpetersäure wird im Reagenzglas mit wenigen Körnchen Kupfer(II)-oxid zur Reaktion gebracht.

In der Salpetersäure HNO_3 hat der Stickstoff die Oxydationszahl +5. In wäßriger Lösung liegt Salpetersäure dissoziiert vor.

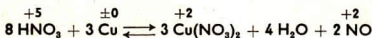


Die Salpetersäure wird in unterschiedlicher Konzentration benutzt. Die Konzentration der Masse an Salpetersäure HNO_3 in der Lösung wird in % der Masse der Lösung angegeben. So gilt Salpetersäure, deren Konzentration an HNO_3 weniger als 25% der Masse der Lösung beträgt, als **verdünnte Salpetersäure**. Handelsübliche verdünnte Salpetersäure enthält etwa 12,5% der Masse der Lösung HNO_3 . Beträgt der Masseanteil HNO_3 mehr als 25% der Masse der Lösung, so wird sie als **konzentrierte Salpetersäure** bezeichnet. ②

Konzentrierte Salpetersäure wird bei der Reaktion mit Metallen, wie Kupfer, zersetzt. Dabei entstehen eine Nitratlösung und Stickstoffdioxid, wenn die Konzentration der Säure mehr als 60% der Masse der Lösung beträgt (Experiment 19).



Bei geringerer Konzentration der Salpetersäure entsteht vorwiegend Stickstoffmonoxid.

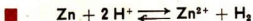


In beiden Fällen zeigen die Oxydationszahländerungen das Vorliegen von Redoxreaktionen an. Dabei wirkt die Salpetersäure als Oxydationsmittel. Salpetersäure ist giftig. Bei einer Konzentration von mehr als 15% der Masse der Lösung an HNO_3 gehört sie zu den Giften der Abteilung 3. Außerdem wirkt sie stark ätzend. Sie zerstört Eiweiß, wobei die Xanthoproteinreaktion zu beobachten ist. ③ ④ ⑤

- ① Vergleichen Sie die Oxydationszahlen des Stickstoffs in Ammoniak, in Stickstoffmonoxid, in Stickstoffdioxid und in Salpetersäure miteinander!
- ② a) Erläutern Sie den Unterschied zwischen einer konzentrierten und einer verdünnten Säure!
b) Beschreiben Sie, wie konzentrierte Säuren verdünnt werden müssen!
- ③ Bestimmen Sie, welche Art chemischer Reaktionen bei der Reaktion von konzentrierter Salpetersäure mit Kupfer vorliegt!
- ④ Erläutern Sie den Begriff Oxydationsmittel!
- ⑤ Berechnen Sie, welche Volumen Stickstoffdioxid (Normzustand) bei der Zersetzung von a) 126 g, b) 315 g, c) 945 g Salpetersäure durch Reaktion mit Kupfer frei werden! Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen Masse des Ausgangsstoffs und Volumen des Reaktionsprodukts!
- ⑥ Begründen Sie das Vorliegen einer Redoxreaktion bei der Reaktion von verdünnter Salpetersäure mit Zink!
- ⑦ Begründen Sie, daß die Reaktion von Salpetersäure mit Kupfer(II)-oxid eine Reaktion mit Protonenübergang ist!
- ⑧ Erläutern Sie das Wesen der Neutralisation am Beispiel der Reaktion von Salpetersäure mit Natriumhydroxidlösung!
- ⑨ Begründen Sie, daß die Neutralisation eine Reaktion mit Protonenübergang ist!

► Konzentrierte Salpetersäure wirkt stark oxydierend.

Verdünnte Salpetersäure zeigt alle bekannten Reaktionen verdünnter Säuren (Chemie in Übersichten, S. 83). Den Überschuß an Wasserstoff-Ionen (Protonen) in der Lösung zeigen Indikatoren durch Farbänderung an. Verdünnte Salpetersäure reagiert mit unedlen Metallen unter Wasserstoffentwicklung (Experiment 20). Es entsteht eine Nitratlösung. **Nitrate** sind die Salze der Salpetersäure.



Diese Reaktion ist eine Redoxreaktion. ⑥

Mit Metalloxiden reagiert verdünnte Salpetersäure ebenfalls unter Bildung entsprechender Nitratlösungen (Experiment 21). Dabei findet ein Protonenübergang statt. ⑦



Verdünnte Salpetersäure reagiert auch mit Hydroxiden oder Hydroxidlösungen.



Die Reaktion von Natriumhydroxidlösung mit verdünnter Salpetersäure ist eine Neutralisation. Dabei vereinigen sich die Wasserstoff-Ionen (Protonen) der Säure mit den Hydroxid-Ionen der Base zu Wasser. Die Neutralisationsreaktionen werden deshalb den Reaktionen mit Protonenübergang zugeordnet. ⑧ ⑨

► Verdünnte Salpetersäure reagiert mit unedlen Metallen in Redoxreaktionen. Basen können sie neutralisieren, wobei Protonenübergänge stattfinden.



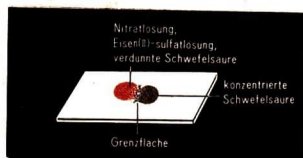
Abb. 27 Salpetersäure wird vielseitig verwendet.

Salpetersäure wird zur Herstellung zahlreicher stickstoffhaltiger Verbindungen benötigt (Abb. 27). Daher haben die Arbeiten Ostwalds zur Oxydation von Ammoniak große Bedeutung erlangt. Konzentrierte und rauchende Salpetersäure dienen auch zum Trennen edler von weniger edlen Metallen sowie als Oxydationsmittel in Raketentriebwerken und zur Herstellung von Sprengstoffen. ① ② ③

Nitrate

13

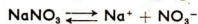
Ein Tropfen einer Lösung, die Nitrat-Ionen enthält, wird auf der Tüpfelplatte mit je einem Tropfen frisch bereiteter gesättigter Eisen(II)-sulfatlösung und verdünnter Schwefelsäure versetzt. Unmittelbar neben das Gemisch wird ein Tropfen konzentrierte Schwefelsäure gegeben (Abb. 28). Braunfärbung an der Grenzfläche zeigt das Vorliegen von Nitrat-Ionen an (↗ ▼ 2, S. 110).



Vorsicht! Natriumnitrat oder Kaliumnitrat wird kräftig erhitzt. In den Gasraum über der Schmelze wird ein glimmender Holzspan gehalten.

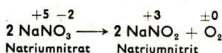
Abb. 28 Nachweisen von Nitrat-Ionen auf der Tüpfelplatte

Nitrate sind die Salze der Salpetersäure. Sie sind kristalline Verbindungen und aus Kationen (Metall- oder Ammonium-Ionen) und Nitrat-Ionen zusammengesetzt. Nitrate sind im allgemeinen leicht in Wasser löslich. In wäßriger Lösung liegen ihre Ionen frei beweglich vor. ④ ⑤ ⑥



Nitrat-Ionen werden durch eine Farbreaktion nachgewiesen (Experiment 22 und ▼ 2, S. 110).

Wird Natrium- oder Kaliumnitrat erhitzt, so gibt es Sauerstoff ab (Experiment 23). Neben Sauerstoff entsteht dabei das entsprechende **Nitrit**. Diese Reaktion ist eine Redoxreaktion. Nitrite sind die Salze der **salpetrigen Säure** HNO_2 . Sie ist sauerstoffärmer als die Salpetersäure. ⑦ ⑧ ⑨



- ① Warum ist es notwendig, Salpetersäure in großer Masse technisch herzustellen?
- ② Inwiefern ist Ammoniak als Ausgangsstoff zur technischen Herstellung von Salpetersäure geeignet?
- ③ Weisen Sie nach, daß das Interesse des deutschen Monopolkapitals an der Ammoniaksynthese und an der Ammoniakoxydation unter anderem durch die mögliche militärische Nutzung bestimmt wurde!
- ④ a) Erläutern Sie Möglichkeiten zur Bildung von Nitraten!
b) Geben Sie Beispiele zu a) mit den entsprechenden Reaktionsgleichungen an!
c) Bestimmen Sie zu a) jeweils, welche Art chemischer Reaktionen vorliegt!
- ⑤ Erläutern Sie den Begriff Löslichkeit! Erörtern Sie dabei auch die Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit!
- ⑥ Entwickeln Sie die Gleichungen für die Dissoziation von Kaliumnitrat, Kalziumnitrat, Blei(II)-nitrat und Aluminiumnitrat!
- ⑦ Ermitteln Sie jeweils die Oxydationszahl des Stickstoffs in Nitraten und in Nitriten!
- ⑧ Welche Art chemischer Reaktionen liegt bei der thermischen Zersetzung von Nitraten vor?
- ⑨ Berechnen Sie, wieviel Gramm Natriumnitrat man theoretisch zersetzen müßte, um a) 1,12 l, b) 3,36 l, c) 56 l Sauerstoff (Normzustand) darzustellen!

► **Salpetrige Säure ist eine sauerstoffhaltige Säure des Stickstoffs, in der dieser die Oxydationszahl +3 hat. Die Salze dieser Säure heißen Nitrite.**

Kalium- und Natriumnitrat sind Oxydationsmittel.

Die thermische Spaltung von Nitraten unter Sauerstoffentwicklung wird beispielsweise in Feuerwerkskörpern genutzt. Von großer Bedeutung sind die Nitrate als Stickstoffdüngemittel besonders für die Erhöhung der Blattmasse. Die folgenden Dünger sind oder enthalten Nitrate:

Kalkammonsalpeter (NH_4NO_3 ; CaCO_3),

Natronsalpeter (NaNO_3),

Kaliammonsalpeter (NH_4NO_3 ; KCl u. a.),

Ammonsulfatsalpeter (NH_4NO_3 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) und

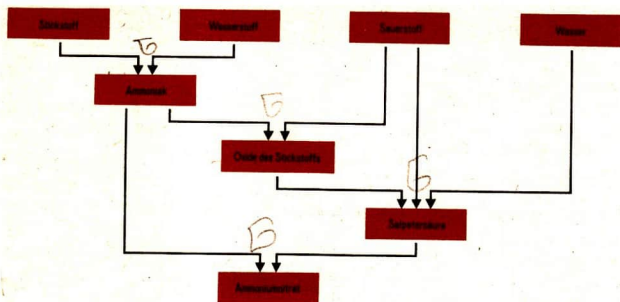
Pikaphos (KNO_3 ; NH_4Cl ; CaHPO_4 ; Ammoniumphosphate).

In zunehmendem Maße werden Mehrnährstoffdünger hergestellt und verwendet.

Wiederholung und Übung

14

Zwischen einzelnen Stickstoffverbindungen bestehen Zusammenhänge. So können einige aus anderen dargestellt werden, und einige können miteinander reagieren. Die folgende Übersicht zeigt am Beispiel der Bildung von Ammoniumnitrat, einem wichtigen Stickstoffdünger, diesen Zusammenhang.



1. Erläutern Sie die Übersicht zur Bildung von Ammoniumnitrat!
2. Entwickeln Sie zu den in der Übersicht angegebenen Teilschritten die Reaktionsgleichungen!
3. Bestimmen Sie für die in der Übersicht angegebenen Teilschritte jeweils, welche Art chemischer Reaktionen vorliegt!
4. Geben Sie die Ihnen bekannten Arten chemischer Reaktionen mit je einem Beispiel an!
5. Erläutern Sie am Beispiel der Ammoniaksynthese das Wesen des chemischen Gleichgewichts!
 6. a) Nennen Sie die Bedingungen, die die Einstellung eines chemischen Gleichgewichts beeinflussen!
 - b) Erläutern Sie Ihre unter a) gemachten Aussagen am Beispiel der Ammoniaksynthese!
 7. a) Geben Sie die Bedingungen an, die die Lage eines chemischen Gleichgewichts beeinflussen!
 - b) Erläutern Sie Ihre unter a) gemachten Angaben am Beispiel der Ammoniaksynthese!
8. Erläutern Sie die Rolle eines Katalysators am Beispiel der Ammoniaksynthese!
9. Welche Bedingungen sichern eine hohe Ausbeute bei der Ammoniaksynthese?
10. Berechnen Sie, wieviel Kubikmeter Wasserstoff (Normzustand) theoretisch umgesetzt werden, wenn a) 170 t, b) 255 t, c) 765 t Ammoniak entstehen!
Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen Volumen des Ausgangsstoffs und Masse des Reaktionsprodukts!
11. Wieviel Tonnen Ammoniak müssen umgesetzt werden, um a) 142,5 t, b) 570 t, c) 712,5 t Stickstoffmonoxid herzustellen?
Nutzen Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen der Masse des Ausgangsstoffs und der Masse des Reaktionsprodukts!
12. Wieviel Tonnen Ammoniak müssen umgesetzt werden, wenn durch Oxydation Stickstoffdioxid hergestellt wird und durch Einleiten des Stickstoffdioxids in Wasser 126 t 50%iger Salpetersäure entstehen?

Schwefel als Element der VI. Hauptgruppe

Elemente der VI. Hauptgruppe

15

Die Elemente der VI. Hauptgruppe des Periodensystems sind **Sauerstoff O**, **Schwefel S**, **Selen Se**, **Tellur Te** und **Polonium Po** (Abb. 29). Die Atome dieser Elemente haben 6 Außenelektronen. Mit Ausnahme des Sauerstoffs ist die höchstmögliche Wertigkeit dieser Elemente gegenüber Sauerstoff daher VI. Ihre Oxydationszahlen in Verbindungen mit Sauerstoff betragen also maximal +6. Alle Elemente dieser Hauptgruppe sind gegenüber Wasserstoff zweiwertig. Somit treten sie in Wasserstoffverbindungen mit der Oxydationszahl -2 auf.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
					8 O		
					16 S		
					34 Se		
					52 Te		
					84 Po		

Abb. 29
Stellung der Elemente
der VI. Hauptgruppe
im Periodensystem
der Elemente

Auf Grund der unterschiedlichen Anzahl Elektronenschalen in den Atomhüllen besitzen die Elemente der VI. Hauptgruppe unterschiedliche, sich gesetzmäßig ändernde Eigenschaften. So sind zum Beispiel Sauerstoff und Schwefel Nichtmetalle. Sie bilden mit anderen Nichtmetallen solche Verbindungen, in denen vorwiegend Atombindungen vorliegen. Dagegen haben Selen und Tellur bereits einige für Metalle typische Eigenschaften. Polonium ist ein Metall. Mit Sauerstoff verbinden sich die anderen Elemente der VI. Hauptgruppe zu Oxiden. Die Oxide des Schwefels und des Selen

zeigen in wässriger Lösung saure Reaktion. Das Tellur(IV)-oxid besitzt amphoteren Charakter. Das Polonium(IV)-oxid reagiert in wässriger Lösung schwach basisch. In Tabelle 13 sind einige Eigenschaften der Elemente der VI. Hauptgruppe zusammengestellt.

① ② ③ ④ ⑤

Tabelle 13 Eigenschaften der Elemente der VI. Hauptgruppe

Element Symbol	Sauerstoff O	Schwefel S	Selen Se	Tellur Te	Polonium Po
relative Atom- masse	15,999	32,06	78,96	127,60	209
Elektro- negativitätswert	3,5	2,5	2,4	2,1	2,0
Dichte in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	0,001426	2,06	4,81	6,25	9,32
Aggregatzustand bei 20 °C	gasförmig	fest	fest	fest	fest
Oxydationszahlen	-2	+4; +6 -2	+4; +6 -2	+4; +6 -2	+4 -2
Formeln der Oxide		SO ₂ SO ₃	SeO ₂ SeO ₃	TeO ₂ TeO ₃	PoO ₂
saurer Charakter der Oxide	zunehmend ←—————→				
basischer Charak- ter der Oxide	zunehmend —————→				
Nichtmetall- charakter der Elemente	zunehmend ←—————				
Metallcharakter der Elemente	zunehmend —————→				

► Sauerstoff O, Schwefel S, Selen Se, Tellur Te und Polonium Po sind die Elemente der VI. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente.

- ① Wieviel Außenelektronen und wieviel Elektronenschalen besitzen die Atome der Elemente der VI. Hauptgruppe?
- ② Erläutern Sie das Zustandekommen stabiler Achterschalen in den Atomen der Elemente der VI. Hauptgruppe!
- ③ Welche gemeinsamen Eigenschaften besitzen die Elemente der VI. Hauptgruppe?
- ④ Wie ändern sich die folgenden Eigenschaften der Elemente innerhalb der VI. Hauptgruppe mit steigender Ordnungszahl?
a) relative Atommasse und Dichte, b) Nichtmetall- und Metalleigenschaften, c) saurer und basischer Charakter der Oxide, d) Elektronegativitätswerte.
- ⑤ Erklären Sie am Beispiel des Schwefels a) den Zusammenhang zwischen Anzahl der Außenelektronen in den Atomen der Elemente, Wertigkeit der Elemente gegenüber Wasserstoff und Oxydationszahl -2 ; b) den Zusammenhang zwischen Anzahl der Außenelektronen in den Atomen der Elemente, höchstmöglicher Wertigkeit der Elemente gegenüber Sauerstoff und Oxydationszahl $+6$!
- ⑥ Erklären Sie am Beispiel des Schwefels den Begriff Isotop!
- ⑦ Welche Möglichkeiten bestehen, damit das Schwefelatom eine Achterschale erreicht? Geben Sie dazu die entsprechenden Oxydationszahlen des Schwefels an!
- ⑧ Vergleichen Sie die Bindungsverhältnisse in den Molekülen von Sauerstoff und Schwefel!
- ⑨ Vergleichen Sie die Energieniveauschemas der Atomhülle von Sauerstoff- und Schwefelatomen (↗ „Chemie in Übersichten“, S. 20)!

Schwefel

16

Schwefel hat die Kernladungszahl 16. Die Atome des Schwefels haben im Atomkern 16 Protonen und unterschiedliche Anzahl Neutronen sowie in der Atomhülle 16 Elektronen (Abb. 30). Vom Schwefel existieren folgende wichtige Isotope $^{32}_{16}\text{S}$, $^{34}_{16}\text{S}$ und $^{33}_{16}\text{S}$. ⑥

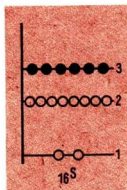
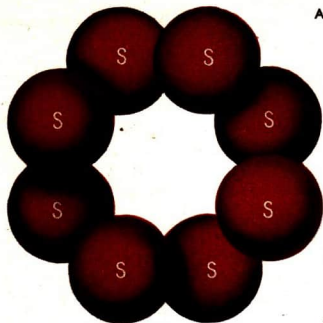


Abb. 30 Energieniveauschema der Atomhülle des Schwefelatoms

Der feste Schwefel besteht aus ringförmigen Schwefelmolekülen, die aus jeweils acht Schwefelatomen aufgebaut sind (Abb. 31, S. 52). Diese Moleküle enthalten Atombindungen. ⑦ ⑧ ⑨



Schwefel kristallisiert im Normzustand und ist von gelber Farbe. Er ist geruchlos und spröde. Schwefel löst sich nicht in Wasser. Schwefel reagiert bei Wärmezufuhr mit Metallen (↗ S. 52), mit Wasserstoff (↗ S. 55) und mit Sauerstoff (↗ S. 57) zu entsprechenden Verbindungen. ①

► **Schwefel ist ein gelbes, sprödes Nichtmetall, das mit Metallen, mit Wasserstoff und mit Sauerstoff reagiert.**

Sulfide

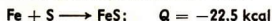
17

24

▼ Ein Gemisch von Schwefel und Eisenpulver wird mit einem glühenden Eisendraht zur Reaktion gebracht.

Schwefel reagiert mit vielen Metallen zu **Sulfiden** (Experiment 24). Diese Sulfide bestehen aus Metall-Ionen und Sulfid-Ionen. Sie sind feste, kristallisierte Verbindungen. ② Die Bildung von Sulfiden ist meist eine exotherme Reaktion (Abb. 32).

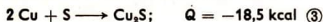
■ Eisen reagiert bei Zufuhr von Aktivierungsenergie mit Schwefel zu Eisen(II)-sulfid, wobei Reaktionswärme frei wird:



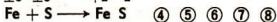
Zink reagiert mit Schwefel zu Zinksulfid:



Kupfer bildet mit Schwefel Kupfer(I)-sulfid:



Die Bildung eines Sulfids aus einem Metall und Schwefel ist eine Redoxreaktion.



- ① Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Reaktionen des Schwefels mit a) Eisen, b) Wasserstoff, c) Sauerstoff!
- ② Schätzen Sie in Kaliumsulfid die Bindungsverhältnisse ab!
- ③ Erklären Sie an Hand des Diagramms (Abb. 32) das Wesen einer exothermen Reaktion! Erläutern Sie dabei die Begriffe Aktivierungsenergie und Reaktionswärme!
- ④ Bestimmen Sie die Oxydationszahl des Schwefels in Eisen(II)-sulfid, Kupfer(I)-sulfid, Blei(II)-sulfid!
- ⑤ Erklären Sie die Bildung von Blei(II)-sulfid aus den Elementen als Redoxreaktion!
- ⑥ Vergleichen Sie an Beispielen die Reaktionen zur Bildung von Metallsulfiden, Metalloxiden und Metallchloriden durch Synthese aus den Elementen unter dem Gesichtspunkt der Änderung der Oxydationszahlen!
- ⑦ Berechnen Sie das Masseverhältnis, in dem Eisen und Schwefel vorliegen muß, wenn vollständige chemische Reaktion erreicht werden soll!
- ⑧ Ermitteln Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen den Massen des Eisens und des Schwefels bei der Bildung von Eisen(II)-sulfid! Stellen Sie die entsprechende Funktion in einem Koordinatensystem grafisch dar!

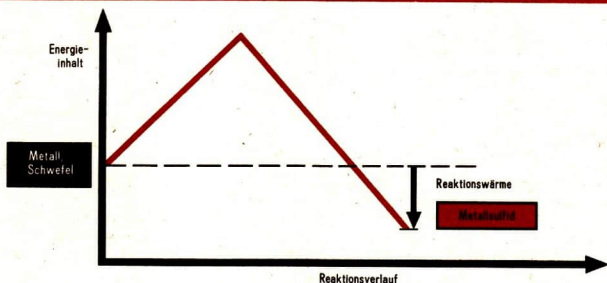


Abb. 32 Abhängigkeit des Energieinhalts des Systems vom zeitlichen Reaktionsverlauf bei der exothermen Sulfidbildung aus den Elementen

► **Viele Sulfide sind kristallisierte Verbindungen, die aus Metall-Ionen und Sulfid-Ionen bestehen. Die Bildung von Sulfiden aus vielen Metallen und Schwefel ist eine exotherme Redoxreaktion.**

Pyrit FeS_2 ist ein Bestandteil vieler sulfidischer Erze. Sulfidische Erze sind in der Natur vorkommende Stoffgemische, die Metalle oder Metallverbindungen in solcher Konzentration enthalten, daß die technische Herstellung des Metalls mit volkswirtschaftlichem Nutzen möglich ist. Pyrit wird darüber hinaus vor allem als ein Ausgangsstoff für die Herstellung von Schwefeldioxid (→ S. 65) verwendet.

- 25 Eisen(II)-sulfid wird mit Salzsäure zur Reaktion gebracht.
- 26 Schwefelwasserstoff wird in Wasser geleitet. Die wäßrige Lösung wird auf Wasserstoff-Ionen geprüft.
- 27 Wäßrige Lösungen von Eisen(II)-, Blei(II)- und Kupfer(II)-Salzen werden jeweils mit Schwefelwasserstoffwasser versetzt.
- 28 Ein Tropfen einer Lösung, die Sulfid-Ionen enthält, wird auf einen Papierstreifen, der mit Blei(II)-salzlösung getränkt ist, gebracht.

Schwefelwasserstoff H_2S ist eine Verbindung, in der in den Molekülen zwischen Schwefel- und Wasserstoffatomen Atombindungen mit teilweisem Ionencharakter bestehen. Ebenso wie die Moleküle des Wassers und des Chlorwasserstoffs sind die Schwefelwasserstoffmoleküle Dipole (Abb. 33).

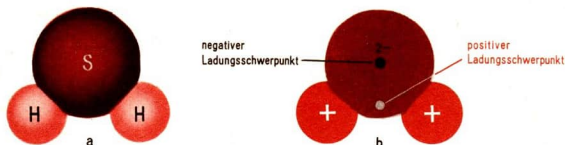


Abb. 33 Modell eines Schwefelwasserstoffmoleküls
a) Anordnung der Atome b) Verteilung der Ladungsschwerpunkte

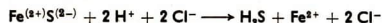
Die Oxydationszahl des Schwefels im Schwefelwasserstoff beträgt -2 . ① Schwefelwasserstoff ist ein unter den Bedingungen des Normzustandes unangenehm riechendes, farbloses Gas. Es entsteht in der Natur beim biologischen Abbau schwefelhaltiger organischer Verbindungen. Viele Eiweiße enthalten außer Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff auch Schwefel. So bildet sich Schwefelwasserstoff beim Stoffwechsel niederer und höherer Lebewesen, zum Beispiel bei der Verdauung sowie der Fäulnis von Eiweißen. Fäulnis ist die Eiweißgärung unter Abschluß von Sauerstoff. Durch Abbildung 34 wird eine Übersicht über die aus den Eiweißbestandteilen beim biologischen Abbau entstehenden Eiweißzersetzungsprodukte gegeben.

Eiweißbestandteile	C	H	O	N	S
Eiweißzersetzungsprodukte	CO_2	H_2O	NH_3	N_2	H_2S

Abb. 34 Eiweißbestandteile und Eiweißzersetzungsprodukte

- ① Beurteilen Sie die Bindungsverhältnisse im Schwefelwasserstoffmolekül!
- ② Vergleichen Sie die Reaktion von Sulfiden mit Säuren unter Bildung von Schwefelwasserstoff mit der Reaktion von Ammoniumverbindungen mit Basen unter Bildung von Ammoniak hinsichtlich des Protonenübergangs!
- ③ Vergleichen Sie die Reaktion zur Bildung von Eisen(II)-sulfid aus Eisen und Schwefel mit der Reaktion zur Bildung von Schwefelwasserstoff aus Eisen(II)-sulfid und Salzsäure hinsichtlich der Veränderung der Oxydationszahl und des Übergangs von Protonen!
- ④ Berechnen Sie, wieviel Liter (Normzustand) Schwefelwasserstoff aus 10 g Eisen(II)-sulfid dargestellt werden können!

Man stellt Schwefelwasserstoff durch Einwirkung von Säuren auf Sulfide dar (Experiment 25).

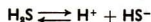


Diese Reaktion ist eine Reaktion mit Protonenübergang. Die Wasserstoff-Ionen (Protonen) der Säurelösung lagern sich an die Sulfid-Ionen, die in den entsprechenden Sulfiden vorgebildet sind, an. Dabei bildet sich Schwefelwasserstoff. ② ③ ④

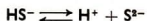
Schwefelwasserstoff ist sehr giftig. Bereits 0,05% des Volumens an Schwefelwasserstoff in der Luft führen bei längerem Einatmen zum Tode; 0,02% des Volumens sind noch stark giftig. Gegenüber Schwefelwasserstoff ist unser Geruchssinn sehr empfindlich. Der Geruch ist allerdings kein verlässliches Warnzeichen, weil sehr rasch die Geruchsempfindlichkeit nachläßt. Daher ist Schwefelwasserstoff sehr gefährlich. Außer verschiedenen Symptomen verursacht Schwefelwasserstoff eine Blockierung der Zellatmung und lähmt das Zentralnervensystem.

Schwefelwasserstoff ist ein unangenehm riechendes, sehr giftiges Gas. Es bildet sich bei biologischen Abbauvorgängen der Eiweißzersetzung. Schwefelwasserstoff entsteht bei der Reaktion von Sulfiden mit Säuren. Diese Reaktion ist eine Reaktion mit Protonenübergang.

Schwefelwasserstoff löst sich in Wasser. Er dissoziiert in zwei Stufen. Zunächst erfolgt die Dissoziation des Schwefelwasserstoffs ähnlich der des Wassers:



Die sich bildenden schwefelhaltigen Ionen können jedoch im Gegensatz zu den Hydroxid-Ionen ebenfalls dissoziieren. Dabei entstehen wiederum Wasserstoff-Ionen und außerdem zweifach negativ geladene Sulfid-Ionen:



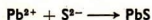
Die Gleichungen für beide Stufen der Dissoziation lassen sich zusammenfassen:



Die Lage dieses Gleichgewichts ist weitgehend auf die Seite des Schwefelwasserstoffs verschoben. Die wäßrige Lösung von Schwefelwasserstoff (Schwefelwasserstoffwasser)

zeigt saure Reaktion (Experiment 26). Schwefelwasserstofflösung ist also eine Säure. Die Salze dieser Schwefelwasserstoffsäure sind die Sulfide. ①
Die Sulfid-Ionen reagieren mit Schwermetall-Ionen zu schwerlöslichen Schwermetallsulfiden. Diese Salze bilden meist farbige Niederschläge (Experiment 27). Diese Reaktion ist eine Fällungsreaktion. ②

■ Bei der Reaktion von Blei(II)-Ionen mit Sulfid-Ionen entsteht das schwerlösliche Blei(II)-sulfid als schwarz gefärbter Niederschlag:



Diese Fällungsreaktion wird deshalb als Nachweis von Sulfid-Ionen und auch von Schwefelwasserstoff genutzt (Experiment 28). ③

► Die wässrige Lösung von Schwefelwasserstoff zeigt saure Reaktion. Die Salze der Schwefelwasserstoffsäure heißen Sulfide. Sulfid-Ionen bilden mit Schwermetall-Ionen schwerlösliche Sulfide. Blei(II)-Ionen dienen durch Bildung einer Fällung zum Nachweis von Sulfid-Ionen.

Oxide des Schwefels

19

Schwefel bildet mehrere Oxide (Tab. 14).

In den Schwefeldioxid- und Schwefeltrioxidmolekülen sind zwischen dem Schwefelatom und den Sauerstoffatomen Atombindungen mit teilweise Ionencharakter vorhanden. Als Nichtmetalloxide bilden die Oxide des Schwefels mit Wasser Säuren (Tab. 14). ④ ⑤

Tabelle 14 Wichtige Oxide des Schwefels

Name	Schwefeldioxid	Schwefeltrioxid
Formel	SO_2	SO_3
Oxydationszahl des Schwefels	+4	+6
Wertigkeit des Schwefels gegenüber Sauerstoff	IV	VI
Formel der Säure, die das Oxid mit Wasser bildet	H_2SO_3	H_2SO_4

Schwefeldioxid

Schwefel wird an der Luft verbrannt.

Eisen(II)-sulfid oder Pyrit werden im Luftstrom erhitzt und die entstehenden Gase durch Wasser geleitet (Abb. 35). Die wässrige Lösung wird mit einem Indikator geprüft.

- ① Fertigen Sie eine tabellarische Zusammenstellung zum Vergleich von Schwefelwasserstoff, Chlorwasserstoff und Wasser hinsichtlich a) Bau der Moleküle, chemischer Bindung, Dissoziation sowie b) physikalischer und chemischer Eigenschaften an!
- ② Entwickeln Sie für die Reaktionen von a) Eisen(II)-Salzen, b) Blei(II)-Salzen, c) Kupfer(II)-Salzen mit Schwefelwasserstoff (Experiment 27) jeweils die chemischen Gleichungen in Ionschreibweise!
- ③ Worauf beruht der Nachweis von Schwefelwasserstoffgas mit angefeuchtetem Bleiazetatpapier?
- ④ Begründen Sie, daß in den Molekülen von Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid zwischen den Schwefelatomen und den Sauerstoffatomen jeweils Atombindungen mit teilweise Ionencharakter vorliegen!
- ⑤ Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Reaktionen von Schwefeldioxid und von Schwefeltrioxid mit Wasser!
- ⑥ Nennen Sie Eigenschaften von Schwefeldioxid!

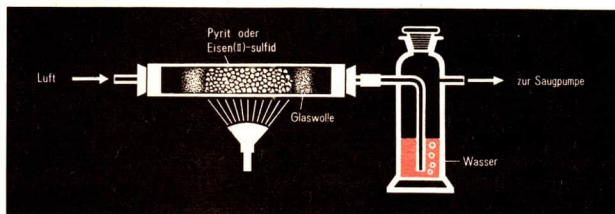


Abb. 35 Oxydation von Eisensulfiden

Schwefeldioxid SO_2 besteht im gasförmigen Aggregatzustand aus Molekülen, die Dipole sind (Abb. 36). ⑥

Schwefeldioxid entsteht bei der Oxydation von Schwefel an der Luft (Experiment 29) oder in reinem Sauerstoff.

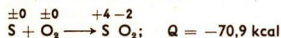
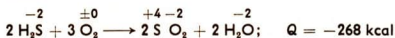


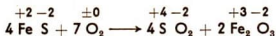
Abb. 36 Modell eines Schwefeldioxidmoleküls

a) Anordnung der Atome b) Verteilung der Ladungsschwerpunkte

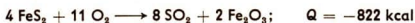
Schwefeldioxid entsteht auch bei der vollständigen Oxydation von Schwefelwasserstoff:



Außerdem bildet sich Schwefeldioxid bei der Oxydation von Sulfiden (Experiment 30).



Technisch wird diese Reaktion ausgenutzt beim **Abrösten** sulfidischer Erze, zum Beispiel von Pyrit:



①

Diese Reaktionen zur Bildung von Schwefeldioxid sind Redoxreaktionen. Sie verlaufen exotherm. ② ③ ④ ⑤

Schwefeldioxid ist eine Verbindung von Schwefel und Sauerstoff, in der der Schwefel die Oxydationszahl +4 hat. Schwefeldioxid bildet sich bei der Oxydation von Schwefel, von Schwefelwasserstoff und von Sulfiden in exothermen Redoxreaktionen.

Schwefeltrioxid

Ein Gemisch aus Schwefeldioxid und Luft wird über einen erwärmten Katalysator geleitet. Das entstehende Reaktionsprodukt leitet man durch eine leere Waschflasche und eine mit Wasser gefüllte Waschflasche hindurch (Abb. 37).

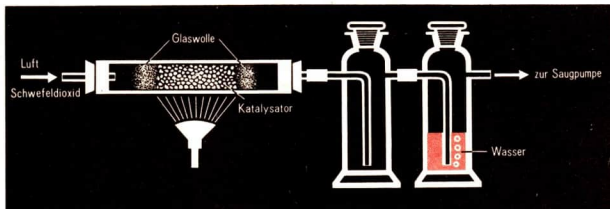


Abb. 37 Katalytische Oxydation von Schwefeldioxid

Schwefeltrioxid SO_3 besteht im gasförmigen Aggregatzustand aus Molekülen, in denen jeweils das Schwefelatom von drei Sauerstoffatomen symmetrisch umgeben ist (Abb. 38).

Schwefeltrioxid entsteht neben Schwefeldioxid bei der Oxydation von Schwefel. Schwefeltrioxid wird durch katalytische Oxydation von Schwefeldioxid hergestellt (Experiment 31). Als Katalysator verwendet man Vanadin(V)-oxid. Dabei stellt sich

- ① Berechnen Sie, wieviel Kubikmeter (Normzustand) Schwefeldioxid aus 120 t Pyrit durch Ab-
rösten hergestellt werden können!
- ② Erläutern Sie die Möglichkeiten zur Darstellung von Schwefeldioxid aus Schwefel, Schwefel-
wasserstoff und Eisen(II)-sulfid als Redoxreaktionen!
- ③ Vergleichen Sie die Reaktionen des Schwefels mit Metallen, Wasserstoff und Sauerstoff in bezug
auf den Wechsel der Oxydationszahlen und der Art der chemischen Bindung!
- ④ Stellen Sie die Reaktion von Schwefelwasserstoff mit Sauerstoff der Reaktion von Schwefel-
wasserstoffwasser mit Blei(II)-Ionen gegenüber! Geben Sie die Art der chemischen Reaktion an!
- ⑤ Berechnen Sie die Dichte (Litermasse) von Schwefeldioxid (Normzustand)!
- ⑥ Erklären Sie die Reaktion von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid als Redoxreaktion!
- ⑦ Erläutern Sie die Angabe der Reaktionswärme im chemischen Gleichgewicht!
- ⑧ Erläutern Sie Merkmale des chemischen Gleichgewichts (↗ „Chemie in Übersichten“, S. 52)!

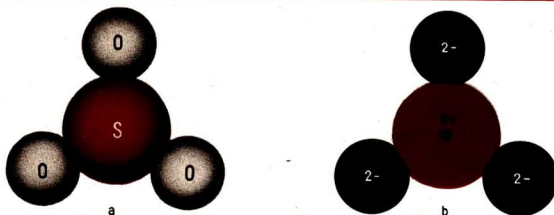
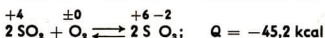


Abb. 38 Modell eines Schwefeltrioxidmoleküls

a) Anordnung der Atome b) Verteilung der Ladungsschwerpunkte

ein chemisches Gleichgewicht ein, in dem Schwefeldioxid, Sauerstoff und Schwefeltrioxid in bestimmten Konzentrationen nebeneinander vorliegen.



Die Hinreaktion der Bildung von Schwefeltrioxid ist eine exotherme Reaktion. ⑥ ⑦ ⑧

► **Schwefeltrioxid ist eine Verbindung von Schwefel und Sauerstoff, in der der Schwefel die Oxydationszahl +6 hat. Die katalytische Oxydation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid ist eine exotherme Redoxreaktion.**

Das chemische Gleichgewicht stellt sich im System $2 \text{ SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ SO}_3$ ohne Katalysator sehr langsam ein. Der Katalysator bewirkt die Herabsetzung der Aktivierungsenergien für die Bildung und den Zerfall des Schwefeltrioxids. Die Reaktionswärme bleibt dabei unverändert (Abb. 39, S. 60). Durch den Katalysator wird eine Verkürzung der Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts erreicht, zum Beispiel bei 400°C

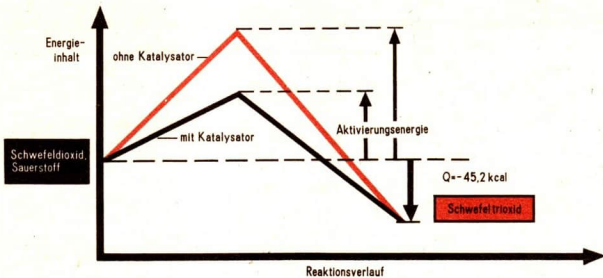


Abb. 39 Zusammenhang zwischen Energieinhalt des Systems Schwefeldioxid/Sauerstoff/Schwefeltrioxid und zeitlichem Reaktionsverlauf mit Katalysator und ohne Katalysator (Die Verkürzung der Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts durch den Katalysator wurde in dieser Darstellung nicht berücksichtigt.)

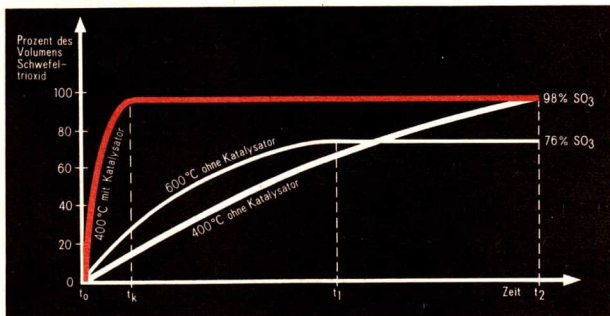


Abb. 40 Menge von Schwefeltrioxid in Abhängigkeit von der Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts und der Temperatur

von t_2 auf t_K (Abb. 40). Er verändert jedoch nicht die absolut gewinnbare Masse Schwefeltrioxid. Die gleiche Masse Schwefeltrioxid läßt sich also bei Anwesenheit eines Katalysators nur schneller herstellen. ① ② ③

Die Reaktionsbedingungen haben Einfluß auf die Lage des chemischen Gleichgewichts. Das System $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ besteht bei 400°C zu 98% des Volumens aus Schwefeltrioxid, bei 600°C sind 76% des Volumens Schwefeltrioxid. Die Temperaturerhöhung von 400°C auf 600°C bewirkt eine schnellere Einstellung des chemischen Gleichgewichts. Die Einstellzeit verkürzt sich von t_2 auf t_1 (Abb. 40); denn eine Temperaturerhöhung führt zur Vergrößerung der Reaktionsgeschwindigkeit. Gleich-

- ① Warum wird zur Oxydation des Schwefeldioxids ein Katalysator eingesetzt und das Stoffgemisch erwärmt?
- ② Erklären Sie das Wesen der Katalyse! Verwenden Sie dazu Abbildung 39!
- ③ Erläutern Sie die Aussagen der Kurvenverläufe in Abbildung 40 über die Abhängigkeit des sich bildenden Schwefeltrioxid-Anteils von der Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts bei gleicher Temperatur ohne und mit Katalysator!
- ④ Diskutieren Sie die einzelnen Kurvenverläufe in Abbildung 41!
- ⑤ Erläutern Sie den Einfluß einer Temperaturerhöhung auf a) die Einstellzeit und b) die Lage des chemischen Gleichgewichts $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$; $Q = -45,2 \text{ kcal}$!
- ⑥ Erläutern Sie den unterschiedlichen Verlauf der Kurven in Abbildung 41 für verschiedene Sauerstoffkonzentrationen im Gasgemisch des Systems $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$!

zeitig verschiebt sich die Lage des chemischen Gleichgewichts, indem eine Temperaturerhöhung die verstärkte Bildung von Stoffen bewirkt, die Produkte einer endothermen Reaktion sind. Das heißt: Durch Temperaturerhöhung wird der Zerfall von Schwefeltrioxid begünstigt. In Abbildung 41 ist die Lage dieses chemischen Gleichgewichts in Abhängigkeit von der Temperatur zwischen 400°C und 900°C dargestellt. ④ ⑤ Außerdem hat die Zusammensetzung des Gasgemisches Einfluß auf die Lage des chemischen Gleichgewichts $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$. Eine Erhöhung der Sauerstoffkonzentration im Reaktionsgemisch gegenüber der theoretisch erforderlichen Zusammensetzung hat zur Folge, daß sich ein größerer Anteil des Reaktionsgemisches zu Schwefeltrioxid umsetzt (Abb. 41). Eine entsprechende Erhöhung der Schwefeldioxidkonzentration im Reaktionsgemisch zeigt eine ähnliche Wirkung; denn eine

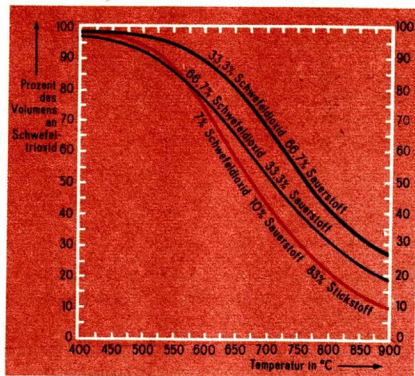
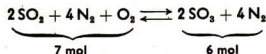


Abb. 41 Abhängigkeit des prozentualen Umsatzes eines Gemisches aus Schwefeldioxid und Sauerstoff verschiedener Zusammensetzung von der Temperatur bei Normaldruck ⑥

Konzentrationserhöhung in einem System bewirkt den verstärkten Ablauf solcher Reaktionen, bei denen der zugeführte Stoff verbraucht wird.

Das Gleichgewicht $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3$ ist druckabhängig. Wenn man aber an Stelle von reinem Sauerstoff Luft einsetzt, ist die Volumenabnahme bei der Schwefeltrioxidbildung sehr gering. Eine Druckerhöhung beeinflusst daher in diesem Fall die Lage des chemischen Gleichgewichts nicht wesentlich. ①



Schwefeltrioxid ist giftig. Im Normzustand ist es fest, aber stark flüchtig und bildet mit feuchter Luft Nebel. Die Reaktion von Schwefeltrioxid mit Wasser ist exotherm, so daß der größte Teil des Schwefeltrioxids gasförmig entweicht.

Die Oxydation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid führt zu einem chemischen Gleichgewicht. Veränderungen der Reaktionsbedingungen beeinflussen die Lage dieses Gleichgewichts.

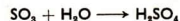
Schwefelsäure

20

Verdünnte Schwefelsäure und durch Salzsäure angesäuerte Sulfatlösungen werden jeweils mit Bariumchloridlösung versetzt.

Schwefelsäure H_2SO_4 ist eine sauerstoffhaltige Säure. In der Schwefelsäure hat der Schwefel die Oxydationszahl +6. ②

Schwefelsäure entsteht bei der Reaktion von Schwefeltrioxid mit Wasser:

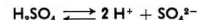


Konzentrierte Schwefelsäure ist eine farblose, ölige Flüssigkeit, deren Dichte mit $1,84 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ erheblich größer ist als die des Wassers. Sie ist schwer flüchtig und nimmt leicht Wasser auf. Sie wirkt ätzend und ist giftig. Beim Verdünnen von konzentrierter Schwefelsäure ist stets die Säure in das Wasser zu gießen! ③

Schwefelsäure dissoziiert wie Schwefelwasserstoff in zwei Stufen:



Zusammengefaßt ergibt sich:



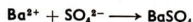
Schwefelsäure läßt sich mit Basenlösungen neutralisieren. **Verdünnte Schwefelsäure** reagiert mit unedlen Metallen und mit Metalloxiden unter Bildung von Salzlösungen.

Die Salze der Schwefelsäure heißen **Sulfate**. ④ ⑤ ⑥

Schwefelsäure bildet sich bei der Reaktion von Schwefeltrioxid mit Wasser. Als Dissoziationsprodukte treten Wasserstoff-Ionen und Sulfat-Ionen auf.

- ① Warum ist das chemische Gleichgewicht $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3$ druckabhängig?
- ② Bestimmen Sie die Oxydationszahl von Schwefel in der Schwefelsäure, und vergleichen Sie diese mit den Oxydationszahlen des Schwefels in Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid!
- ③ Beschreiben und begründen Sie Maßnahmen zum Arbeits- und Unfallschutz für das Verdünnen von konzentrierter Schwefelsäure!
- ④ Geben Sie Möglichkeiten zur Bildung von Magnesiumsulfatlösung an, und formulieren Sie dafür die Reaktionsgleichungen!
- ⑤ Erklären Sie das Wesen der Neutralisation am Beispiel der Reaktion von Schwefelsäure mit Natriumhydroxidlösung!
- ⑥ Vergleichen Sie die Neutralisation von Schwefelsäure mit Kaliumhydroxid und die Reaktion von Schwefelsäure mit Zink hinsichtlich des Übergangs von Protonen und der Änderung der Oxydationszahl! Ordnen Sie beide Reaktionen bestimmten Arten der chemischen Reaktion zu!
- ⑦ Welche Ionen werden durch Fällungsreaktion nachgewiesen?

Werden Lösungen, die Sulfat-Ionen enthalten, mit Bariumchloridlösung versetzt, entsteht ein weißer, feinkristalliner Niederschlag von Bariumsulfat (Experiment 32):



Bariumsulfat hat sowohl in Wasser als auch in Salzsäure eine sehr geringe Löslichkeit. Diese Reaktion ist eine Fällungsreaktion. Sie dient als Nachweis für Sulfat-Ionen.

⑦

► **Sulfat-Ionen bilden mit Barium-Ionen schwerlösliches Bariumsulfat. Diese Reaktion ist eine Fällungsreaktion. Barium-Ionen dienen in salzsaurer Lösung zum Nachweis von Sulfat-Ionen.**

Tabelle 15 Eigenschaften und Verwendung von Schwefelsäure

Eigenschaften	Verwendung
hohe Siedetemperatur (geringe Flüchtigkeit)	Darstellung anderer Säuren (z. B. von Chlorwasserstoffsäure aus Chloriden); Erzaufbereitung
wasseranziehende Wirkung	Trockenmittel für Gase; Herstellung von Sprengstoffen
Abspaltung von Wasser aus organischen Verbindungen	Reinigung von Erdöl; Herstellung von Arzneimitteln, Farbstoffen und Lacken
Dissoziation	Akkumulatorensäure und Zubereitung von Elektrolytbädern
Bildung von Salzen	Herstellung von Düngemitteln

In Tabelle 15 (S. 63) sind einige volkswirtschaftlich bedeutsame Verwendungsmöglichkeiten für Schwefelsäure in Abhängigkeit von ihren Eigenschaften zusammengefaßt. ①

► **Schwefelsäure gehört für die chemische Industrie und andere Industriezweige zu den wichtigsten Grundchemikalien.**

Technische Herstellung von Schwefelsäure

21

Aus der vielfältigen Verwendung der Schwefelsäure ergibt sich ihre große Bedeutung für die Volkswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik. Es ist daher notwendig, Schwefelsäure in großen Mengen herzustellen. Die Deutsche Demokratische Republik nimmt bezüglich der Pro-Kopf-Produktion an Schwefelsäure einen der vorderen Plätze in der Welt ein. Die Erweiterung der Chemieproduktion in unserer Republik hängt entscheidend von der Steigerung der Produktion an Schwefelsäure ab. Bedeutende Schwefelsäureanlagen befinden sich in der Deutschen Demokratischen Republik im VEB Chemiewerk Coswig/Anhalt, im VEB Chemiekombinat Bitterfeld, Betriebsteil Wolfen, im VEB Chemiewerk Nünchritz und im VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ Freiberg. ②

Schwefeldioxid ist ein wichtiger Ausgangsstoff für die technische Herstellung von Schwefelsäure. ③

Technische Herstellung von Schwefeldioxid

33
▼ Ein Gemisch von Kalziumsulfat und Aktivkohle wird im Luftstrom kräftig erhitzt und das entstehende gasförmige Reaktionsprodukt durch Wasser geleitet (Abb. 42). Nach dem Erkalten wird der Glührückstand mit Wasser übergossen und mit einem Indikator geprüft. ④

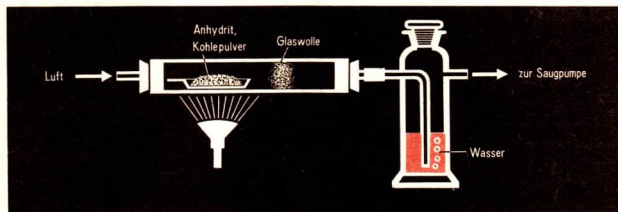


Abb. 42 Reduktion von Kalziumsulfat (Anhydrit)

Schwefeldioxid wird je nach der Rohstoffgrundlage des Landes nach verschiedenen Verfahren hergestellt.

Die einfachste Methode ist die Oxydation des Schwefels (Experiment 29). Sie wird in Ländern mit reichen Schwefelvorkommen; wie der Volksrepublik Polen, den USA

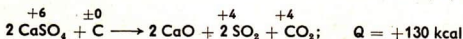
- ① Erläutern Sie an Hand von Tabelle 15 Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Verwendung der Schwefelsäure!
- ② Erläutern Sie die volkswirtschaftliche Bedeutung der Herstellung von Schwefelsäure!
- ③ Erläutern Sie die Reaktionen, die vom Schwefeldioxid zu Schwefelsäure führen!
- ④ Erklären Sie die Reaktionen, die beim Übergießen des Glührückstandes, der sich bei der Reaktion zwischen Kalziumsulfat und Aktivkohle im Luftstrom bildet (↗ Experiment 33), mit Wasser und beim Prüfen mit einem Indikator ablaufen!
- ⑤ Erklären Sie die Reaktion von Kalziumsulfat mit Kohlenstoff als Redoxreaktion!

und Japan, angewendet und bildet unter diesen Bedingungen das rentabelste Verfahren zur Herstellung von Schwefeldioxid.

Das Abrösten sulfidischer Erze, insbesondere von Pyrit (↗ Experiment 30), ist ein weiteres technisches Verfahren zur Schwefeldioxidherstellung. Unser eigenes Aufkommen an Pyrit reicht bei weitem nicht aus, die Produktion von Schwefeldioxid zu sichern. Im Rahmen der engen wirtschaftlichen Beziehungen der sozialistischen Länder erhalten wir aus der Sowjetunion umfangreiche Lieferungen sulfidischer Erze.

Von größter Bedeutung für die Deutsche Demokratische Republik ist die Herstellung von Schwefeldioxid aus Kalziumsulfat CaSO_4 . Dieses Sulfat wird **Anhydrit** genannt. Kalziumsulfat ist auch Hauptbestandteil von **Gips**, der außerdem Wasser enthält. Anhydrit und Gips gehören zu den Rohstoffen, die besonders häufig in unserer Republik vorkommen.

Bei hohen Temperaturen läßt sich Kalziumsulfat durch Kohlenstoff reduzieren. Dabei entstehen Schwefeldioxid, Kohlendioxid und Kalziumoxid (Experiment 33):



Diese Reaktion ist eine endotherme Redoxreaktion. ⑤

➤ **Die Reaktion von Kalziumsulfat mit Kohlenstoff ist eine endotherme Redoxreaktion, bei der Schwefeldioxid, Kohlendioxid und Kalziumoxid entstehen.**

Mehr als 60% des in unserer Republik zu Schwefelsäure verarbeiteten Schwefeldioxids werden aus Anhydrit hergestellt. Da aber auch Gips als Ausgangsstoff zur industriellen Schwefeldioxidherstellung eingesetzt werden kann, heißt das Verfahren **Gips-Schwefelsäure-Verfahren**. Als Ausgangsstoff für dieses Verfahren wird Anhydrit wegen seiner Wasserfreiheit dem Gips vorgezogen. Das Gips-Schwefelsäure-Verfahren ist deshalb rentabel, weil gleichzeitig das dabei entstehende Kalziumoxid zu Zement verarbeitet wird. Zement besitzt für die Bauwirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik große Bedeutung. Man setzt daher dem Gemisch von Anhydrit und Koks noch Ton, Sand und Eisenoxide als Zementbildner zu. Den Wissenschaftlern, Technikern und Arbeitern unserer Republik ist es gelungen, die technische Herstellung von Schwefeldioxid und damit der Schwefelsäure weitgehend auf einheimische Rohstoffe umzustel-

len. Weitere ökonomische Vorzüge dieses Verfahrens ergeben sich aus der gekoppelten Herstellung von Schwefeldioxid als eine der Grundchemikalien und Zement als Baustoff. Dies ist ein Beispiel dafür, daß die Erkenntnisse in der Praxis wirksam werden und unter Anwendung ökonomischer Prinzipien der Weiterentwicklung unserer Volkswirtschaft dienen. Die technische Herstellung von Schwefeldioxid und Zement aus Anhydrit, Koks und anderen Ausgangsstoffen nach dem Gips-Schwefelsäure-Verfahren erfolgt in der Deutschen Demokratischen Republik vor allem im VEB Chemiewerk Coswig/Anhalt und im VEB Chemiekombinat Bitterfeld, Betriebsteil Wolfen. Beim Wiederaufbau dieser Werke nach 1945 vollbrachten die Werktätigen unter Führung der Partei der Arbeiterklasse große Anstrengungen und hervorragende Leistungen. ①

► **In der Deutschen Demokratischen Republik wird die technische Herstellung von Schwefeldioxid hauptsächlich nach dem Gips-Schwefelsäure-Verfahren durchgeführt, bei dem aus einheimischen Rohstoffen auch Zement erzeugt wird. Dieses Verfahren hat für die chemische Industrie und die Bauwirtschaft in unserer Republik große Bedeutung.**

Die wichtigsten Möglichkeiten zur technischen Herstellung von Schwefeldioxid sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Tabelle 16 Möglichkeiten zur technischen Herstellung von Schwefeldioxid

Technisches Verfahren	Chemische Reaktion	Reaktionswärme
Oxydation von elementarem Schwefel	$S + O_2 \longrightarrow SO_2$	exotherm
Abbrösten von Pyrit	$4 FeS_2 + 11 O_2 \longrightarrow 8 SO_2 + 2 Fe_2O_3$	exotherm
Reduktion von Anhydrit	$2 CaSO_4 + C \longrightarrow 2 CaO + 2 SO_2 + CO_2$	endotherm

② ③ ④

► **Für die technische Herstellung von Schwefelsäure ist Schwefeldioxid ein Ausgangsstoff. Schwefeldioxid wird technisch hergestellt durch Oxydation von Schwefel oder von Pyrit und durch Reduktion von Anhydrit.**

Kontaktverfahren

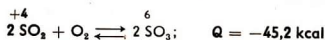
Das **Kontaktverfahren** ist eine Möglichkeit zur technischen Durchführung der katalytischen Oxydation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid, das zu Schwefelsäure weiterverarbeitet wird. Als Ausgangsstoff findet ein Gasgemisch aus Schwefeldioxid und Luft Verwendung, das in Abhängigkeit von der Art des chemisch-techni-

- ① Erläutern Sie die ökonomische und gesellschaftliche Bedeutung des Gips-Schwefelsäure-Verfahrens für die Volkswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik!
- ② Vergleichen Sie die Reaktionen zur technischen Herstellung von Schwefeldioxid in bezug auf Art der Ausgangsstoffe, der chemischen Reaktion, der Reaktionswärme und der ökonomischen Zweckmäßigkeit!
- ③ Leiten Sie für die technische Durchführung der Schwefeldioxidherstellung nach den verschiedenen Verfahren entsprechende wärmetechnische Maßnahmen ab!
- ④ Berechnen Sie, wieviel Tonnen Schwefeldioxid sich aus 170 t Anhydrit durch Reduktion herstellen lassen!
- ⑤ Was ist ein Kontakt? Erläutern Sie seine Wirkung bei der katalytischen Oxydation des Schwefeldioxids!
- ⑥ Diskutieren Sie die Abhängigkeit der Lage des chemischen Gleichgewichts

$$2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3; Q = -45,2 \text{ kcal}$$
von Veränderungen der Reaktionsbedingungen! Gehen Sie dabei vom Prinzip von *Le Chatelier* aus (↗ „Chemie in Übersichten“, S. 52)!
- ⑦ Begründen Sie die Anwendung eines Sauerstoffüberschusses bei der katalytischen Oxydation des Schwefeldioxids!
- ⑧ Erläutern Sie den Einfluß der Verwendung von Luft an Stelle von reinem Sauerstoff auf die Druckabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts beim Kontaktverfahren!

schen Verfahrens unterschiedliche Zusammensetzung besitzt. Stets wird jedoch mit Luftüberschuß gearbeitet, so daß Schwefeldioxid und Sauerstoff im Volumenverhältnis kleiner als 1 : 1 vorliegen.

Die chemische Reaktion der katalytischen Oxydation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid ist umkehrbar und führt zu einem chemischen Gleichgewicht:



Zur schnelleren Einstellung des chemischen Gleichgewichts verwendet man einen **Kontakt**. Unter Normaldruck bei 420 °C und Luftüberschuß wird an Vanadin(V)-oxid-Kontakten eine optimale Ausbeute an Schwefeltrioxid erreicht, dessen Konzentration unter diesen Bedingungen etwa 98% des Volumens des Gasgemisches beträgt. Die Temperatur von 420 °C ist erforderlich, um den Katalysator wirksam werden zu lassen, obwohl eine Temperaturerhöhung eine Verringerung der absolut gewinnbaren Ausbeute bewirkt, weil die Schwefeltrioxidbildung exotherm verläuft (↗ S. 59). Da beim Kontaktverfahren Luftüberschuß angewendet wird, ist die Druckabhängigkeit dieses chemischen Gleichgewichts praktisch bedeutungslos.

⑤ ⑥ ⑦ ⑧

▶ Beim Kontaktverfahren wird Schwefeldioxid mit einem Luftüberschuß bei 420 °C am Kontakt durch katalytische Oxydation zu Schwefeltrioxid umgewandelt.

Als technischer Reaktionsapparat des Kontaktverfahrens dient der Kontaktofen (Abb. 43 und 44). Damit das zur Synthese von Schwefeltrioxid erforderliche Gasgemisch Schwefeldioxid und Luft ausreichend lange mit dem Kontakt in Berührung bleiben kann, wird der Kontakt je nach der Bauart des Ofens auf mehreren Horden oder in Horden und Röhren angeordnet. Weitere Merkmale des Aufbaus des Kontaktofens ergeben sich aus den Reaktionsbedingungen. Der Kontaktofen ist im Vergleich zum Ammoniak-Synthesofen dünnwandig gebaut und besitzt ein großes Volumen, weil bei der technischen Herstellung von Schwefeltrioxid kein Überdruck angewendet wird.

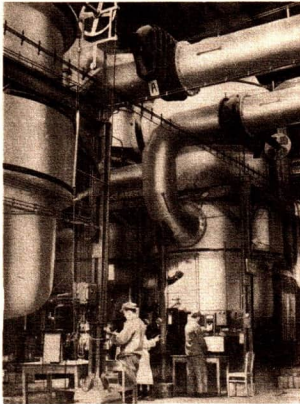


Abb. 43 Kontaktanlage

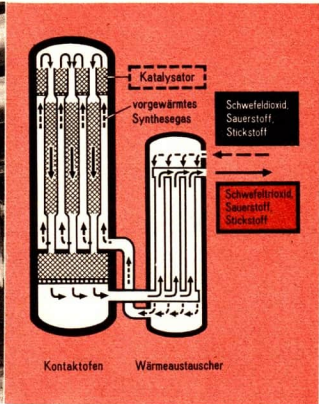


Abb. 44 Kontaktofen mit Wärmeaustauscher

Da die Lage des chemischen Gleichgewichts stark temperaturabhängig ist und eine Temperaturerhöhung sich infolge des exothermen Verlaufs der Schwefeltrioxidbildung auf die Ausbeute an Schwefeltrioxid ungünstig auswirkt, muß die Temperatur von 420 °C ständig konstant gehalten werden. Der Kontaktofen ist daher mit einem Wärmeaustauscher verbunden (Abb. 44). Der **Wärmeaustausch** erfolgt durch stofflichen und thermischen Gegenstrom. Das Gasgemisch der Ausgangsstoffe Schwefeldioxid, Sauerstoff und Stickstoff der Luft wird im Wärmeaustauscher vorgewärmt. Im Kontaktofen strömt es von unten nach oben an den Röhren, die mit Kontakt gefüllt sind, vorbei und gelangt im oberen Teil des Ofens mit dem in Horden angeordneten Kontakt in Berührung. Dort setzt sich ein Teil des Gasgemisches zu Schwefeltrioxid um. Anschließend strömt das Gasgemisch durch die Kontaktrohre in der Richtung von oben nach unten. Das chemische Gleichgewicht stellt sich erneut ein, wobei weiteres Schwefeltrioxid entsteht. Die Rohre werden durch neu einströmendes

- ① Erklären Sie an Hand von Abbildung 44 den Wärmeaustausch im Kontaktofen, und vergleichen Sie ihn mit dem Wärmeaustausch im Ammoniak-Syntheseofen!
- ② Begründen Sie, warum man die Temperatur im Kontaktofen durch Luftzufuhr steuern kann!
- ③ Was versteht man unter kontinuierlicher Arbeitsweise?
- ④ Begründen Sie, warum man das Schwefeltrioxid nicht in Wasser löst!
- ⑤ Was bedeutet 20%ige Schwefelsäure?
- ⑥ Erläutern Sie den Gesamtprozeß der technischen Herstellung von Schwefelsäure!

Gas gekühlt. Vor dem Verlassen des Ofens wird das Gasgemisch durch einen weiteren Hordenkontakt hindurchgeleitet. Das im unteren Teil des Ofens ausströmende Gasgemisch, das vor allem aus Schwefeltrioxid, nicht umgesetztem Sauerstoff und Stickstoff der Luft besteht und praktisch kaum noch Schwefeldioxid enthält, wird im Wärmeaustauscher abgekühlt. Als Kühlmittel verwendet man das vorzuwärmende Gasgemisch der Ausgangsstoffe. Die Temperatur kann durch Steuerung der Luftzufuhr zum Gasgemisch reguliert werden. Steigt die Temperatur des den Kontaktofen erreichenden Gasgemisches, dann steigt auch die Temperatur im Ofen. Wird nun zusätzlich Luft zum Gasgemisch zugeführt, verringert sich die Schwefeldioxidkonzentration wieder und damit auch die Temperatur.

Das Kontaktverfahren verläuft in **kontinuierlicher Arbeitsweise**. ① ② ③

► **Die technische Herstellung von Schwefeltrioxid nach dem Kontaktverfahren erfolgt im Kontaktofen. Der chemisch-technische Prozeß wird kontinuierlich unter Ausnutzung des Gegenstromprinzips zum Wärmeaustausch durchgeführt.**

Reaktion von Schwefeltrioxid zu Schwefelsäure

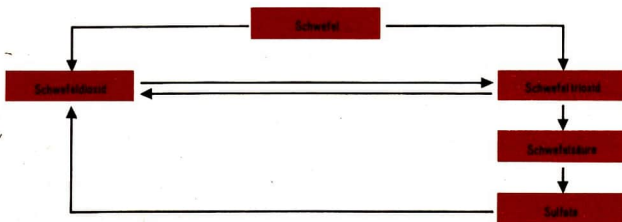
An das Kontaktverfahren zur Herstellung von Schwefeltrioxid schließt sich die Reaktion dieses Gases zu Schwefelsäure an. Es ist technisch nicht günstig, Schwefeltrioxid in Wasser zu lösen, weil die Reaktion sehr stark exotherm ist und damit der größte Teil des Schwefeltrioxids gasförmig entweichen würde. Man verwendet daher als Lösungsmittel 96%ige Schwefelsäure. Ihre Konzentration wird durch gleichzeitigen Zusatz von Schwefeltrioxid und Wasser konstant gehalten. Die so erzeugte Schwefelsäure ist 96%ig, das heißt, in 100 g konzentrierter Schwefelsäure sind 96 g reine Schwefelsäure H_2SO_4 und 4 g Wasser enthalten. ④ ⑤ ⑥

► **Schwefeltrioxid wird in konzentrierter Schwefelsäure gelöst. Die Säurekonzentration wird durch gleichzeitigen Zusatz von Schwefeltrioxid und Wasser konstant bei 96% der Masse an reiner Schwefelsäure H_2SO_4 gehalten.**

Aus Schwefel können Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid direkt entstehen. Zwischen Schwefeldioxid, Sauerstoff und Schwefeltrioxid bildet sich ein chemisches Gleichgewicht aus. Die Reaktionen von Schwefel mit Sauerstoff sowie von Schwefeldioxid mit Sauerstoff und der Zerfall von Schwefeltrioxid sind Redoxreaktionen.

Schwefeltrioxid reagiert mit Wasser zu Schwefelsäure, die ihrerseits Salze, die Sulfate, bilden kann. Manche Sulfate, zum Beispiel Kalziumsulfat und Magnesiumsulfat, lassen sich zersetzen, wobei Schwefeldioxid als ein Reaktionsprodukt entsteht. Diese Reaktionen sind Redoxreaktionen.

Eine schematische Übersicht veranschaulicht diese Zusammenhänge:



1. Vergleichen Sie Atombau und Eigenschaften des Schwefels mit denen von Stickstoff und Chlor!
2. Geben Sie in einer Tabelle die möglichen Oxydationszahlen des Schwefels und dazu jeweils eine entsprechende Verbindung als Beispiel an!
3. Vergleichen Sie in einer Tabelle Herstellung, Eigenschaften und Verwendung von Schwefeldioxid und Schwefeltrioxid!
4. Erklären Sie am Beispiel des Systems

$$2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3$$
 a) das Wesen einer Redoxreaktion, b) Merkmale des chemischen Gleichgewichts!
5. Geben Sie Möglichkeiten zur Bildung von Kalziumsulfat an! Entwickeln Sie dafür die Reaktionsgleichungen, und erläutern Sie die chemischen Reaktionen!
6. Erörtern Sie die Bedeutung von Kalziumsulfat für die Herstellung von Schwefelverbindungen!
7. Erläutern Sie den Nachweis von a) Sulfid-Ionen und b) Sulfat-Ionen!
8. Erläutern Sie an Reaktionen von Sulfid-Ionen das Wesen der Reaktion mit Protonenübergang und das Wesen der Fällungsreaktion!
9. Bei welchem Verfahren zur Herstellung von Schwefeldioxid erhält man je Tonne schwefelhaltigen Ausgangsstoff die größte Ausbeute an Schwefeldioxid?
10. Berechnen Sie, wieviel Tonnen 96%ige Schwefelsäure sich aus 204 t Anhydrit herstellen lassen!

Systematisierung und Praktikum zur chemischen Reaktion

Die Aufklärung gesetzmäßiger Zusammenhänge beim Ablauf chemischer Reaktionen ist wesentlicher Inhalt der Wissenschaft Chemie. Solche gesetzmäßigen Beziehungen können von Naturwissenschaftlern vor allem mit Hilfe der experimentellen Methode entdeckt werden. Auf Grund bereits bekannter Gesetzmäßigkeiten wird zunächst eine Hypothese formuliert. Zur Überprüfung dieser Hypothese führt man dann entsprechende Experimente aus. Aus den Ergebnissen der Experimente kann auf die Richtigkeit der Hypothese, auf die Richtigkeit des angenommenen gesetzmäßigen Zusammenhangs geschlossen werden.

Erfolgreiches Experimentieren setzt immer theoretisches Wissen voraus. Dieses Wissen wird im folgenden Kapitel durch knappe Zusammenfassungen und durch Lösen entsprechender Aufgaben bereitgestellt. Beim Lösen vieler Aufgaben wird mit „Chemie in Übersichten“ gearbeitet. Dieser Wissensspeicher liefert vielfältige Informationen, kann aber bei einer Reihe von Aufgaben auch zur Feststellung der Richtigkeit der gegebenen Antworten herangezogen werden.

Mit Hilfe von Experimenten werden bereits bekannte Gesetzmäßigkeiten wiederholt und die wichtigsten Kenntnisse zur chemischen Reaktion systematisch zusammengefaßt.

- ① Was müssen Sie
- a) beim Vorbereiten eines Experiments;
 - b) zur Vermeidung von Unfällen;
 - c) bei der Durchführung und Auswertung eines Experiments beachten?
- (↗ Chemie in Übersichten, S. 120)

Der Ablauf eines Experiments muß genau beobachtet werden. Um Schlußfolgerungen ziehen und das Experiment wiederholen zu können, werden die wichtigsten Angaben zur Aufgabenstellung, zur Durchführung, zu den Beobachtungen und zu den Ergebnissen in einem Protokoll festgehalten.

- ② Beschreiben Sie die Anlage eines Protokolls!
- (↗ Chemie in Übersichten, S. 120)

Alle chemischen Reaktionen sind Stoffumwandlungen.

- ① Erläutern Sie die Begriffe Ausgangsstoff, Reaktionsprodukt und reagierender Stoff! (↗ Chemie in Übersichten, S. 44)

Das Unterscheiden der Reaktionsprodukte von den Ausgangsstoffen ist nicht immer leicht. Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Unterscheidung von Reaktionsprodukten und Ausgangsstoffen.

Eine Möglichkeit besteht im Vergleich physikalischer Eigenschaften, wie Farbe, Glanz, Geruch, Aggregatzustand, direkt mit den Sinnesorganen.

- Bei der Oxydation von Magnesium kann das weiße, nicht glänzende Magnesiumoxid leicht vom silbergrauen, glänzenden Magnesium unterschieden und damit auf eine Stoffumwandlung geschlossen werden.

- ② Geben Sie zwei weitere Beispiele für Reaktionen an, bei denen man Reaktionsprodukte und Ausgangsstoffe durch Vergleich physikalischer Eigenschaften direkt mit den Sinnesorganen unterscheiden kann!

Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung von Reaktionsprodukten und Ausgangsstoffen ist der Vergleich physikalischer Eigenschaften, wie Magnetismus, Siede- und Schmelztemperatur, Massen- und Volumenänderungen, Löslichkeit in Wasser, unter Verwendung von Hilfsmitteln.

- Bei der Reaktion von Äthansäure mit Äthanol entsteht als ein Reaktionsprodukt Äthansäureäthylester. Dieser Ester unterscheidet sich von den Ausgangsstoffen unter anderem durch typischen Geruch, durch Unlöslichkeit in Wasser und im Betrag der Siedetemperatur.

- ③ Geben Sie zwei weitere Beispiele für Reaktionen an, bei denen man Reaktionsprodukte und Ausgangsstoffe durch Vergleich physikalischer Eigenschaften unter Verwendung von Hilfsmitteln unterscheiden kann!

Sehr oft unterscheidet man Reaktionsprodukte und Ausgangsstoffe durch Vergleich besonderer chemischer Eigenschaften.

- Kohlendioxid als Reaktionsprodukt bei der Oxydation von Kohlenmonoxid ist wie beide Ausgangsstoffe ein farb- und geruchloses Gas. Kohlendioxid unterscheidet sich vom Kohlenmonoxid dadurch, daß es nicht brennbar ist, und von beiden Ausgangsstoffen dadurch, daß es mit Kalziumhydroxidlösung (Kalkwasser) unter Bildung eines Niederschlages reagiert.

- ④ Geben Sie zwei weitere Beispiele für Reaktionen an, bei denen man Reaktionsprodukte und Ausgangsstoffe vor allem durch Vergleich besonderer chemischer Eigenschaften unterscheiden muß!

Oft genügen die bisher beschriebenen Möglichkeiten nicht zur sicheren Unterschei-

dung von Reaktionsprodukten und Ausgangsstoffen. Beim Feststellen von Ionen in Lösungen bedient man sich beispielsweise spezieller chemischer Reaktionen, die man als Nachweisreaktionen bezeichnet.

- ⑤ Nennen Sie fünf Beispiele für den Einsatz von Nachweisreaktionen zum Feststellen bestimmter Stoffe!

Oft kann man aus dem Auftreten bestimmter Reaktionsprodukte auf die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe schließen.

- Bei der vollständigen Oxydation von Propan entstehen nur Kohlendioxid und Wasser als Reaktionsprodukte. Daraus kann man schließen, daß Propan auf jeden Fall Wasserstoff und Kohlenstoff enthalten muß.

34



Wasserstoff und Kohlenstoff sollen als Bestandteile von Äthanol erkannt werden. Dazu wird Äthanol mit Kupfer(II)-oxid zur Reaktion gebracht. (↗ ▼ 3, S. 110)

Die Umwandlung von Ausgangsstoffen in Reaktionsprodukte wird unter Berücksichtigung des Gesetzes von der Erhaltung der Masse in chemischen Gleichungen dargestellt.

- ⑥ Erläutern Sie den Inhalt des Gesetzes von der Erhaltung der Masse! (↗ Chemie in Übersichten, S. 47)

Die reagierenden Stoffe werden in chemischen Gleichungen durch Symbole und Formeln gekennzeichnet. Beachten Sie dazu die Hinweise:

- Symbole Tabellen entnehmen (↗ Chemie in Übersichten, S. 68...70),
- Formeln für molekular auftretende Elemente (z. B. einige gasförmige Elemente) müssen auswendig gelernt werden,
- Formeln für Verbindungen werden nach bestimmten Regeln abgeleitet,
 - für anorganische Verbindungen ↗ Chemie in Übersichten, S. 13/14,
 - für organische Verbindungen ↗ Chemie in Übersichten, S. 96...100.

- ⑦ Geben Sie die chemischen Zeichen für folgende Stoffe an:

a) Propanol, b) Chlor, c) Chrom(VI)-oxid, d) Zinkphosphat, e) Pentin-(1), f) Butansäure, g) Wismut, h) Bariumhydroxid, i) Phosphorsäure!

- ⑧ Erläutern Sie an je zwei Beispielen für anorganische und organische Verbindungen den Zusammenhang zwischen systematischem Namen und Formel!

Beim Entwickeln chemischer Gleichungen muß neben der Verwendung richtiger chemischer Zeichen das Gesetz von der Erhaltung der Masse berücksichtigt werden. Um sicher chemische Gleichungen zu entwickeln, hält man sich an bestimmte Schrittfolgen (↗ Chemie in Übersichten, S. 15/16).

- ⑨ Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für folgende Reaktionen:

- a) Eisen(III)-oxid reagiert mit Magnesium zu Eisen und Magnesiumoxid,
- b) Zinkoxid reagiert mit Salpetersäure,
- c) Butan wird vollständig zu Kohlendioxid und Wasser oxydiert,
- d) Methan reagiert mit Chlor zu Dichlormethan und Chlorwasserstoff!

Die Vorbereitung und Auswertung von Experimenten erfordern sehr oft die Entwicklung einer chemischen Gleichung.

35
 In einem Gasentwickler wird Kalziumkarbonat mit Salzsäure zur Reaktion gebracht. Das entstehende Gas wird pneumatisch aufgefangen und nachgewiesen. (↗ ▼ 4, S. 111)

Mit der chemischen Gleichung wird der Reaktionsverlauf nicht nur qualitativ in bezug auf die Art der reagierenden Stoffe, sondern auch quantitativ in bezug auf umgesetzte Stoffmengen erfaßt. Das quantitative Auswerten des Reaktionsverlaufs an Hand der chemischen Gleichung ermöglicht oft erst das Erkennen gesetzmäßiger Zusammenhänge.

Jeder Ausdruck mit chemischen Zeichen steht in der Gleichung für eine bestimmte Stoffmenge.

① Erläutern Sie die Begriffe Stoffmenge und Mol! (↗ Chemie in Übersichten, S. 61)

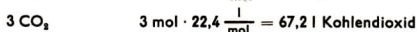
② Lesen Sie folgende Reaktionsgleichungen unter Verwendung der Einheit Mol:



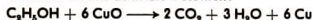
Jeder Stoff hat eine bestimmte molare Masse und ein bestimmtes molares Volumen. Gase haben im Normzustand das molare Volumen von etwa $22,4 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$.

③ Erläutern Sie die Begriffe molare Masse und molares Volumen! (↗ Chemie in Übersichten, S. 61/62)

Aus den durch eine chemische Gleichung angegebenen Stoffmengen und der molaren Masse beziehungsweise dem molaren Volumen dieser Stoffe kann man die Massen beziehungsweise Volumen der reagierenden Stoffe berechnen.



④ a) Berechnen Sie für die in folgender Gleichung angegebenen Stoffmengen die Massen beziehungsweise bei Gasen auch die Volumen!



b) Weisen Sie nach, daß das Gesetz von der Erhaltung der Masse erfüllt ist!

Zwischen den Massen der an einer Reaktion beteiligten Stoffe besteht ein direkter proportionaler Zusammenhang.

⑤ Erläutern Sie den funktionalen Zusammenhang zwischen den Massen der reagierenden Stoffe! (↗ Chemie in Übersichten, S. 64/65)

Dieser funktionale Zusammenhang ist die Grundlage für das chemische (stöchiometrische) Rechnen. Solche Berechnungen sind in der chemischen Industrie zum Beispiel für die richtige Planung von Rohstoffmengen, die Ermittlung des möglichen Produktionsergebnisses und die Planung ausreichenden Transportraumes von großer Bedeutung.

- ⑥ a) Erläutern Sie die technische Bedeutung von Löschkalk!
 b) Durch Reaktion von Branntkalk mit Wasser sollen 5 t, 10 t, 15 t, 20 t und 50 t Löschkalk hergestellt werden.
 Von welchen Massen Branntkalk muß jeweils ausgegangen werden?
 Welche Massen Wasser werden jeweils benötigt?

36
 Kalziumkarbonat (Marmor) wird im Gasentwickler mit Salzsäure zur Reaktion gebracht. Das entstehende Kohlendioxid wird aufgefangen und quantitativ bestimmt. (↗ ▼ 5, S. 112)

Tabelle 17 Aussagen einer Reaktionsgleichung

Chemische Gleichung	Ausgangsstoffe Kalzium- karbonat + Salz- säure	→ Reaktionsprodukte Kalzium- chlorid + Kohlen- dioxid + Wasser
– Ausdrücke mit chemischen Zeichen	$\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl}$	$\rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
– Umsatz von Stoffmengen	$\boxed{1 \text{ mol}} + \boxed{2 \text{ mol}}$	$\boxed{1 \text{ mol}} + \boxed{1 \text{ mol}} + \boxed{1 \text{ mol}}$
– Umsatz von Massen bzw. Volumen	$\boxed{100 \text{ g}} + \boxed{73 \text{ g}}$	$\boxed{111 \text{ g}} + \boxed{44 \text{ g}} + \boxed{18 \text{ g}}$ $\boxed{22,4 \text{ l}}$

Chemische Reaktion als Neuausbildung chemischer Bindungen

24

Die Reaktionsgleichung gibt die Stoffumwandlung bei einer chemischen Reaktion qualitativ und quantitativ in chemischen Zeichen wieder. Das Wesen einer chemischen Reaktion besteht in der Änderung der Bindungen zwischen den Teilchen (Atomen und Ionen) der reagierenden Stoffe. Soll die Änderung der Bindungen zwischen den Teilchen besonders hervorgehoben werden, dann schreibt man die Reaktionsgleichungen in Elektronenschreibweise, Ionenschreibweise oder unter Verwendung von Strukturformeln. Der Atombau und die dadurch begründeten Bindungsverhältnisse werden dabei weitgehend berücksichtigt.

- ⑦ Geben Sie die Energieniveauschemas für die Atomhülle von Silizium-, Brom- und Rubidiumatomen an! (↗ Periodensystem der Elemente in Chemie in Übersichten)

Die chemischen Eigenschaften der Elemente werden vor allem durch die Außenelektronen bestimmt. Das Vereinigen (Binden) von Atomen ist darauf gerichtet, stabile (energiearme) Zustände in den Außenschalen der Atome zu erreichen. Ein solcher stabiler Zustand der Außenschale wird für viele Elemente durch 8 Elektronen

erreicht. Zur Darstellung der Außenelektronen bedient man sich der Elektronenschreibweise.



Ausbildung eines gemeinsamen Elektronenpaares
(Bildung von Molekülen)

- ① Geben Sie in Elektronenschreibweise an a) die Vereinigung zweier Chloratome, b) die Vereinigung eines Wasserstoff- und eines Chloratoms!

Es gibt drei Bindungsarten und entsprechende Übergänge zwischen den Bindungsarten.

- ② Erläutern Sie an je einem selbstgewählten Beispiel a) die Atombindung, b) die Atombindung mit teilweisem Ionencharakter, c) die Ionenbeziehung, d) die Metallbindung! (↗ Chemie in Übersichten, S. 38)
- ③ Bestimmen Sie die Bindungsart zwischen den Teilchen in a) Lithiumbromid, b) Kohlendioxid, c) Stickstoff, d) Kalziumchlorid, e) Kalium, f) Methan! Beschreiben Sie den Übergang zwischen Atombindung und Ionenbeziehung mit Hilfe der Differenz der Elektronegativitätswerte (↗ Elektronegativitätstabelle in Chemie in Übersichten)!

Bei allen chemischen Reaktionen kommt es zur Änderung von Bindungen. Die Bindungen zwischen den Teilchen der Ausgangsstoffe werden ganz oder teilweise gelöst und neue Bindungen unter Entstehung der Teilchen der Reaktionsprodukte ausgebildet. Dabei werden häufig Elektronen umgruppiert. Änderung der Bindung bedeutet nicht in allen Fällen auch Wechsel der Art der Bindung.

37

Lehrerexperiment. **Vorsicht!** Ein kleines, sorgfältig entrindetes Stückchen Natrium wird in einem Becherglas mit konzentrierter Salzsäure ($\rho = 1,19 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) zur Reaktion gebracht.

- ④ a) Entwickeln Sie für die Reaktion zwischen Natrium und Salzsäure die Reaktionsgleichung! b) Geben Sie die reagierenden Stoffe in Elektronenschreibweise an! c) Geben Sie die Art der Teilchen und die Bindungsart an, die bei den reagierenden Stoffen vorliegen! d) Erläutern Sie die Änderung der Bindungen durch Änderung der Verteilung der Außenelektronen! (↗ Beispiel in Chemie in Übersichten, S. 45)

Zur übersichtlichen Darstellung der Umordnung von Atomen und Ionen werden die Reaktionsgleichungen in Ionenschreibweise angegeben. Dabei werden bei Ionen die Ladungen, aber nicht die Außenelektronen geschrieben. Bei der ausführlichen

Tabelle 18 Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise

Reaktionsgleichung	$2 \text{Na} + 2 \text{HCl} \longrightarrow 2 \text{NaCl} + \text{H}_2$
ausführliche Ionenschreibweise	$2 \text{Na} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{Cl}^- \longrightarrow 2 \text{Na}^+ + 2 \text{Cl}^- + \text{H}_2$
verkürzte Ionenschreibweise	$2 \text{Na} + 2 \text{H}^+ \longrightarrow 2 \text{Na}^+ + \text{H}_2$

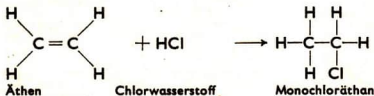
Ionenschreibweise werden alle Atome, Moleküle und Ionen, bei der verkürzten Ionenschreibweise nur die Teilchen, die direkt miteinander reagieren, berücksichtigt. Bei ausreichender Konzentration entsprechender Ionen kommt es zur Ausfällung von Ionenkristallen (Niederschlag). Das Ausfällen von Ionenkristallen ist als Umkehrung der Dissoziation aufzufassen.



Geben Sie im Reagenzglas zu einigen Magnesiumspänen verdünnte Salzsäure! Ein kleiner Teil der entstehenden Lösung wird eingedampft!

- a) Entwickeln Sie für die Reaktion zwischen Magnesium und Salzsäure die Reaktionsgleichung!
 b) Erläutern Sie die Änderung der Bindung zwischen den Teilchen der reagierenden Stoffe!
 c) Schreiben Sie die Reaktionsgleichung in ausführlicher Ionenschreibweise und in verkürzter Ionenschreibweise!

In organischen Verbindungen sind die Atome überwiegend durch Atombindung gebunden. Die gemeinsamen Elektronenpaare werden in Strukturformeln durch Striche gekennzeichnet. Die Verwendung von Strukturformeln erleichtert sehr oft das Verständnis für organisch-chemische Reaktionen.



- Entwickeln Sie für folgende Reaktionen die chemischen Gleichungen! Verwenden Sie für organische Stoffe Strukturformeln! Erläutern Sie die Änderung der Bindungen zwischen den Teilchen der reagierenden Stoffe a) Äthin reagiert mit Wasserstoff zu Äthan, b) Propan reagiert mit Chlor zu 1,3-Dichlorpropan und Chlorwasserstoff, c) Äthanol wird katalytisch in Äthanal und Wasserstoff gespalten.

Energetische Betrachtung der chemischen Reaktion

25

Mit der Änderung der Bindungsverhältnisse und der Art der Teilchen ändern sich bei chemischen Reaktionen auch die Energieverhältnisse. Die Reaktionswärme Q ergibt sich als Differenz des Energieinhaltes der Reaktionsprodukte und des Energieinhaltes der Ausgangsstoffe.

$$Q = (\text{Energieinhalt der Reaktionsprodukte}) - (\text{Energieinhalt der Ausgangsstoffe})$$

Negatives Vorzeichen von Q bedeutet, daß der Energiebetrag vom System an die Umgebung abgegeben wird (exotherme Reaktion).

Positives Vorzeichen von Q bedeutet, daß der Energiebetrag vom System aus der Umgebung aufgenommen wird (endotherme Reaktion). (↗ Beispiele in Chemie in Übersichten, S. 46)

- ① Vergleichen Sie den Energieinhalt der Ausgangsstoffe und den Energieinhalt der Reaktionsprodukte
a) bei exothermen Reaktionen, b) bei endothermen Reaktionen!
- ② Ammoniaksynthese und Kontaktverfahren sind technisch wichtige exotherme Reaktionen.
a) Entwickeln Sie die Reaktionsgleichungen mit Angabe der Art der Reaktionswärme! b) Welche technischen Maßnahmen sind nötig, um eine konstante Reaktionstemperatur einzuhalten?
- ③ Das Kalkbrennen, die Herstellung von Schwefeldioxid durch Reaktion von Anhydrit und Koks sowie die Herstellung von Kalziumkarbid sind technisch wichtige endotherme Reaktionen.
a) Entwickeln Sie die Reaktionsgleichungen mit Angabe der Art der Reaktionswärme! b) Welche technischen Maßnahmen sind nötig, um die notwendigen Reaktionstemperaturen einzuhalten?

Eine Reihe von exothermen Reaktionen wird technisch zur Erzeugung von Energie genutzt.

- ④ Geben Sie für fünf chemische Reaktionen, die technisch zur Erzeugung von Energie genutzt werden, die Reaktionsgleichungen und die Art der Reaktionswärme an!

Oft muß zum Auslösen chemischer Reaktionen zunächst Energie aufgewendet werden, um die Reaktionspartner zu aktivieren. Der Energiebetrag, der sich als Differenz des Energieinhalts der Ausgangsstoffe und des Energieinhalts der Stoffe im aktivierten Zustand ergibt, wird als Aktivierungsenergie bezeichnet. Für viele Reaktionen sind Aktivierung und Umsetzung zwei charakteristische Abschnitte im Reaktionsverlauf (Abb. 45).



Abb. 45 Reaktionsverlauf als einheitlicher Prozeß von Aktivierung und Umsetzung

Der Energieinhalt der Reaktionsprodukte ist immer niedriger als der Energieinhalt der Stoffe im aktivierten Zustand (Abb. 46).

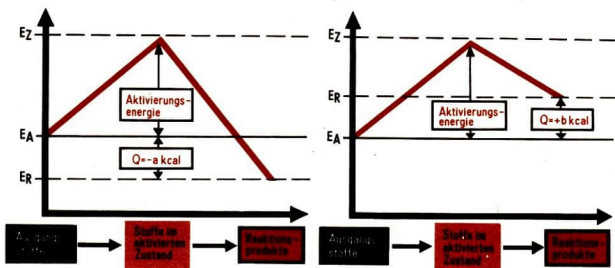


Abb. 46 Änderung des Energieinhalts bei chemischen Reaktionen

a) exotherme Reaktion, b) endotherme Reaktion

- ⑤ Erläutern Sie mit Hilfe der Abbildung 46 das Zustandekommen der Beträge für die Reaktionswärmen bei exothermen Reaktionen ($Q = -a \text{ kcal}$) und bei endothermen Reaktionen ($Q = +b \text{ kcal}$)!
- ⑥ Erklären Sie den Unterschied zwischen Aktivierungsenergie und Reaktionswärme!

39



Eisen wird mit Schwefel im stöchiometrischen Verhältnis zur Reaktion gebracht. Die Stoffumwandlung und die Änderung des Energieinhalts sind zu erklären. (↗ ▼ 6, S. 114)

Teilchen der Reaktionsprodukte können sich bilden, wenn Atome, Moleküle oder Ionen als Teilchen der Ausgangsstoffe wirksam zusammenstoßen. Ein wirksamer Zusammenstoß setzt das Zusammentreffen von Teilchen, die über den notwendigen Mindestbetrag an innerer Energie verfügen, in günstiger räumlicher Lage voraus. Ein wirksamer Zusammenstoß führt zunächst zu einem unbeständigen Atomverband der aktivierten Teilchen, bei denen die Bindungen gelockert sind und so leichter umgebaut werden können. Das Ergebnis wirksamer Zusammenstöße sind dann Teilchen der Reaktionsprodukte (Abb. 47).

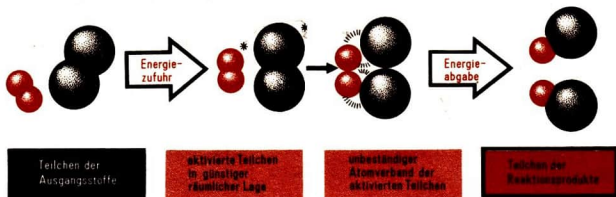


Abb. 47 Teilchenmäßige Deutung des Reaktionsverlaufs

- ⑦ a) Erklären Sie am Beispiel der Jodwasserstoffsynthese die Änderung der Art der Teilchen (Bindungsverhältnisse)! b) Deuten Sie den Ablauf der Reaktion als einheitlichen Prozeß von Aktivierung und Umsetzung teilchenmäßig! (↗ Chemie in Übersichten, S. 49)

Komplexe Betrachtung der chemischen Reaktion

26

Die chemische Reaktion ist ihrer Erscheinung nach Umwandlung von Stoffen unter Energieaustausch mit der Umgebung. Ihrem Wesen nach ist die chemische Reaktion Änderung der Bindungsverhältnisse zwischen Atomen und Ionen und Änderung der inneren Energie der reagierenden Stoffe.

- ⑧ Gegeben ist die Reaktion von Magnesium mit Sauerstoff
- a) Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung mit Angabe der Art der Reaktionswärme, und erläutern Sie den Stoffumsatz unter Verwendung der Einheit Mol! b) Diskutieren Sie die Änderung des Energieinhalts sowie die Art der Reaktionswärme! c) Erklären Sie die Änderung der Bindungsverhältnisse der reagierenden Stoffe!

- ① Begründen Sie, weshalb Vorhandensein, Mindestenergie, Bewegung und Zusammenstöße von Teilchen Voraussetzungen für den Ablauf chemischer Reaktionen sind! (↗ Chemie in Übersichten, S. 48)

Die chemische Reaktion als System umfaßt die reagierenden Stoffe und die Wechselwirkungen zwischen den Teilchen dieser Stoffe in Abhängigkeit von bestimmten Bedingungen. Die augenblickliche Beschaffenheit des Systems „chemische Reaktion“ wird durch die Zustandsgrößen Temperatur und Konzentration beziehungsweise Druck eindeutig beschrieben (Abb. 48).



Abb. 48 System „Chemische Reaktion“

- ② Geben Sie Definitionen und Einheiten der Zustandsgrößen Temperatur, Konzentration und Druck an! (↗ Chemie in Übersichten, S. 47)

Von den Beträgen der Zustandsgrößen hängt die Art und Weise des Reaktionsverlaufs eindeutig ab.

Die Konzentration der reagierenden Stoffe und die Temperatur beeinflussen die Reaktionsgeschwindigkeit.

- 40
▼ In einer quantitativen Untersuchung der Reaktion von Eisen mit Salzsäure wird die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration untersucht. (↗ ▼ 7, S. 115)

- 41
▼ Lehrereperiment. Zum Untersuchen der Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur wird Eisen unter sonst gleichen Bedingungen bei 20 °C, 30 °C und 40 °C mit 3%iger Salzsäure zur Reaktion gebracht (Abb. 49). Das in 30 s entwickelte Volumen Wasserstoff wird quantitativ bestimmt.

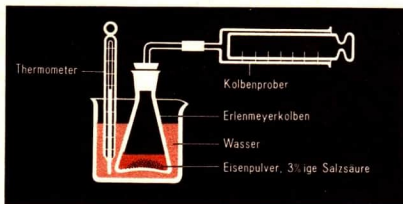


Abb. 49 Apparatur zur Untersuchung der Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur

- ③ Erklären Sie die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit. In welcher Größenordnung ändert sich die Reaktionsgeschwindigkeit bei Erhöhung der Temperatur um 10 °C? (↗ Chemie in Übersichten, S. 51)

Tabelle 19 Aussagen zur chemischen Reaktion

Chemische Reaktion	Erläuterungen
Voraussetzungen	Vorhandensein, Bewegung, Mindestenergie und Zusammenstöße von Teilchen
als System	Teilchen der reagierenden Stoffe und Wechselwirkungen zwischen den Teilchen im abgeschlossenen System
Zustandsgrößen als Reaktionsbedingungen	Temperatur, Konzentration beziehungsweise Druck
Erscheinung	Stoffumsatz und Energieaustausch mit der Umgebung (exotherm oder endotherm)
Wesen	Änderung der Bindungsverhältnisse der Teilchen und der inneren Energie der reagierenden Stoffe
Verlauf	Einheitlicher Prozeß von Aktivierung und Umsetzung
Geschwindigkeit	Abhängig von Temperatur und Konzentration (Druck)

Viele chemische Reaktionen sind umkehrbar. Sie verlaufen nicht vollständig. Ein besonderer Zustand im abgeschlossenen System ist das chemische Gleichgewicht.

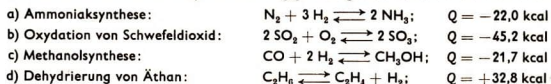
An der Bildung und Hydrolyse des Äthansäureäthylesters werden die wesentlichen Merkmale eines chemischen Gleichgewichts untersucht. (↗ ▼ 8, S. 116)

- ④ Stellen Sie die Merkmale des chemischen Gleichgewichts zusammen! (↗ Chemie in Übersichten, S. 51/52)
- ⑤ Formulieren Sie für folgende chemischen Reaktionen je ein Beispiel in der chemischen Zeichensprache unter Verwendung des Hin- und Rückpfeiles [und für a) und b) unter Angabe der Art der Reaktionswärme]:
- Bildung und Zerfall von Ammoniak,
 - Hydrierung und Dehydrierung von Kohlenwasserstoffen,
 - Fällung von Ionenkristallen und Dissoziation,
 - Esterbildung und -hydrolyse!

Die Lage des chemischen Gleichgewichts ist durch die Zustandsgrößen Temperatur und Konzentration beziehungsweise Druck eindeutig festgelegt. Die gesetzmäßige Abhängigkeit der Lage des chemischen Gleichgewichts von diesen Zustandsgrößen wird durch das Prinzip von Le Chatelier qualitativ erfaßt.

- ⑥ In welcher Weise wird die Lage des chemischen Gleichgewichts beeinflusst
- durch Erhöhung bzw. Erniedrigung der Temperatur,
 - durch Erhöhung bzw. Erniedrigung des Drucks,
 - durch Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Konzentration?
- (↗ Chemie in Übersichten, S. 52)

- ① Erklären Sie Druck- und Temperaturabhängigkeit folgender chemischer Reaktionen!



Die Lage des chemischen Gleichgewichts kennzeichnet das Verhältnis der Konzentrationen von Reaktionsprodukten und Ausgangsstoffen nach Einstellung des Gleichgewichts. Über die Geschwindigkeit, mit der die Einstellung des Gleichgewichts erfolgt, wird damit aber noch nichts ausgesagt. Die Einstellzeit des chemischen Gleichgewichts hängt von der Temperatur ab und kann außerdem durch Katalysatoren beeinflusst werden.

43
▼

Geben Sie 3 ml Wasserstoffperoxid in ein Reagenzglas und beobachten Sie! Fügen Sie dann eine Spatelspitze Braunstein hinzu! Das entweichende Gas ist nachzuweisen!

- ② a) Entwickeln Sie für die chemische Reaktion im Experiment 43 die Reaktionsgleichung! b) Erläutern Sie an Hand dieser Reaktion die Wirkungsweise eines Katalysators! (✓ Chemie in Übersichten, S. 53)

Die energetischen Verhältnisse beim Ablauf chemischer Reaktionen mit und ohne Katalysator sind in Abbildung 50 dargestellt.

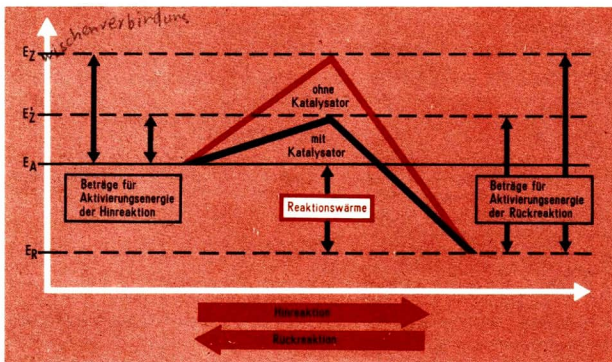


Abb. 50 Reaktionsverlauf mit und ohne Katalysator

- ③ Erläutern Sie die in Abbildung 50 dargestellten energetischen Verhältnisse beim Ablauf chemischer Reaktionen mit und ohne Katalysator!

Katalysatoren sind wegen der Herabsetzung der Reaktionszeit bei chemisch-technischen Prozessen von größter volkswirtschaftlicher Bedeutung.

- ④ a) Begründen Sie die volkswirtschaftliche Bedeutung von Katalysatoren! b) Stellen Sie aus „Chemie in Übersichten“ die optimalen Bedingungen für folgende Verfahren zusammen: Kontaktverfahren, Ammoniaksynthese und Methanolsynthese! Begründen Sie die gewählten Maßnahmen!

Tabelle 20 Chemisches Gleichgewicht und Katalyse

Begriff	Erläuterungen
Chemisches Gleichgewicht	Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte liegen im bestimmten Konzentrationsverhältnis gleichzeitig vor. Es gilt die Bedingung: $v_{\text{Hin}} = v_{\text{Rück}}$
Lage des Gleichgewichts	Eindeutig festgelegt durch bestimmte Beträge der Zustandsgrößen Temperatur und Konzentration beziehungsweise Druck
Verschiebung der Lage des Gleichgewichts	Nur möglich durch Änderung der Zustandsgrößen Temperatur und Konzentration beziehungsweise Druck (nach dem Prinzip von Le Chatelier)
Katalysator	Beeinflußt wesentlich die Einstellzeit, aber nicht die Lage des chemischen Gleichgewichts

Wiederholung und Übung

27

- Wie kann man entscheiden, ob ein Gas a) Chlor oder Stickstoff, b) Wasserstoff oder Kohlendioxid, c) Ammoniak, Sauerstoff oder Kohlenmonoxid ist?
- Geben Sie die chemischen Zeichen an für a) Phosphorsäure, b) Äthansäure, c) Eisen(III)-hydroxid, d) Wolfram, e) Kupfer(II)-phosphat, f) 2-Aminopropansäure (Alanin), g) Stickstoff und h) Butanol-(1)!
- Entwickeln Sie aus folgenden Wortgleichungen die Reaktionsgleichungen:
 - Phosphorpentoxid + Wasser $\longrightarrow$ Phosphorsäure,
 - Eisen(III)-oxid + Kohlenmonoxid $\longrightarrow$ Eisen + Kohlendioxid,
 - Äthan + Chlor $\longrightarrow$ 1,2-Dichloräthan + Chlorwasserstoff,
 - Äthansäure + Zink $\longrightarrow$ Zinkacetat + Wasserstoff!
- Entwickeln Sie für folgende technisch wichtige Reaktionen die chemischen Gleichungen (✓ Chemie in Übersichten):
 - Herstellung von Eisen nach dem aluminothermischen Verfahren, b) Kalkbrennen, c) Herstellung von Löschkalk aus Brannkalk, d) Ammoniaksynthese, e) Herstellung von Äthin aus Kalziumkarbid, f) Herstellung von Äthanol durch Synthese!
- Lesen Sie folgende chemische Gleichungen unter Verwendung der Einheit Mol!
 - $\text{CH}_3\text{OH} + 3 \text{CuO} \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{Cu}$
 - $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \longrightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$
 - $2 \text{CaSO}_4 + \text{C} \longrightarrow 2 \text{CaO} + \text{CO}_2 + 2 \text{SO}_2$

6. Errechnen Sie die Dichte
 - a) von Äthan und b) von Sauerstoff!
7. Welche Masse haben folgende Stoffmengen?
 - a) $2 \text{ Fe}_3\text{O}_4$, b) CaSO_4 , c) $3 \text{ C}_6\text{H}_6$, d) $2 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}$, e) 4 Pb , f) $2 \text{ Al}(\text{NO}_3)_3$.
8. Welche Masse und welches Volumen haben folgende Stoffmengen einiger Gase?
 - a) 2 O_2 , b) CO_2 , c) $3 \text{ C}_3\text{H}_8$.
9. Erläutern Sie die chemischen Grundlagen der Herstellung von Kalziumkarbid und die technische Bedeutung von Äthin!

Welches Volumen Äthin kann man im Normzustand aus 50 kg Kalziumkarbid theoretisch gewinnen?
10. Erläutern Sie die chemischen Grundlagen für die technische Herstellung von Äthanol durch Synthese!

Welches Volumen Äthen ist zur Herstellung von 80 kg Äthanol nötig? In welchem Massenverhältnis sind Äthen und Wasser zur Reaktion zu bringen, wenn vollständiger Umsatz angenommen werden soll?
11. In einem Experiment werden 2 g Magnesium mit Salzsäure umgesetzt. Der entweichende Wasserstoff soll quantitativ aufgefangen werden. Begründen Sie durch Berechnung, welches der folgenden Auffanggeräte verwendet werden kann!
 - a) Kolbenprober mit 100 ml Inhalt, b) Gasmeßglocke mit 1 l Inhalt, c) Gasometer mit 3 l Inhalt.
12. Beschreiben Sie den Bau der Atomhülle von den Atomen der Elemente in der III. Hauptgruppe des Periodensystems!
13. Was können Sie auf Grund der Stellung im Periodensystem über Atombau und chemische Eigenschaften der Elemente Selen und Zäsium aussagen?
14. Geben Sie die Außenelektronen der Atome der Elemente der 2. Periode des Periodensystems am Elementsymbol an!
15. Formulieren Sie die Bildung folgender Ionen unter Verwendung der Elektronenschreibweise: a) Sulfid-Ionen, b) Barium-Ionen, c) Aluminium-Ionen, d) Bromid-Ionen!
16. Ermitteln Sie die Bindungsart in den Stoffen a) Natrium, b) Wasserstoff, c) Schwefelwasserstoff, d) Kalziumoxid, e) Magnesiumoxid, f) Siliziumdioxid!
17. Gegeben ist die Reaktionsgleichung

$$2 \text{ KBr} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2 \text{ KCl} + \text{Br}_2$$
 - a) Schreiben Sie die Stoffe in Elektronenschreibweise! b) Geben Sie die Art der Teilchen und die Bindungsart an! c) Erläutern Sie die Änderung der Bindung durch Veränderung der Verteilung der Außenelektronen! d) Zu welcher Art ist die Reaktion zu zählen?
18. Schreiben Sie die Reaktionsgleichungen in verkürzter Ionenschreibweise!
 - a) $\text{Zn} + 2 \text{ H}^+ + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2$
 - b) $\text{K}^+ + \text{Cl}^- + \text{Ag}^+ + \text{NO}_3^- \longrightarrow \text{AgCl} + \text{K}^+ + \text{NO}_3^-$
 - c) $2 \text{ H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{2+} + 2 \text{ Cl}^- \longrightarrow \text{CaSO}_4 + 2 \text{ H}^+ + 2 \text{ Cl}^-$
 - d) $2 \text{ Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + 2 \text{ H}^+ + 2 \text{ Cl}^- \longrightarrow 2 \text{ Na}^+ + 2 \text{ Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
19. Geben Sie die Strukturformeln an für a) Pentan, b) Äthanol, c) Propantriol-(1.2.3), d) Butin-(1)!

20. Geben Sie die Strukturformeln an für a) 2-Methylpentan, b) 3-Methyl-4-äthylheptan, c) 2,2-Dimethylpropan!
21. Gegeben ist die Reaktionsgleichung
 $2 \text{CaSO}_4 + \text{C} \longrightarrow 2 \text{CaO} + \text{CO}_2 + 2 \text{SO}_2$; $Q = +130 \text{ kcal}$.
 a) Welche Masse Kalziumoxid fällt bei der Reaktion von 40 t Kalziumsulfat theoretisch an? b) Welches Volumen Schwefeldioxid erhält man dabei? c) Berechnen Sie die erforderliche Wärmeenergie!
22. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen Druck und Konzentration bei reinen Gasen!
23. Schwefel verbrennt in reinem Sauerstoff viel heftiger als an Luft. Erklären Sie diesen Sachverhalt!
24. Ermitteln und begründen Sie günstige Reaktionsbedingungen für eine höchstmögliche Ausbeute an
 a) Wasserstoff im Gleichgewicht
 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$; $Q = -10 \text{ kcal}$ *exotherm*
 b) Äthan im Gleichgewicht
 $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_6$; $Q = -32,8 \text{ kcal}$ *exotherm*
25. Erläutern Sie folgende Beziehungen: a) Katalysator und Lage des chemischen Gleichgewichts, b) Katalysator und Reaktionsgeschwindigkeit, c) Katalysator und Aktivierungsenergie, d) Katalysator und Reaktionswärme!

Klassifizierung chemischer Reaktionen

28

Die vielen chemischen Reaktionen kann man nach einheitlichen Gesichtspunkten wenigen Reaktionsarten zuordnen. Es gibt keinen prinzipiellen Unterschied zwischen anorganisch-chemischen und organisch-chemischen Reaktionen. Es hat sich aber als zweckmäßig erwiesen, anorganisch-chemische Reaktionen vorwiegend nach dem Übergang von Ionen, Elektronen oder Protonen zwischen den Teilchen der Ausgangsstoffe zu beurteilen. Es werden Fällungsreaktionen, Redoxreaktionen und Reaktionen mit Protonenübergang unterschieden. Reaktionen zwischen organisch-chemischen Verbindungen, in denen vorwiegend Atombindungen oder Atombindungen mit teilweisem Ionencharakter vorliegen, klassifiziert man nach dem zu beobachtenden Stoffumsatz. Als Reaktionstypen lassen sich Addition, Substitution und Eliminierung unterscheiden. Es ist möglich, daß einzelne Reaktionen verschiedenen Reaktionsarten zugeordnet werden können.

Tabelle 21 Übersicht zur Klassifizierung wichtiger chemischer Reaktionen

Reaktionsart	Merkmale	■
Fällungsreaktionen	meist Vereinigung von Ionen zu Ionenkristallen	Vereinigen von Silber- und Chlorid-Ionen: $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \longrightarrow \text{AgCl}$

Tabelle 21 (Fortsetzung)

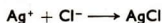
Reaktionsart	Merkmale	■
Redoxreaktionen	Veränderung der Oxydationszahlen	Reaktion von Magnesium mit Salzsäure: $\begin{array}{ccccccc} \pm 0 & & +1 & & +2 & & \pm 0 \\ \text{Mg} + 2 \text{HCl} & \longrightarrow & \text{MgCl}_2 & + & \text{H}_2 \end{array}$
Reaktionen mit Protonenübergang	Übergang von Protonen bei den reagierenden Stoffen	Reaktion von Magnesiumoxid mit einer Säure: $\text{MgO} + 2 \text{H}^+ \longrightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
Substitution	Austausch gebundener Atome (Atomgruppen) durch andere Atome (Atomgruppen)	Reaktion von Chlor mit Methan: $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$
Addition	Vereinigung von mehreren Molekülen zu einem Molekül	Reaktion von Brom mit Äthen: $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$
Eliminierung	Abspaltung von Atomen (Atomgruppen) aus Molekülen	Abspaltung von Wasserstoff aus Äthan (Dehydrierung): $\text{C}_2\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$

Fällungsreaktionen

29

Fällungsreaktionen sind gekennzeichnet durch Bildung von Niederschlägen. Zur Bildung von Niederschlägen kommt es meist durch Vereinigung frei beweglicher Ionen zu Ionenkristallen. Auf diese Weise werden schwerlösliche Verbindungen bei Vorhandensein ausreichender Konzentrationen an Ionen, die Bestandteile dieser Verbindungen sind, aus der Lösung ausgefällt.

■ Gibt man beispielsweise eine Lösung, in der sich Chlorid-Ionen befinden, zu einer Lösung, in der Silber-Ionen vorhanden sind, dann kommt es zur Fällung von schwerlöslichem Silberchlorid. Zur Darstellung solcher Reaktionen bedient man sich der Reaktionsgleichung in verkürzter Ionenschreibweise:



44  Geben Sie in Reagenzgläsern folgende Lösungen zusammen, und erklären Sie Ihre Beobachtungen!

a) Natriumkarbonatlösung und Kalziumhydroxidlösung, b) verdünnte Schwefelsäure und Bariumchloridlösung, c) Schwefelwasserstofflösung und Bleiazetatlösung, d) verdünnte Salzsäure und Silbernitratlösung.

- ① Formulieren Sie für die Fällung der Niederschläge bei Experiment 44 die Reaktionsgleichungen in verkürzter Ionenschreibweise!

Die Reaktionen von Experiment 44 werden zum Nachweis von Karbonat-, Sulfat-, Sulfid- und Chlorid-Ionen in Lösungen angewendet.

- ② Stellen Sie Nachweismittel und Bedingungen für den Nachweis von Karbonat-, Sulfat-, Sulfid- und Chlorid-Ionen zusammen! (↗ Chemie in Übersichten, S. 128)

45
▼

Einige reine Substanzen werden auf Vorhandensein von Chlorid-, Sulfat- und Karbonat-Ionen geprüft. (↗ ▼ 9, S. 118)

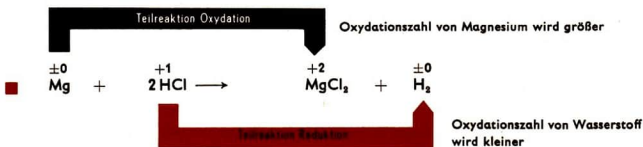
Redoxreaktionen

30

Redoxreaktionen sind gekennzeichnet durch Veränderung der Oxydationszahlen von Elementen in den reagierenden Stoffen. Oxydationszahlen geben die Ladungen an, die man freien Elementen oder Elementen in Verbindungen zuordnen müßte, wenn diese aus einzelnen Ionen aufgebaut wären.

- ③ Geben Sie die Oxydationszahlen an (↗ Chemie in Übersichten, S. 41): a) für Kupfer in Cu_2O und CuCl_2 , b) für Kohlenstoff in CH_4 und CO_2 , c) für Chlor in Cl_2 , HCl und HClO_4 , d) für Schwefel in H_2SO_4 , SO_2 und H_2S , e) für Stickstoff in NH_3 , NO und HNO_3 !

Die Redoxreaktion ist ein einheitlicher Prozeß von Oxydation und Reduktion.



- ④ Erklären Sie die Begriffe Oxydation, Reduktion, Oxydationsmittel und Reduktionsmittel! (↗ Chemie in Übersichten, S. 55)
- ⑤ Geben Sie in folgenden Redoxgleichungen die Oxydationszahlen an, und kennzeichnen Sie jeweils die Teilreaktionen Oxydation und Reduktion!
- a) $\text{ZnO} + \text{Mg} \longrightarrow \text{Zn} + \text{MgO}$, c) $\text{Fe} + \text{S} \longrightarrow \text{FeS}$,
 b) $\text{Ca} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2$, d) $2\text{CaSO}_4 + \text{C} \longrightarrow 2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 + \text{CO}_2$.

46
▼

Geben Sie im Reagenzglas zu einigen Kalziumspänen Wasser! Weisen Sie Wasserstoff als Reduktionsprodukt nach, und prüfen Sie die Lösung mit einem Indikator!

- ⑥ Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung in verkürzter Ionenschreibweise, und überprüfen Sie, ob eine Redoxreaktion vorliegt!

47
▼

Lösen Sie einige Kristalle Kaliumbromid in etwa 2 ml Wasser auf! Setzen Sie etwa 1 ml Chlorwasser zu! Das Reaktionsprodukt ist mit 1 ml Tetrachlormethan auszuschütteln!

- ⑦ Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung, und kennzeichnen Sie die Reaktion von Experiment 47 als Redoxreaktion! Nennen Sie a) das Reduktionsmittel und b) das Oxydationsmittel!

Bringen Sie in Reagenzgläsern folgende Stoffe zur Reaktion:

a) Zink und verdünnte Salzsäure, b) Magnesium und verdünnte Schwefelsäure, c) Kupfer und verdünnte Salzsäure, d) Magnesium und verdünnte Äthansäure (Essigsäure)!

- ① Entwickeln Sie für die Fälle, in denen eine Reaktion zu beobachten war, die Reaktionsgleichung! Überprüfen Sie, welche Reaktionen Redoxreaktionen sind!

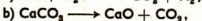
Geben Sie zu je 1 ml Methanallösung a) 4 ml Fehlingsche Lösung, b) 4 ml ammoniakalische Silbernitratlösung! Erhitzen Sie vorsichtig zum Sieden, und deuten Sie Ihre Beobachtungen!

- ② Die Reaktionen von Experiment 49 können durch folgende Gleichungen beschrieben werden:



Weisen Sie nach, daß es sich um Redoxreaktionen handelt! Nennen Sie jeweils das Reduktionsmittel und das Oxydationsmittel!

- ③ Entscheiden Sie mit Hilfe der Änderung der Oxydationszahlen, welche der folgenden Reaktionen Redoxreaktionen sind! Begründen Sie Ihre Entscheidung!



Reaktionen mit Protonenübergang

31

Bei Reaktionen mit Protonenübergang gehen Protonen von einem reagierenden Stoff auf einen anderen über. Um chemische Reaktionen als Reaktionen mit Protonenübergang beurteilen zu können, entwickelt man die Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise. Oft vereinigen sich Wasserstoff-Ionen mit anderen Ionen zu Verbindungen, in denen überwiegend Atombindung vorliegt.

- So reagieren beispielsweise bei Neutralisationsreaktionen Wasserstoff-Ionen und Hydroxid-Ionen zu Wassermolekülen:



Geben Sie in zwei 25-ml-Erlenmeyerkolben je 2 ml verdünnte Natriumhydroxidlösung, 10 ml Wasser und 3 Tropfen Unitestlösung! a) Tropfen Sie in einen Erlenmeyerkolben mit dem Halbmikrotropfer verdünnte Salzsäure bis zur neutralen Reaktion ($\text{pH} = 7$)! b) In den zweiten Erlenmeyerkolben geben Sie in entsprechender Weise verdünnte Äthansäure (Essigsäure)!

- ④ Entwickeln Sie für beide Reaktionen die Reaktionsgleichungen und die Reaktionsgleichungen in Ionenschreibweise! Zu welcher Art chemischer Reaktionen sind die Reaktionen zu zählen?

Geben Sie zu etwas festem Ammoniumchlorid im Becherglas mit dem Halbmikrotropfer Natriumhydroxidlösung! Führen Sie vorsichtig die Geruchsprobe aus! Halten Sie über das Becherglas einen Streifen feuchtes Indikatorpapier oder einen Glasstab, der mit konzentrierter Salzsäure benetzt ist! Deuten Sie Ihre Beobachtungen!

- ⑤ Entwickeln Sie Reaktionsgleichung und Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise für a) die Reaktion zwischen Ammoniumchlorid und Natriumhydroxidlösung, b) für die Reaktion von Ammoniak mit Chlorwasserstoff!
Überprüfen Sie, ob es sich um Reaktionen mit Protonenübergang handelt!

52
▼

Geben Sie in Reagenzgläsern verdünnte Salzsäure a) auf Natriumkarbonat, b) auf Kalziumkarbonat! Führen Sie vorsichtig die Geruchsprobe aus, und deuten Sie Ihre Beobachtungen!

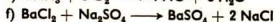
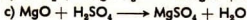
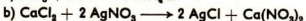
- ⑥ Entwickeln Sie für beide Reaktionen von Experiment 52 Reaktionsgleichung und Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise! Stellen Sie die Reaktionsart dieser Reaktionen fest!

Die Reaktionen aus den Experimenten 51 und 52 werden zum Nachweis von Ammonium- und Karbonat-Ionen benutzt.

Tabelle 22 Reaktionen mit Protonenübergang als Nachweisreaktionen

nachzuweisende Ionen	Nachweismittel	Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise
Ammonium-Ionen NH_4^+	Natriumhydroxidlösung; Nachweis des entstehenden Ammoniaks mit feuchtem Unitestpapier oder mit Chlorwasserstoff	$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
Karbonat-Ionen CO_3^{2-}	verdünnte Salzsäure; Nachweis des entstehenden Kohlendioxids mit Kalziumhydroxidlösung	$\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

- ⑦ Schreiben Sie folgende Gleichungen — wenn möglich — in verkürzter Ionenschreibweise, und ordnen Sie die entsprechenden Reaktionen den Fällungsreaktionen, den Redoxreaktionen oder den Reaktionen mit Protonenübergang zu!



Addition

32

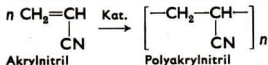
Additionen sind chemische Reaktionen, bei denen mehrere Moleküle zu einem neuen Molekül vereinigt werden. Addition setzt Mehrfachbindungen in den Molekülen mindestens bei einem der Ausgangsstoffe voraus. Es entstehen keine Nebenprodukte. Die Addition von Wasserstoff (Hydrierung), Wasser, Halogenen, Halogenwasserstoffen an ungesättigte Verbindungen sowie die Polymerisation sind wichtige Reaktionen, die zu diesem Reaktionstyp gehören.

- ① Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die vollständige Hydrierung folgender Stoffe, und erläutern Sie an diesen Beispielen die Addition mit:
a) Äthin, b) Propen, c) Benzol, d) Äthanal!

Die Addition von Brom mit ungesättigten Verbindungen (Entfärben von Bromwasser) benutzt man zum Nachweis von Mehrfachbindungen.

- 53
▼
- a) Lösen Sie in zwei Reagenzgläsern von den fetten Ölen Rapsöl und Leinöl je 2 ml in Tetrachlormethan, und schütteln Sie die Lösung mit etwa 1 ml Bromwasser!
b) Schütteln Sie etwa 5 ml Vergaserkraftstoff mit 2 ml Bromwasser!
- ② Deuten Sie die Ergebnisse des Experiments 53! Geben Sie für die Addition von Brom mit Äthen die Reaktionsgleichung mit Strukturformeln an!
- ③ Formulieren Sie für die Additionsreaktionen unter folgenden Reaktionen die Gleichungen bei Verwendung vereinfachter Strukturformeln für die organischen Verbindungen:
- a) Äthen + Chlorwasserstoff $\longrightarrow$ Monochloräthan
 - b) Propan + Sauerstoff $\longrightarrow$ Kohlendioxid + Wasser
 - c) Äthanal + Wasserstoff $\longrightarrow$ Äthanol
 - d) Benzol + Wasserstoff $\longrightarrow$ Zylohexan
 - e) Äthen $\longrightarrow$ Äthin + Wasserstoff

Eine besondere Art der Addition ist die Polymerisation. Die Polymerisation einfacher Moleküle von ungesättigten Verbindungen führt zu Makromolekülen. Solche makromolekularen Stoffe sind die Grundlage für die Produktion von Plasten, Elasten und Chemiefaserstoffen, die wegen ihrer besonderen Werkstoffeigenschaften von hervorragender volkswirtschaftlicher Bedeutung sind.



Polyäthylen, Polyvinylchlorid und Polystyrol sind technisch wichtige makromolekulare Stoffe, die durch Polymerisation hergestellt werden.

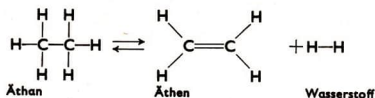
Geben Sie für jeden dieser Stoffe an:

- a) Strukturformel und Namen der Ausgangsverbindung, b) Reaktionsgleichung für die Polymerisationsreaktion, c) wichtige Eigenschaften des Polymerisationsproduktes als Werkstoff, d) technische Verwendung des Polymerisationsproduktes in der DDR!
- (↗ Chemie in Übersichten, S. 153)

Eliminierung

33

Eliminierungen sind chemische Reaktionen, bei denen aus Molekülen der Ausgangsstoffe Atome oder Atomgruppen abgespalten werden. Die abgespaltenen Atome oder Atomgruppen werden nicht durch andere Atome oder Atomgruppen ersetzt. Die Eliminierung von Wasserstoff (Dehydrierung) und von Wasser sowie die Spaltung großer Moleküle in mehrere kleine Moleküle durch Kracken sind wichtige Reaktionen, die diesem Reaktionstyp zuzuordnen sind.



54 Aus Äthanol wird durch Eliminierung von Wasser Äthen dargestellt, pneumatisch aufgefangen und nachgewiesen. (↗ ▼ 10, S. 119)

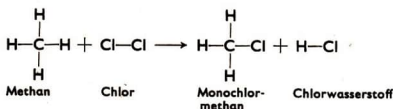
55 Äthanol wird katalytisch dehydriert. Die Reaktionsprodukte sind nachzuweisen. (↗ ▼ 11, S. 120)

- ⑤ Bei der Herstellung von Petrochemikalien spielt das Cracken eine große Rolle. Entwickeln Sie für die Alkane a) Heptan und b) Nonan je eine Reaktionsgleichung für einen möglichen Crackverlauf!

Substitution

34

Substitutionsreaktionen sind dadurch gekennzeichnet, daß gebundene Atome oder Atomgruppen durch andere Atome oder Atomgruppen ersetzt werden. Die Reaktionen von Kohlenwasserstoffen mit Halogenen, die Bildung und der Zerfall der Ester sowie die Kondensation sind wichtige Reaktionen dieses Reaktionstyps.



- ⑥ Entwickeln Sie für folgende Reaktionen die chemischen Gleichungen, und weisen Sie nach, daß es sich um Substitutionsreaktionen handelt!

- Äthan + Chlor $\longrightarrow$ 1,2-Dichloräthan + Chlorwasserstoff,
- Benzol + Brom $\longrightarrow$ Monobrombenzol + Bromwasserstoff,
- Äthanol + Äthansäure $\rightleftharpoons$ Äthansäureäthylester + Wasser.

Bei der Herstellung von Phenoplasten, Aminoplasten und Polyamiden werden Makromoleküle durch Polykondensation gebildet. Unter Kondensation versteht man eine chemische Reaktion, bei der sich jeweils 2 Moleküle unter Abspaltung eines einfach gebauten dritten Moleküls vereinigen.

56 Durch Polykondensation wird aus Resorzin (1,3-Dihydroxybenzol) und Methanal ein Phenoplast hergestellt. (↗ ▼ 12, S. 122)

- ⑦ Ordnen Sie mit Begründung folgende Reaktionen den Reaktionstypen Addition, Eliminierung und Substitution zu!

- $\text{C}_6\text{H}_{18} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_8 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{KOH} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{KCl}$
- $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$
- $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{HCl}$
- $\text{C}_3\text{H}_8 + 2 \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2 + 2 \text{HCl}$
- $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

In Wissenschaft und Produktion spielt die Untersuchung von Stoffen auf das Vorhandensein bestimmter Bestandteile eine große Rolle. Die Untersuchung von Stoffen mit Hilfe von Nachweisreaktionen nennt man qualitative Analyse. Für die Untersuchung von Düngemitteln und ihren wäßrigen Lösungen beispielsweise können die

Tabelle 23 Nachweis von Ionen in Düngemitteln und deren Lösungen

nachzuweisende Ionen	Nachweismittel	Bedingungen	positiver Ausfall/ chemische Gleichung
a) in der festen Substanz			
(1) Ammonium-Ionen NH_4^+	Natriumhydroxid-Lösung	Nachweis des Ammoniaks mit feuchtem Unitestpapier oder ² mit Chlorwasserstoff	$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ Ammoniakgeruch, Blaufärbung von Unitestpapier Rauchbildung
(2) Karbonat-Ionen CO_3^{2-}	verdünnte Salzsäure	Nachweis des Kohlendioxids mit Kalziumhydroxidlösung	$\text{CO}_3^{2-} + 2 \text{H}^+ \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ farb- und geruchloses Gas, weißer Niederschlag
b) in der Lösung der Substanz			
(3) Wasserstoff-Ionen H^+	Unitestindikator		Rotfärbung
(4) Hydroxid-Ionen OH^-	Unitestindikator		Blaufärbung
(5) Chlorid-Ionen Cl^-	Silbernitratlösung	Ansäuern mit Salpetersäure	weißer, käsiger Niederschlag $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \longrightarrow \text{AgCl}$
(6) Sulfat-Ionen SO_4^{2-}	Bariumchlorid-Lösung	Ansäuern mit Salzsäure	weißer, kristalliner Niederschlag $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{BaSO}_4$
(7) Nitrat-Ionen NO_3^-	gesättigte Eisen(II)-sulfat-Lösung	Versetzen mit konzentrierter Schwefelsäure	Braunfärbung an der Grenzfläche

in Tabelle 23 zusammengefaßten Nachweisreaktionen herangezogen werden. In Wissenschaft und Produktion bedient man sich heute in zunehmendem Maße physikalischer Methoden zum Nachweis der Stoffe.

Außer den Bestandteilen der Salze in den Düngemitteln interessiert für den praktischen Einsatz noch der pH-Wert der wäßrigen Lösung des Düngemittels, denn das Gedeihen verschiedener Kulturen hängt von ganz bestimmten pH-Werten des Bodens ab. Die wäßrige Lösung eines Düngemittels kann mit Unitestpapier auf saure, basische und neutrale Reaktion geprüft werden.

Die Zusammensetzung sowie die Reaktion der wäßrigen Lösung eines Düngemittels werden qualitativ untersucht. (↗ ▼ 13, S. 123)

Wiederholung und Übung

36

- Formulieren Sie für die Fällung folgender schwerlöslicher Verbindungen die Reaktionsgleichungen in verkürzter Ionenschreibweise: a) Kalziumsulfat, b) Silberjodid, c) Kalziumhydroxid, d) Silberbromid!
- Nennen Sie Lösungen, die man zusammengeben müßte, um folgende schwerlösliche Verbindungen zu erhalten: a) Kalziumsulfat, b) Kalziumhydroxid, c) Silberbromid, d) Silberjodid!
- Wie könnte man folgende Ionen in Lösung nachweisen: a) Kalzium-Ionen, b) Silber-Ionen, c) Blei-Ionen?
- Begründen Sie, daß alle Reaktionen, die unter Aufnahme beziehungsweise Abgabe von Sauerstoff verlaufen, Redoxreaktionen sind!
- Geben Sie die Oxydationszahlen an a) für Eisen in FeO , FeCl_3 , FeS , FeSO_4 ; b) für Mangan in MnO_2 , MnSO_4 , KMnO_4 !
- Geben Sie in folgenden Verbindungen für das Kohlenstoffatom mit der funktionellen Gruppe die Oxydationszahl an a) CH_3COOH , b) HCHO , c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$!
- Entscheiden Sie mit Hilfe der Oxydationszahlen, welche der folgenden Reaktionen Redoxreaktionen sind:
 - $2 \text{Mg} + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{MgO}$
 - $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 - $2 \text{HgO} \longrightarrow 2 \text{Hg} + \text{O}_2$
 - $\text{Ca} + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CaCl}_2$
 - $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$
- a) Erläutern Sie das Wesen der Neutralisation! b) Erläutern Sie die Änderung der Bindungsverhältnisse bei einer Neutralisation!
- Erläutern Sie den Protonenübergang und die Änderung der Bindungsverhältnisse bei den Reaktionen:
 - $\text{NH}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$
 - $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- Entwickeln Sie für folgende Reaktionen die chemischen Gleichungen: a) Hydrierung von Propen, b) Addition von Chlor mit Buten-(1), c) Reaktion von 1 mol Äthin mit 1 mol Wasserstoff!

11. Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für folgende Reaktionen, und kennzeichnen Sie den Reaktionstyp:
 - a) Reaktion zwischen Propanal und Wasserstoff,
 - b) Äthanol + Äthansäure $\longrightarrow$ Äthansäureäthylester + Wasser,
 - c) Methan + Chlor $\longrightarrow$ Monochlormethan + Chlorwasserstoff,
 - d) Methanolsynthese!
12. Erläutern Sie die Beziehung zwischen Addition und Eliminierung an einem selbstgewählten Beispiel!
13. Erläutern Sie, auf welche Weise die Lage des folgenden chemischen Gleichgewichts so verschoben werden kann, daß möglichst viel Äthen entsteht!

$$\text{C}_2\text{H}_6 \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2; \quad Q = +32,8 \text{ kcal}$$
14. Entwickeln Sie chemische Gleichungen, und entscheiden Sie bei folgenden Reaktionen, ob es sich um Eliminierungen handelt!
 - a) Propanol $\longrightarrow$ Propen + Wasser
 - b) Pentan + Sauerstoff $\longrightarrow$ Kohlendioxid + Wasser
 - c) Äthanol $\longrightarrow$ Äthanal + Wasserstoff
 - d) alkoholische Gärung
15. Formulieren Sie je eine chemische Gleichung für die Bildung von 1.2-Dibromäthan a) durch Addition, b) durch Substitution!
16. Formulieren Sie je eine chemische Gleichung für die Bildung von Propen a) durch Addition, b) durch Eliminierung!
17. Weisen Sie bei folgenden Reaktionen nach, daß es sich um Substitutionsreaktionen handelt! Erläutern Sie die Änderung der Bindungsverhältnisse!
 - a) $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{KOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{KCl}$
 - b) $2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{Na} \longrightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2$

Die Wissenschaft Chemie als Produktivkraft

Chemie und wissenschaftlich-technischer Fortschritt in der Deutschen Demokratischen Republik

37

In Wissenschaft, Technik und Produktion vollziehen sich gegenwärtig große Veränderungen. Dieser Prozeß, der sich auch in der Deutschen Demokratischen Republik zu entfalten beginnt, wird **wissenschaftlich-technische Revolution** genannt. Die wissenschaftlich-technische Revolution ist ein komplexer gesellschaftlicher Prozeß. Er führt vor allem zu qualitativen, grundlegenden Veränderungen der gesellschaftlichen Produktivkräfte.

Die konkrete historische Entwicklung der gesellschaftlichen Produktivkräfte vollzieht sich stets durch evolutionäre und revolutionäre Veränderungen. Diese sind mit den jeweiligen Produktionsverhältnissen verbunden. Die Veränderungen sind Ausdruck des **wissenschaftlich-technischen Fortschritts**. Mit ihm werden die materiell-technischen Faktoren der Produktion vervollkommen oder neu entwickelt.

Die revolutionären Veränderungen in der Entwicklung von Wissenschaft, Technik und Produktion und ihre breite Anwendung sind Ausdruck der wissenschaftlich-technischen Revolution. Sie ist ein Teilprozeß des wissenschaftlich-technischen Fortschritts.

Bei evolutionären Veränderungen vollzieht sich die Vervollkommen der Technologie, der Technik und der Arbeitsgegenstände im wesentlichen im Rahmen bekannter wissenschaftlich-technischer Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien.

Die Werktätigen richten ihre schöpferischen Fähigkeiten im Sozialismus darauf, folgende Merkmale der wissenschaftlich-technischen Revolution zu verwirklichen:

- Die Wissenschaft wird immer mehr zur unmittelbaren **Produktivkraft**, weil ihre Erkenntnisse und Ergebnisse zu einer unentbehrlichen Grundlage der Produktion, ihrer Modernisierung und Erneuerung werden.
- Mit der planmäßigen Verbindung von Wissenschaft und Produktion vollziehen sich weitgehende Veränderungen in der materiell-technischen Basis der Volkswirtschaft.
- Dieser Prozeß bewirkt eine grundlegende Veränderung der Produktivkräfte, deren Entwicklung sich niemals losgelöst von den herrschenden Produktionsverhältnissen vollzieht.

Die Ergebnisse des wissenschaftlich-technischen Fortschritts werden zur weiteren Erhöhung des materiellen und kulturellen Lebensniveaus des Volkes genutzt. Sie sind wesentliche Grundlagen für den Erfolg des Sozialismus im Kampf gegen den Imperialismus auf ideologischem, ökonomischem und sozialem Gebiet. Der Imperialismus verfügt

über große wirtschaftliche Kräfte. Er unternimmt alle Anstrengungen, die wissenschaftlich-technische Revolution für seine Zwecke auszunutzen. Die wissenschaftlich-technische Revolution in den kapitalistischen Ländern wird nur im Interesse der Monopole durchgeführt. Das Ziel besteht in der Erhöhung des Profits und richtet sich gegen soziale Sicherheit und Wohlstand der werktätigen Menschen. ① ② (S. 97)

In der Deutschen Demokratischen Republik wird auch die **Wissenschaft Chemie** immer mehr zur unmittelbaren Produktivkraft. Sie wird von der Arbeiterklasse im festen Bündnis mit der Intelligenz und anderen Werktätigen bewußt entwickelt. Die gewonnenen Erkenntnisse tragen sowohl zur Entwicklung der chemischen Industrie als auch der Chemisierung unserer Volkswirtschaft bei. Wissenschaft Chemie und chemische Produktion beeinflussen sich wechselseitig.

► **Die Wissenschaft Chemie wird immer mehr zur unmittelbaren Produktivkraft. Vom Verlauf der Wissenschaft Chemie wird die Effektivität der chemischen Produktion mitbestimmt.**

Eine wesentliche Aufgabe des wissenschaftlich-technischen Fortschritts besteht in der weiteren Durchführung der **Chemisierung der Volkswirtschaft**.

Durch zunehmenden Einsatz von Werkstoffen und Verfahren der chemischen Industrie in fast allen Zweigen unserer Volkswirtschaft treten große Veränderungen in der Fertigungsstruktur ein. Der Gebrauchswert der Erzeugnisse steigt wesentlich. Die Wirtschaftlichkeit in allen Bereichen unserer Industrie erhöht sich. Hauptträger der Chemisierung ist die **chemische Industrie**. Sie ist, ausgehend von den Ergebnissen der Wissenschaft Chemie, in der Lage, z. B. „Werkstoffe nach Maß“ herzustellen und für den Einsatz in den verarbeitenden Zweigen der Volkswirtschaft vorzubereiten sowie durch Einführung hochproduktiver chemischer Verfahren in anderen Zweigen bisher angewandte kosten- und zeitaufwendige Fertigungstechnologien abzulösen. Die chemische Industrie kann die ständig wachsenden Aufgaben der Chemisierung nur erfüllen, wenn sie mit der Sowjetunion und den anderen sozialistischen Ländern entsprechend den Beschlüssen des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe eng zusammenarbeitet.

③

Die Sozialistische Einheitspartei Deutschlands und die Regierung der Deutschen Demokratischen Republik widmeten und widmen der Entwicklung der Chemie große Aufmerksamkeit. In den Beschlüssen des VIII. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands wird herausgestellt, daß die schnelle Entwicklung der chemischen Industrie für die Erweiterung und Verbesserung der Rohstoffbasis, für die Steigerung der Arbeitsproduktivität, der Qualität und Rentabilität der Produktion in allen Zweigen der Volkswirtschaft von großer Bedeutung ist. Eine wichtige Aufgabe besteht darin, durch sozialistische Rationalisierung der vorhandenen Produktionsanlagen mehr und billigere Erzeugnisse zu produzieren, die in anderen Zweigen unserer Volkswirtschaft dringend benötigt werden. Hohe Effektivität und Produktivität in der chemischen Produktion und ein hohes Niveau bei den einzelnen Produkten und in den Verfahren zu deren Herstellung und Verarbeitung sind Voraussetzung für die Erfüllung der Aufgaben des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Volks-

-
- ① Nennen Sie die Wesenszüge des wissenschaftlich-technischen Fortschritts im Sozialismus! (↗ Staatsbürgerkundeunterricht, Klasse 10)
 - ② Berichten Sie über die Bedeutung der Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Auseinandersetzung des Sozialismus mit dem Imperialismus! Weisen Sie an Beispielen nach, daß die wissenschaftlich-technische Revolution die gesellschaftlichen Produktivkräfte grundlegend verändert und alle Bereiche unserer Gesellschaft durchdringt! (↗ Staatsbürgerkundeunterricht, Klasse 10)
 - ③ Zeigen Sie an Beispielen die Veränderung der Struktur der chemischen Industrie in der Deutschen Demokratischen Republik! Berichten Sie über die Gestaltung der effektivsten Struktur unserer Volkswirtschaft sowie über die Verflechtung dieser Struktur mit den Strukturen anderer sozialistischer Länder! (↗ Staatsbürgerkundeunterricht, Klasse 10)
 - ④ Begründen Sie die Notwendigkeit der wachsenden natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Bildung aller in der Chemie tätigen Menschen! Ziehen Sie Schlußfolgerungen für Ihre eigene weitere Arbeit! (↗ Staatsbürgerkundeunterricht, Klasse 10)
-

wirtschaft. Das erfordert die bewußte Ausnutzung der Ergebnisse der Wissenschaft Chemie in Verbindung mit Ergebnissen anderer Wissenschaften, wie Verfahrenstechnik, Mathematik, Physik, Biologie, Kybernetik und Ökonomie.

Durch die **sozialistische Gemeinschaftsarbeit** wird die notwendige zielgerichtete Koordinierung und Kombination wissenschaftlich tätiger Menschen dieser verschiedenen Bereiche entsprechend der jeweils geplanten wissenschaftlichen Aufgaben erreicht. Diese Kollektive sind in der Lage, bei wichtigen Produkten und Verfahren Leistungen zu vollbringen, die für unsere Volkswirtschaft sehr effektiv sind. Die chemische Industrie verfügt über leistungsstarke Forschungszentren in den Kombinat und Betrieben, die in enger Zusammenarbeit mit Arbeitern der Produktion den wissenschaftlich-technischen Fortschritt verwirklichen.

Diese **Forschungszentren** sind auch verantwortlich für die Verwirklichung der **sozialistischen Rationalisierung** als Voraussetzung für die Intensivierung der gesellschaftlichen Produktion. Insbesondere geht es dabei um die Modernisierung, ständige Vervollkommenung und maximale Ausnutzung der vorhandenen Technik, um die Verbesserung der Arbeitsorganisation, um die Mechanisierung und Teilautomatisierung der Arbeitsmittel. Durch Konzentration der Kräfte und Mittel auf wichtige Vorhaben sowie die Anwendung moderner Forschungsmethoden gelingt es, wissenschaftlich-technische Leistungen zu erzielen, die über das gegenwärtig vorhandene Niveau hinausgehen.

Durch die enge Verbindung von Forschung und Produktion ist eine schnelle Einführung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse für neue Erzeugnisse sowie neue und weiterentwickelte Technologien und Verfahren in die Produktion gewährleistet.

Sozialistisches Arbeiten in der Chemie setzt bei den Menschen hohes Wissen und Können, verbunden mit schöpferischem Denken und Handeln, voraus und verlangt Kenntnisse der objektiven Gesetzmäßigkeiten der gesellschaftlichen Entwicklung und ihrer Wirkungsweise.

④

► **Durch die rasche Verwirklichung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts wird die Wissenschaft Chemie am effektivsten als Produktivkraft genutzt.**

Für die planmäßige Entwicklung der chemischen Industrie in der Deutschen Demokratischen Republik werden vor allem folgende Maßnahmen ergriffen:

- Die Forschungsergebnisse sind in kürzester Zeit in die Produktion zu überführen.
- Der experimentelle und damit zeitliche, materielle, finanzielle und personelle Aufwand bei der Lösung von Forschungsaufgaben in der Chemie und Verfahrenstechnik ist durch die Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung zu senken.
- Die chemische Forschung ist auf Schwerpunkte und die Lösung wissenschaftlich-technischer Aufgaben der Rationalisierung zu konzentrieren.
- Der Automatisierungsgrad der Verfahren ist weiter zu erhöhen.
- Aus Rohstoffen sind durch Verfahren mit hohen Raum-, Zeit- und Energieausbeuten chemische Erzeugnisse hoher Qualität und Gebrauchseigenschaften herzustellen.

Tabelle 25 Aufgaben der Forschung und Produktion auf dem Gebiet der Chemie

Forschung und Produktion

- erarbeiten in sozialistischer Gemeinschaftsarbeit den wissenschaftlich-technischen Fortschritt
- schaffen hohe wissenschaftlich-technische Leistungen auf Schwerpunktgebieten der Chemie
- rationalisieren und intensivieren die chemische Produktion
- entwickeln und verbessern chemisch-technische Verfahren zur Herstellung chemischer Erzeugnisse
- leisten einen Beitrag zur weiteren Chemisierung der Volkswirtschaft

In den Jahren seit der Gründung der Deutschen Demokratischen Republik haben die auf dem Gebiet der Chemie tätigen Menschen hervorragende Leistungen vollbracht. Die erzielte Effektivität und Produktivität sind das Ergebnis der schöpferischen, von der Ausbeutung befreiten Arbeit der Menschen. ① ②

Die bisherigen Erfolge der Werktätigen und das hohe Bildungsniveau bieten die Grundlagen dafür, daß die in der Zukunft noch größeren Aufgaben in der Wissenschaft Chemie und chemischen Produktion gelöst werden.

Die vom VIII. Parteitag der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands für die chemische Forschung und Industrie gestellten Ziele werden insbesondere durch die planmäßige Verwirklichung der Wirtschaftsintegration mit den sozialistischen Ländern, vor allem mit der Sowjetunion, erreicht. Auf der Grundlage dieser neuen Qualität der internationalen sozialistischen Zusammenarbeit der Länder im **Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe** und der Regierungsabkommen der Deutschen Demokratischen Republik mit der Sowjetunion und anderen sozialistischen Ländern ist unsere Republik in der Lage, ihren spezifischen Beitrag zur ökonomischen Stärkung des sozialistischen Lagers zu leisten. ③

- ① Belegen Sie die Artikel 9 (1), (2) und (3) sowie 17 (1) unserer Verfassung mit Beispielen aus der Chemie! (↗ Verfassung der DDR)
- ② Berichten Sie über die Entwicklung der Leuna-Werke zum VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, die ein Beispiel für den Kampf der Arbeiterklasse um Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse für die Interessen des Volkes ist!
- ③ Begründen Sie die Aufgaben der Mitgliedsländer im Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe! Werten Sie die wissenschaftlichen und ökonomischen Vorteile internationaler Abkommen! (↗ Geographieunterricht, Klasse 10, und Einführung in die sozialistische Produktion, Klasse 10)

Im Rahmen dieser engen und brüderlichen Zusammenarbeit kommt es auch zur gemeinsamen Arbeit an Forschungsschwerpunkten. Beispielsweise bearbeiten Wissenschaftler der Deutschen Demokratischen Republik gemeinsam mit Wissenschaftlern der Sowjetunion Probleme der Entwicklung und Herstellung hochwertiger Plaste. In unserer Republik werden unter Berücksichtigung vorhandener Produktionskapazitäten und Produktionserfahrungen vorrangig die Erdöl- und Erdgasverarbeitung, die Produktion von Plasten, Elasten und Chemiefaserstoffen, von agrochemischen Erzeugnissen, fotochemischen Erzeugnissen und pharmazeutischen Erzeugnissen entwickelt.

Die Arbeitsteilung und Kooperation mit der Sowjetunion und den anderen sozialistischen Ländern im Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe zur Lösung gemeinsamer Aufgaben auf dem Gebiet der Chemie sind eine politische und ökonomische Notwendigkeit und dienen der weiteren Stärkung des Sozialismus.

Tabelle 26 Einige Aufgaben der Mitgliedsländer im Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe auf dem Gebiete der Chemie im Rahmen der sozialistischen ökonomischen Integration

Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe

- koordiniert die Pläne für Forschung und Produktion
- schafft die Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen, technischen und Forschungsinstituten zur Erreichung hoher wissenschaftlich-technischer Leistungen auf wichtigen Gebieten
- ermöglicht die Intensivierung der chemischen Produktion durch Arbeitsteilung und stärkt die materiell-technische Basis
- unterstützt den gegenseitigen Handel
- festigt die Einheit der sozialistischen Länder

Die **chemische Industrie** ist in der Deutschen Demokratischen Republik einer der größten Industriebereiche der Volkswirtschaft. Sie produziert Ausgangsstoffe und Halbfabrikate für andere Industriebereiche (Produktionsmittel) sowie Fertigfabrikate für die Bedürfnisse der Bevölkerung (Konsumtionsmittel).

Von den Werktätigen der Deutschen Demokratischen Republik sind etwa 10% in der chemischen Industrie beschäftigt. Sie erzeugen mehr als 15% unserer industriellen Bruttoproduktion. Die Arbeitsproduktivität ist in der chemischen Industrie besonders hoch. Eine Arbeitskraft in der chemischen Industrie erbringt im Durchschnitt eine Warenproduktion, die um etwa ein Drittel über dem Durchschnitt der übrigen Industrie liegt.

Für die chemische Industrie ergeben sich insbesondere folgende Aufgaben:

- rasche Steigerung der Produktion von Plasten, Elasten und Chemiefaserstoffen sowie von Arznei-, Dünge- und Schädlingsbekämpfungsmitteln;
- erhöhte Produktion von organischen Grundchemikalien;
- Produktion von anorganischen Grundchemikalien, wie vor allem Chlor, Ammoniak und Schwefelsäure;
- verstärkte Entwicklung von anorganischen nichtmetallischen Werkstoffen.

①

► **Die chemische Industrie in der Deutschen Demokratischen Republik ist einer der größten Industriebereiche der Volkswirtschaft. Mit der Entwicklung der chemischen Industrie werden Voraussetzungen zur Stärkung der Rohstoffbasis der Volkswirtschaft, zur Erhöhung des Exports und zur weiteren Verbesserung der Versorgung der Bevölkerung mit industriellen Konsumgütern geschaffen.**

Die durch die chemische Industrie hergestellten Produkte haben ihre moderne, hoch-effektive **Rohstoffbasis** vor allem im sowjetischen Erdöl und Erdgas, die petrochemisch und energetisch verarbeitet werden. Die verstärkte Lieferung von sowjetischem Erdöl und Erdgas schafft unserer Volkswirtschaft neue und großartige Perspektiven. Mit Unterstützung der Sowjetunion konnten eine moderne Petrochemie geschaffen und neue Großkraftwerke errichtet werden. Durch den ständig wachsenden Einsatz von Erdöl und Erdgas werden unwirtschaftliche Prozesse der Kohleveredlung abgelöst. ②

Der weitere Ausbau des VEB Petrochemisches Kombinat Schwedt und weiterer Kombinate der chemischen Industrie führt zu einer Steigerung der Herstellung und Weiterverarbeitung von Petrochemikalien.

Mit dem Einsatz von Erdgas werden große Möglichkeiten für die Erhöhung und Rentabilität der chemischen Großsynthesen geschaffen.

Es ist eine verstärkte Nutzung einheimischer Rohstoffe vorgesehen. Zugleich werden eine vollständigere und rationelle Erfassung, Rückführung und Verwendung aller anfallenden Rohstoffe gesichert. Als Ergänzung unserer Rohstoffbasis werden weitere

- ① Begründen Sie die geplante Produktionssteigerung für einige Produkte! Geben Sie für diese Produkte Produktionszahlen an! (↗ Statistisches Jahrbuch der DDR und „Chemie in Übersichten“, S. 155...156)
- ② Berichten Sie an selbstgewählten chemisch-technischen Verfahren über Vorteile der Verwendung von Erdöl- und Erdgasimporten aus der Sowjetunion für unsere Republik!
- ③ Fertigen Sie eine tabellarische Übersicht (Spalten: Ausgangsstoff/Rohstoff, Vorkommen in der DDR, Import aus ...) über Rohstoffe für unsere chemische Industrie an!
Werten Sie diese Angaben aus!
(↗ „Chemie in Übersichten“, S. 136...137 und S. 139...150, Wirtschaftskarte im Atlas und Geographieunterricht, Klasse 10)

wichtige Rohstoffe für die chemische Industrie eingeführt. Die rohstoffreichen sozialistischen Länder sichern unserer Republik die erforderlichen Importe. Der größte Handelspartner ist die Sowjetunion. ③

► **Durch die Lieferung von Erdöl und Erdgas aus der Sowjetunion verändert sich in steigendem Maße die Rohstoffbasis unserer chemischen Industrie.**

Durch die Wissenschaft Chemie als Produktivkraft werden die gewonnenen Erkenntnisse in materielle Werte für die Gesellschaft zur Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen der Werktätigen umgesetzt. Das erfolgt durch Erforschung und Entwicklung chemisch-technischer Verfahren und deren Einführung in die Produktion. Diese Verfahren müssen in der Lage sein, Rohstoffe durch Stoffumwandlung in bedarfsgerechte Erzeugnisse mit einem geringen gesellschaftlichen Aufwand zu verwandeln.

Die Entwicklung der chemischen Industrie zu hoher volkswirtschaftlicher Effektivität und Produktivität ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Die Wissenschaft Chemie in Verbindung mit der Verfahrenstechnik dringt von der Beschreibung der Erscheinungen von Reaktionen zu ihrem Wesen vor. Dabei werden neue Wirkprinzipien für eine optimale Stoffumwandlung erkannt und genutzt.
- Das technische Prinzip zur Realisierung moderner Stoffumwandlungsprozesse besteht in der Zusammenführung von Teilprozessen.
- Die Entwicklung chemisch-technischer Verfahren und die der entsprechenden Anlagen bilden eine Einheit.
- Die Entwicklung chemisch-technischer Verfahren ist auf die Erreichung hoher Raum-, Zeit- und Energieausbeuten sowie auf Anwendung neuer produktiver und automatisierbarer Technologien und Verfahren orientiert, die in die Herstellungsprozesse auch die Prozesse der Verarbeitung chemischer Werkstoffe einbeziehen.
- Die vorhandenen Produktionskapazitäten und Produktionsflächen werden rationell ausgenutzt und ihre Leistungsfähigkeit erhöht.

Daraus erwachsen neue Aufgaben für den **Chemieanlagenbau**. Eine wesentliche Aufgabe besteht in der Rationalisierung und zum Teil in der Automatisierung sowie in dem Übergang von der Fertigung von Einzelanlagen zur Herstellung kompletter

Anlagen. Die Realisierung dieser Aufgabe verlangt eine enge und exakt abgestimmte Zusammenarbeit mit der Betriebsmeß-Steuerungs-Regelungs-Industrie (BMSR-Industrie), der elektronischen Industrie und einer Reihe anderer Zweige. Es werden Baugruppen standardisierter Bauelemente geschaffen, die zu den entsprechenden kompletten Anlagen zusammengefügt werden können..

Die Lösung dieser Aufgaben bedingt eine Gemeinschaftsarbeit von Wissenschaftlern, Technikern, Ökonomen und Facharbeitern der verschiedenen Zweige der Volkswirtschaft.

Ein Beispiel veranschaulicht die Entwicklung chemisch-technischer Verfahren, die in die Herstellungsprozesse die Prozesse der Verarbeitung chemischer Werkstoffe einbeziehen.

- Bisher erfolgt die Produktion von Chemiefaserstoffen wie folgt:
Herstellung der Monomeren
Herstellung des Polymerisats
Auflösung des Polymerisats
Faser- oder Seidenbildung
Garnbildung (außer bei Seiden)
Texturierung des Garns oder der Seide
Verarbeitung zu einem Gewebe
Verarbeitung des Gewebes zu einem Produktions- oder Konsumtionsgut

Die einzelnen Prozesse wurden in verschiedenen Industriezweigen – Erdölchemie, Chemiefaserstoffindustrie, Textil- und Bekleidungsindustrie sowie des zu jedem dieser Zweige gehörenden Maschinen-, Apparate- und Anlagenbaus – getrennt erforscht und durchgeführt. Das ist unökonomisch.

- Für die Zukunft ist vorgesehen, den Ausgangsstoff in einem Minimum von Prozessen zum Produkt zu verarbeiten. Das erfolgt so:
Direkte Bildung des texturierten Fadens aus dem Monomeren oder
direkte Bildung eines gewebeähnlichen Flächengebildes aus dem Polymerisat oder
direkte Bildung eines Flächengebildes aus dem Monomeren.

Für die **Ökonomie** der Verfahren ist die Beherrschung der physikalisch-chemischen Grundlagen von großer Bedeutung. Kenntnisse über die Lage eines chemischen Gleichgewichts und die Möglichkeiten seiner Verschiebung sowie über die Katalyse sind Voraussetzungen, um chemische Reaktionen technisch und ökonomisch günstig durchzuführen. ① ②

Auch die Auswahl und Anwendung von Verfahrensprinzipien und Arbeitsmethoden bei chemisch-technischen Verfahren sind für die Effektivität und Produktivität dieser Verfahren ausschlaggebend. ③

Die Gestaltung der Reaktionsapparate ist vor allem von den Temperatur- und Druckbedingungen während der Reaktion, durch die Art der Energiezufuhr oder Energieabgabe sowie durch die Eigenschaften der Stoffe bestimmt. Auch die Verfahrensprinzipien und Arbeitsmethoden üben einen Einfluß auf die Bauweise der Reaktionsapparate aus.

- ① Ermitteln und begründen Sie optimale Reaktionsbedingungen für die Ammoniaksynthese! (↗ „Chemie in Übersichten“, S. 46...52 und S. 143...144)
- ② Erläutern Sie die Wirkung von Katalysatoren an einem selbstgewählten chemisch-technischen Verfahren! (↗ „Chemie in Übersichten“, S. 53...54 und S. 139...150)
- ③ Begründen Sie Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahrensprinzipien und Arbeitsmethoden bei Beachtung der Ökonomie! (↗ „Chemie in Übersichten“, S. 138)

► **Chemisch-technische Verfahren zeichnen sich durch hohe volkswirtschaftliche Effektivität und Produktivität besonders deshalb aus, weil diese folgende Vorzüge besitzen:**

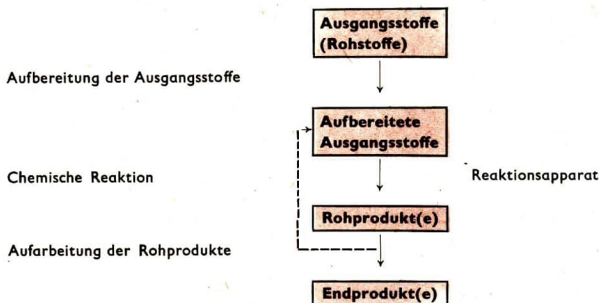
- geringer Anteil lebendiger Arbeit;
- kontinuierlicher Ablauf der Produktionsprozesse;
- relativ kurze Produktionszyklen und Massenproduktion mit hohen Umsatzgeschwindigkeiten;
- weitgehende Nutzung der Rohstoffe (Primär- und Sekundärrohstoffe);
- Erschließung neuer Rohstoffquellen und Erzeugung weiterer moderner Werkstoffe;
- Möglichkeiten einer Kombination der Herstellungsprozesse mit den Prozessen der Verarbeitung chemischer Werkstoffe.

Chemisch-technische Verfahren können nach verschiedenen Gesichtspunkten gegliedert und eingeteilt werden.

Tabelle 27 Einige chemisch-technische Verfahren mit Reaktionsapparat, Arbeitsweise und Reaktionsbedingungen

Chemisch-technisches Verfahren	Reaktionsapparat	Arbeitsweise	Reaktionsbedingungen	
			Temperatur	Druck
Roheisen-erzeugung	Hochofen	kontinuierlich	über 1400 °C	1 at
Kalkbrennen	Schachtofen	kontinuierlich	über 1000 °C	1 at
Schwefelsäure-kontaktverfahren	Kontaktoven	kontinuierlich	über 400 °C	1 at
Ammoniak-synthese	Kontaktoven	kontinuierlich	über 400 °C	etwa 200 at
Vergasung der Kohlen	Winkler-Generator	kontinuierlich	über 400 °C	1 at
Kalziumkarbid-herstellung	Elektrooven	kontinuierlich	über 2000 °C	1 at

Viele chemisch-technische Verfahren können wie folgt gegliedert werden: ① ②



Chemisch-technische Verfahren können auch nach den **Arten chemischer Reaktionen** eingeteilt werden. Wesentliche Arten chemischer Reaktionen sind: Redoxreaktion, Addition, Substitution und Eliminierung. ③

Tabelle 28 Einteilung einiger chemisch-technischer Verfahren nach den Arten chemischer Reaktionen

Reaktionsart	Chemisch-technisches Verfahren	Chemische Reaktion (Gleichung)
Redoxreaktion	Roheisenerzeugung	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightleftharpoons 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$
	Aluminothermisches Verfahren	$3 \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8 \text{Al} \rightleftharpoons 9 \text{Fe} + 4 \text{Al}_2\text{O}_3$
	Schwefeldioxid- erzeugung aus sulfidischen Erzen	$4 \text{FeS}_2 + 11 \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 8 \text{SO}_2$
	Schwefeldioxid- erzeugung aus Anhydrit	$2 \text{CaSO}_4 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CaO} + 2 \text{SO}_2 + \text{CO}_2$
	Ammoniaksynthese	$\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$
	Ammoniakoxydation	$4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightleftharpoons 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$
	Salpetersäure- herstellung	$4 \text{NO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 4 \text{HNO}_3$

- ① Erläutern und begründen Sie den Bau des
 - a) Hochofens,
 - b) Kontaktofens bei der Ammoniaksynthese und
 - c) Elektroofens an Hand schematisierter Schnittzeichnungen oder von Modellen!
- ② Schildern Sie die Herstellung von Schwefelsäure an Hand der allgemeinen Gliederung chemisch-technischer Verfahren!
- ③ Erklären Sie die Arten chemischer Reaktionen an Hand der Reaktionsgleichungen zu den in Tabelle 28 aufgeführten chemisch-technischen Verfahren! (/ „Chemie in Übersichten“, S. 54 ... 57)

Reaktionsart	Chemisch-technisches Verfahren	Chemische Reaktion (Gleichung)
Redoxreaktion	Luftgaserzeugung	$\text{C} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$ $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$
	Wassergaserzeugung	$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2$
	Kalziumkarbidherstellung	$\text{CaO} + 3 \text{C} \rightleftharpoons \text{CaC}_2 + \text{CO}$
	Herstellung von Methanal	$2 \text{CH}_3\text{OH} + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{H}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}} + 2 \text{H}_2\text{O}$
Addition (Polymerisation)	Methanolsynthese	$\text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$
	Herstellung von Polyäthylen	$n \text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightleftharpoons [-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$
	Herstellung von Polyvinylchlorid	$n \text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \rightleftharpoons \left[-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}- \right]_n$
	Herstellung von Polyakrylnitril	$n \text{CH}_2=\underset{\text{CN}}{\text{CH}} \rightleftharpoons \left[-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}- \right]_n$
	Herstellung von Polystyrol	$n \text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \rightleftharpoons \left[-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}- \right]_n$
	Kautschuksynthese	$n \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 \rightleftharpoons [-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-]_n$

Reaktionsart	Chemisch-technisches Verfahren	Chemische Reaktion (Gleichung)
Addition (Hydrierung)	Äthanol synthese	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$
Substitution (Polykondensation)	Herstellung von Aminoplasten	$n \text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2 + n \text{H}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H} \rightleftharpoons$ $[-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}_2-]_n + n \text{H}_2\text{O}$
	Herstellung von Phenoplasten	$n \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + n \text{H}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{H} \longrightarrow$ $\left[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})-\text{CH}_2- \right]_n + n \text{H}_2\text{O}$
	Herstellung von Polyamiden	$n \text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH} +$ $n \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2 \longrightarrow$ $[-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-]_n$ $+ 2 n \text{H}_2\text{O}$
Eliminierung (Kracken) (Dehydrierung)	Krackverfahren	$\text{C}_8\text{H}_{18} \longrightarrow \text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_3\text{H}_6$
	Äthenherstellung	$\text{CH}_3-\text{CH}_3 \rightleftharpoons \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2$

Chemisierung der Volkswirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik

39

Die chemische Industrie schafft die Voraussetzung für die **Chemisierung der Volkswirtschaft**. Chemische Produkte und Verfahren werden immer mehr in allen Zweigen unserer Volkswirtschaft angewendet. Durch zunehmende Bereitstellung moderner Werkstoffe wird der Prozeß der Chemisierung fortgesetzt.

• **Plaste und Elaste.** Plaste und Elaste finden ständig neue Anwendungsgebiete, weil sie herkömmlichen Materialien in ihren Gebrauchseigenschaften überlegen sind und Verarbeitungstechnologien mit niedrigem Kostenaufwand ermöglichen. Diese chemischen Produkte helfen, den Verbrauch von Metallen beträchtlich zu senken und

- ① Stellen Sie Einsatzgebiete (Verwendungsmöglichkeiten) für synthetische makromolekulare Werkstoffe zusammen! Begründen Sie diese Einsatzgebiete! (↗ „Chemie in Übersichten“, S. 153)
- ② Informieren Sie sich über Veränderungen, die sich in der sozialistischen Landwirtschaft durch Einsatz chemischer Produkte und Verfahren vollziehen! Nennen Sie weitere Beispiele für die zunehmende Chemisierung der Landwirtschaft in unserer Republik! (↗ Biologieunterricht, Klasse 9, und Staatsbürgerkundeunterricht, Klasse 10)
- ③ Erklären Sie einige Grundsätze zur Gesunderhaltung der Menschen! Wenden Sie dabei Kenntnisse aus dem Biologieunterricht der Klasse 8 an!

zur Erweiterung der Materialbasis beizutragen. Im verstärkten Maße werden Plaste als Werkstoffe und Bauelemente im Maschinenbau und im Bauwesen, besonders als elektroisolierende Werkstoffe in der Elektrotechnik und Elektronik sowie als Verpackungs- und Konfektionierungsmaterial für Industrie- und Konsumgüter eingesetzt. Entsprechend den Rohstoffbedingungen ist die Produktion vor allem von Polyvinylchlorid und Polyäthylen sowie von Aminoplasten vorrangig zu entwickeln. Die chemische Industrie wird durch Produktion einer größeren Anzahl von Plasten und Elasten mit bestimmten Eigenschaften die Einsatzmöglichkeiten noch vervielfachen.

①

• **Chemiefaserstoffe.** Für die nächsten Jahre ist vorgesehen, die Produktion an synthetisch hergestellten makromolekularen Stoffen wesentlich zu erhöhen. Besondere Bedeutung erlangt die Polyesterfaser. Chemiefaserstoffe werden vor allem in der Bekleidungsindustrie zur Herstellung pflegeleichter, waschechter, farb- und witterungsbeständiger sowie formschöner modischer Bekleidung für den Bevölkerungsbedarf verwendet. Auch als technische Textilien zur Verarbeitung in anderen Industriebereichen wie zum Beispiel zur Herstellung von Reifen, Transportbändern, verschiedenster Gummiwaren und zur Verstärkung in Plastwerkstoffen werden Chemiefaserstoffe eingesetzt. ①

• **Agrochemische Erzeugnisse.** Besondere Bedeutung haben Düngemittel, Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel, synthetische Futtermittel und andere Wirkstoffe für die Tierernährung und für die Gesunderhaltung der Tiere, der Pflanzen und des Bodens. Die Deutsche Demokratische Republik verfügt über bedeutende Werke zur Erzeugung von Kali- und Stickstoffdüngemitteln. Die Rohstoffbasis unserer Republik bietet hierfür günstige Voraussetzungen und Entwicklungsmöglichkeiten. Durch die Herstellung von Ammoniak und Harnstoff auf der Basis von Erdgas und durch die Rekonstruktion vorhandener Anlagen der Synthesegasproduktion ist der Stickstoffanteil in Düngemitteln zu erhöhen. Auch die verstärkte Anwendung von neuen Ausbringungsformen (z. B. Flüssigdüngung) wird durchgesetzt. Eine weitere Senkung der Ernteverluste wird durch die Entwicklung hochwirksamer Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel erreicht. Die Anwendung synthetischer Futtermittel erhöht die tierische Produktion. Insgesamt ermöglicht die Chemisierung der Landwirtschaft ihre zunehmende Industrialisierung und Intensivierung. ②

● **Fotochemische Erzeugnisse.** Ein wichtiger Bereich unserer chemischen Forschung und Industrie ist die Fotochemie. Seit vielen Jahren ist sie einer der exportintensivsten Zweige unserer Volkswirtschaft. Neben der Weiterführung der Produktion von Schwarz-Weiß-, Color- und Röntgenfilmen hat die Fotochemie vor allem die Aufgabe, magnetische Aufzeichnungsmaterialien für den Aufbau moderner Dokumentations- und Informationseinrichtungen sowie für Rundfunk, Fernsehen und Presse in hoher Qualität herzustellen.

● **Pharmazeutische Erzeugnisse.** Es besteht die Aufgabe, hochwertige Arzneimittel zur Bekämpfung von Herz-, Kreislauferkrankungen, Zuckerkrankheit, Chemotherapeutika und Antibiotika gegen Infektions- und Geschwulstkrankheiten, Psychopharmaka sowie Diagnostika zu entwickeln und bereitzustellen. ③ (↗ S. 107)
Diese Beispiele zeigen:

- ▶ ● **Die chemische Industrie trägt für die Chemisierung der Volkswirtschaft hohe Verantwortung.**
- **Die Chemisierung ist durch ständig wachsende Anwendung chemischer Produkte und Verfahren in vielen Zweigen der Volkswirtschaft gekennzeichnet.**
- **Durch die Chemisierung werden die Steigerung der Arbeitsproduktivität und die Erhöhung der Effektivität der Volkswirtschaft beschleunigt.**
- **Die Chemisierung ist ein wichtiger Bestandteil des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und trägt dazu bei, die Bedürfnisse der Menschen nach hochwertigen Konsumgütern immer besser zu befriedigen.**

Tabelle 29 Aufgaben der Chemisierung der Volkswirtschaft

Chemisierung der Volkswirtschaft
● stärkt die Volkswirtschaft unserer Republik durch ● ● vorrangige Entwicklung der chemischen Industrie ● ● zunehmende Einführung und breite Anwendung chemischer Produkte und Verfahren in anderen Zweigen der Volkswirtschaft ● erzielt hohe Effektivität und Arbeitsproduktivität durch ● ● Senkung der Selbstkosten ● ● Verbesserung der Erzeugnisqualität ● ● Nutzung einheimischer Rohstoffe ● ● Erweiterung der Rohstoff- und Werkstoffbasis ● führt zu einer immer besseren Befriedigung der Bedürfnisse der Menschen unserer Republik

Schülerexperimente

Nachweis von Ammonium-Ionen

Aufgabe

1 Weisen Sie in einem Salz Ammonium-Ionen nach!

Vorbetrachtung

1. Welche chemische Reaktion stellt die Grundlage für den Nachweis von Ammonium-Ionen dar?
2. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die chemische Reaktion von Ammoniumchlorid mit Natriumhydroxidlösung in Ionenschreibweise!
3. Welches Reaktionsprodukt läßt auf das Vorhandensein von Ammonium-Ionen in dem untersuchten Salz schließen?
4. Wie kann das unter 3. genannte Reaktionsprodukt nachgewiesen werden?

Geräte und Chemikalien

- a) 2 Uhrglasschalen
Halbmikrotropfer
- b) Becherglas
Uhrglasschale
Halbmikrotropfer
- c) Reagenzglas
Halbmikrotropfer
Glasstab

- a/b) Ammoniumsalz
Natriumhydroxidlösung
Indikatorpapier
- c) Ammoniumsalz
Natriumhydroxidlösung
konzentrierte Salzsäure

Arbeitsanweisung

- a/b) 1. Feuchten Sie einen Streifen Indikatorpapier an, und heften Sie ihn an eine Uhrglasschale a) Oberseite, b) Unterseite!
- 2. Bringen Sie eine Spatelspitze Ammoniumsalz a) auf eine Uhrglasschale, b) in ein Becherglas!
- 3. Versetzen Sie das Ammoniumsalz mit einigen Tropfen Natriumhydroxidlösung!
- 4. Decken Sie das Reaktionsgefäß mit der Uhrglasschale, an der das Indikatorpapier haftet, so ab, daß sich das Papier auf der Innenseite der Apparatur (→ Abb. 11, S. 30) befindet!
- 5. Welche Veränderungen stellen Sie fest?
- 6. Was können Sie aus Ihren Beobachtungen schließen?

- c) 1. Bringen Sie das Ammoniumsalz in das Reaktionsgefäß!
2. Versetzen Sie das Ammoniumsalz mit wenigen Tropfen Natriumhydroxid-Lösung!
3. Halten Sie über das Reaktionsgefäß einen mit konzentrierter Salzsäure befeuchteten Glasstab!
4. Welche Beobachtungen können Sie machen?
5. Was können Sie aus Ihren Beobachtungen schließen?

Nachweis von Nitrat-Ionen

Aufgabe

2

Weisen Sie in einer Lösung Nitrat-Ionen nach!

Vorbetrachtung

1. Welche Möglichkeiten zum Nachweisen von Stoffen kennen Sie?

Geräte und Chemikalien

Tüpfelplatte
Halbmikrotropfer

Nitratlösung oder
verdünnte Salpetersäure
gesättigte Eisen(II)-sulfatlösung
verdünnte Schwefelsäure
konzentrierte Schwefelsäure

Arbeitsanweisung

1. Geben Sie einen Tropfen Nitratlösung auf die Tüpfelplatte!
2. Setzen Sie einen Tropfen gesättigte Eisen(II)-sulfatlösung zu!
3. Geben Sie zu dem Gemisch einen Tropfen verdünnte Schwefelsäure!
4. **Vorsicht!** Bringen Sie unmittelbar neben die Lösung einen Tropfen konzentrierter Schwefelsäure! (↗ Abb. 28, S. 46)
5. Beobachten Sie die Trennschicht zwischen Lösung und Schwefelsäure!
6. Notieren Sie Ihre Beobachtungen!

Reaktion von Äthanol mit Kupfer(II)-oxid

Aufgabe

3

Weisen Sie nach, daß Wasserstoff und Kohlenstoff Bestandteile des Äthanol sind!

Vorbetrachtung

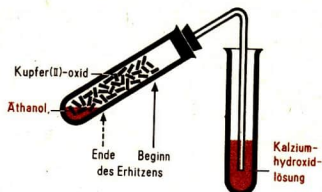
1. Schreiben Sie die Formel für Äthanol auf!
2. Welche Reaktionsprodukte sind bei der vollständigen Oxydation von Äthanol mit Kupfer(II)-oxid zu erwarten?

3. Nennen Sie Möglichkeiten zum Erkennen der zu erwartenden Reaktionsprodukte!

Geräte und Chemikalien

2 Reagenzgläser
durchbohrter Stopfen mit
Gasableitungsrohr
Halbmikrotropfen
Stativmaterial
Brenner

Äthanol
Kupfer(II)-oxid (Draht)
Kalziumhydroxidlösung



Arbeitsanweisung

1. Geben Sie in ein Reagenzglas etwa 10 Tropfen Äthanol, dann so viel Kupfer(II)-oxid, daß das Reagenzglas zu zwei Dritteln gefüllt ist!
2. Bauen Sie die Apparatur nach der Abbildung zusammen!
3. Nach dem Vorwärmen des Reagenzglases erhitzen Sie die obere Schicht des Kupfer(II)-oxids kräftig! Das Erhitzen wird dann langsam in Richtung auf das Äthanol verlagert. Äthanol wird durch leichtes Erwärmen mit dem glühenden Kupfer(II)-oxid zur Reaktion gebracht.
4. Vor Beendigung des Erhitzens nehmen Sie das Gasableitungsrohr aus dem Reagenzglas mit der Kalziumhydroxidlösung heraus!
5. Schreiben Sie Ihre Beobachtungen auf! Welche Reaktionsprodukte konnten Sie feststellen?

Auswertung

1. Welche Elemente sind in den Reaktionsprodukten enthalten? Welche dieser Elemente stammen mit Sicherheit aus dem Äthanol?
2. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von Äthanol mit Kupfer(II)-oxid unter den Experimentbedingungen!

Reaktion von Kalziumkarbonat mit Salzsäure

Aufgabe

Stellen Sie in einem Gasentwickler durch Reaktion von Kalziumkarbonat (Marmor) mit Salzsäure Kohlendioxid her! Das Kohlendioxid soll pneumatisch aufgefangen und nachgewiesen werden.

Vorbetrachtung

1. Konstruieren Sie aus einfachen Geräten einen Gasentwickler, in dem man auf festes Kalziumkarbonat portionsweise Salzsäure geben kann! Fertigen Sie eine Skizze der Apparatur an!
2. Ergänzen Sie Ihre Skizze durch eine Vorrichtung zum pneumatischen Auffangen des Kohlendioxids!
3. Wie kann man Kohlendioxid nachweisen?
4. Lassen Sie sich die Durchführbarkeit des Experiments in Ihrer Apparatur vom Lehrer bestätigen!

Arbeitsanweisung

1. Bringen Sie im Gasentwickler Kalziumkarbonat mit Salzsäure portionsweise zur Reaktion!
Vorsicht beim Umgang mit Säuren!
2. Fangen Sie das Kohlendioxid pneumatisch auf!
3. Weisen Sie Kohlendioxid nach!

Auswertung

1. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von Kalziumkarbonat mit Salzsäure!
2. Entwickeln Sie die chemische Gleichung für den Nachweis von Kohlendioxid mit Kalziumhydroxidlösung!

Quantitatives Bestimmen des Kohlenstoffgehaltes in einem Karbonat

Aufgabe

5
▼ Messen Sie das Kohlendioxidvolumen, das bei der Reaktion einer bestimmten Masse Kalziumkarbonat mit Salzsäure entsteht, und schließen Sie daraus auf den Kohlenstoffgehalt im Kalziumkarbonat!

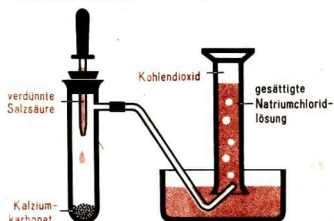
Vorbetrachtung

1. Wägen Sie ein Stück Kalziumkarbonat (Marmor) von etwa 0,5 g bis 1 g ab!
2. Berechnen Sie das Volumen Kohlendioxid, das man aus der von Ihnen abgewogenen Masse Kalziumkarbonat darstellen kann!
3. Welcher Masse Kohlenstoff entspricht dieses Volumen Kohlendioxid?
4. Geben Sie den Kohlenstoffgehalt Ihrer Probe in Prozent an!
5. Wählen Sie einen geeigneten Meßzylinder als Auffanggefäß!
6. Erläutern Sie die Zustandsgleichung für ideale Gase!

Geräte und Chemikalien

Reagenzglas mit seitlichem
Ansatzrohr
Stopfen mit Halbmikrotropfer
Gasableitungsrohr
pneumatische Wanne
Meßzylinder

Kalziumkarbonat (Marmor)
verdünnte Salzsäure
gesättigte Natriumchloridlösung



Arbeitsanweisung

1. Bauen Sie die Apparatur nach der Abbildung zusammen!
2. Geben Sie das abgewogene Stück Kalziumkarbonat in das Reagenzglas mit seitlichem Ansatzrohr! Füllen Sie den Halbmikrotropfer vorsichtig mit verdünnter Salzsäure!
3. Die Apparatur wird dicht verschlossen. Das Gasableitungsrohr bringen Sie so unter den Meßzylinder, daß das entweichende Gas *vollständig* aufgefangen werden kann!
4. Durch Zutropfen der Salzsäure bringen Sie die Reaktion in Gang! Die Reaktion ist beendet, wenn beim weiteren Zutropfen von Salzsäure keine Gasentwicklung mehr beobachtet wird.

Auswertung

1. Lesen Sie das Gasvolumen im Meßzylinder ab!
2. Das abgelesene Volumen ist unter Berücksichtigung von Druck und Temperatur auf das Volumen im Normzustand (0 °C, 760 Torr) umzurechnen. Benutzen Sie den aus der Zustandsgleichung für ideale Gase abgeleiteten Ausdruck:

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{p_2 \cdot T_1}$$

3. Vergleichen Sie das beobachtete mit dem erwarteten Volumen!
4. Begründen Sie die Abweichungen der beobachteten von den erwarteten Werten!

Synthese von Eisen(II)-sulfid

Aufgabe

Bringen Sie Eisen und Schwefel im stöchiometrischen Verhältnis zur Reaktion!

Vorbetrachtung

1. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Eisen(II)-sulfid aus den Elementen!
2. Berechnen Sie, in welchem Massenverhältnis man Eisen und Schwefel mischen muß, um einen vollständigen Umsatz zu erreichen!
3. Die Reaktion zwischen Eisen und Schwefel soll vor allem unter energetischen Gesichtspunkten betrachtet werden. Was verstehen Sie unter den Begriffen Aktivierungsenergie, Reaktionswärme, exotherme Reaktion und endotherme Reaktion?

Geräte und Chemikalien

Reagenzglas
Porzellanschale
Eisendraht
Magnet
Brenner

Schwefel (Pulver)
Eisen (Pulver)

Arbeitsanweisung

1. Mischen Sie im Reagenzglas Eisen- und Schwefelpulver entsprechend dem stöchiometrischen Verhältnis!
2. Beobachten Sie die Bestandteile des Gemisches, wenn Sie von außen einen Magneten an die Wand des Reagenzglases halten und bewegen!
3. Schütten Sie nach nochmaligem guten Durchmischen das Gemisch gehäuft in die Porzellanschale!
4. Bringen Sie das Ende des Eisendrahtes zum Glühen! Stecken Sie das glühende Ende in das Gemisch! Beobachten Sie den energetischen Verlauf der Reaktion!
5. Überprüfen Sie nach beendeter Reaktion und Abkühlung die magnetischen Eigenschaften des Reaktionsproduktes!

Auswertung

1. Begründen Sie, daß im Experiment eine chemische Reaktion ablief! Entscheiden Sie, ob es sich um eine exotherme oder endotherme Reaktion handelt!
2. Erläutern Sie an Hand des Experiments die Abschnitte Aktivierung und Umsetzung im Reaktionsverlauf!
3. Stellen Sie die Änderung des Energieinhalts in Abhängigkeit vom Reaktionsverlauf grafisch dar!
4. Erläutern Sie die Änderung der Bindungsverhältnisse und die Umwandlung der Teilchen bei dieser Reaktion!

Reaktionsgeschwindigkeit und Konzentration

Aufgabe

7

Weisen Sie an Hand der Reaktion von Eisenpulver mit Salzsäure in zwei verschiedenen Konzentrationen die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration nach!

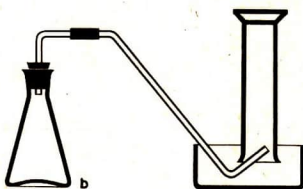
Vorbetrachtung

1. Erklären Sie den Begriff Reaktionsgeschwindigkeit! (↗ Chemie in Übersichten, S. 50)
2. Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Reaktion von Eisen mit Salzsäure, bei der Eisen(II)-chlorid und Wasserstoff entstehen!
3. a) Wieviel Gramm Chlorwasserstoff enthalten 5 ml 7%ige Salzsäure? Beachten Sie dazu folgende Hinweise:
7%ig ist eine Salzsäurelösung, die in 100 g Lösung 7 g Chlorwasserstoff enthält;
die Dichte von 7%iger Salzsäure beträgt etwa $1,035 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$!
b) Welches Volumen Wasserstoff ist mit 5 ml 7%iger Salzsäure zu gewinnen?

Geräte und Chemikalien

2 Erlenmeyerkolben (100 ml)
Stopfen mit Gasableitungsrohr
Kolbenprober (100 ml) oder
pneumatische Wanne und Meßzylinder (100 ml)
2 Meßzylinder (10 ml)

Eisen (Pulver)
verdünnte Salzsäure



Arbeitsanweisung

1. Bauen Sie die Apparatur nach Abbildung a oder Abbildung b zusammen! Kolbenprober (oder Meßzylinder) werden leicht in Stativklammern eingespannt. Der Erlenmeyerkolben muß fest eingespannt sein. Das Gasableitungsrohr verbinden Sie gasdicht mit dem Kolbenprober (oder Sie lassen es von unten in den Meßzylinder hineinragen)!
2. Geben Sie in die beiden Erlenmeyerkolben je 2...3 Spatelspitzen Eisenpulver!
3. Stellen Sie in den Meßzylindern bereit: a) 5 ml verdünnte Salzsäure, b) 5 ml verdünnte Salzsäure im Gemisch mit 5 ml Wasser!

- Der Stopfen ist von der Apparatur zu entfernen, die Lösung ist aus dem Meßzylinder a) zügig auf das Eisen zu gießen, der Erlenmeyerkolben ist sofort wieder fest zu verschließen und die Zeit ist zu nehmen!
- Die Zeit wird gemessen, bis 50 ml Wasserstoff aufgefangen worden sind, und im Protokoll eingetragen. Unterbrechen Sie dann das Experiment durch Entfernen des Stopfens!
- Der Erlenmeyerkolben in der Apparatur wird ausgetauscht, der Kolbenprober auf Nullstellung gebracht (oder der Meßzylinder in der pneumatischen Wanne wieder mit Wasser gefüllt).
- Mit der Lösung im Meßzylinder b) verfahren Sie jetzt wie unter Punkt 4 und 5! Die Zeit bis zum Entwickeln von 50 ml Wasserstoff wird wieder bestimmt und in das Protokoll eingetragen.

Auswertung

- Vergleichen Sie die Zeiten in beiden Teilexperimenten bei der Bildung von 50 ml Wasserstoff!
- Vergleichen Sie die Konzentrationen der Salzsäure in beiden Teilexperimenten (→ Punkt 3 der Arbeitsanleitung)!
- Formulieren Sie eine allgemeine Beziehung zwischen Reaktionszeit und Konzentration der reagierenden Stoffe!
- Erklären Sie die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration!

Bildung und Zerfall eines Esters

Aufgabe

8
▼ Weisen Sie nach, daß die Bildung und der Zerfall eines Esters zu einem chemischen Gleichgewicht führen!

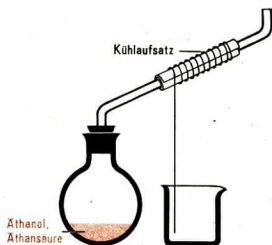
Vorbetrachtung

- Nennen Sie die Merkmale eines chemischen Gleichgewichts!
- Entwickeln Sie die chemische Gleichung für die Bildung von Äthansäureäthylester aus Äthanol und Äthansäure!
- Erläutern Sie die Hydrolyse als Umkehrung der Esterbildung!

Geräte und Chemikalien A

2 Rundkolben (25 ml)
Stopfen mit Kühlaufsatz
Stopfen zum Rundkolben
Halbmikrotropfer
Becherglas
Meßzylinder (10 ml), Brenner

Äthanol
Äthansäure
konzentrierte Schwefelsäure



Arbeitsanweisung A

1. Mischen Sie im Meßzylinder 5 ml Äthanol und 5 ml Äthansäure!
2. Geben Sie in die Rundkolben je 5 ml von dem Gemisch!
3. Haltern Sie den ersten Rundkolben fest und verschließen Sie ihn mit dem Stopfen mit Kühlaufsatz (→ Abb.)! Das Filterpapier wird zum Kühlen befeuchtet und das über einen Wollfaden ablaufende Kühlwasser in einem Becherglas gesammelt.
4. **Vorsicht** beim Arbeiten mit konzentrierter Schwefelsäure!
Der Stopfen wird entfernt, um mit dem Halbmikrotropfer vorsichtig etwa 1 ml konzentrierte Schwefelsäure zum Gemisch geben zu können. Der Rundkolben wird sofort fest verschlossen und 2...3 min schwach erwärmt. Auf gute Kühlung ist zu achten!
5. Lassen Sie den Rundkolben etwas abkühlen! Der Kühlaufsatz wird schnell gegen einen undurchbohrten Stopfen ausgetauscht. Der Rundkolben ist weiter abzukühlen!
6. Der zweite Rundkolben wird fest gehalten und mit dem Kühlaufsatz versehen. Ohne Zusätze wird der Rundkolben 2...3 min schwach erwärmt und danach abgekühlt.
7. Geben Sie den Inhalt des ersten Rundkolbens zu 5 ml Wasser im Meßzylinder!
Vorsicht! Führen Sie die Geruchsprobe durch! Da der Ester in Wasser unlöslich ist, scheidet er sich auf dem Wasser ab. Schätzen Sie den Anteil der Ausgangsstoffe (insgesamt 5 ml), der sich zu Ester umgesetzt hat!
8. Auf die gleiche Weise verfahren Sie mit dem Inhalt des zweiten Rundkolbens!

Geräte und Chemikalien B

Reagenzglas
Reagenzglashalter
Brenner

Natriumhydroxidlösung
Äthansäureäthylester

Arbeitsanweisung B

1. Geben Sie in ein Reagenzglas 5 Tropfen Äthansäureäthylester, dann 2 ml Wasser und 2 ml Natriumhydroxidlösung! Führen Sie die Geruchsprobe aus!
2. Erwärmen Sie unter Schütteln den Reagenzglasinhalt für 2 min leicht! Führen Sie die Geruchsprobe aus!

Auswertung

1. Zur Esterbildung
Machen Sie Angaben zur Vollständigkeit des Reaktionsverlaufs! Erläutern Sie den Einfluß der konzentrierten Schwefelsäure auf die Esterbildung durch Vergleich der Ergebnisse aus den beiden Parallelexperimenten!
2. Zur Hydrolyse des Esters
Charakterisieren Sie an Hand des Ergebnisses von Experiment B die Hydrolyse des Esters als Umkehrung der Esterbildung!
3. Diskutieren Sie Faktoren, die die Lage des chemischen Gleichgewichts bei der Bildung und dem Zerfall eines Esters beeinflussen können!
4. Erläutern Sie die Rolle der konzentrierten Schwefelsäure als Katalysator bei der Einstellung dieses chemischen Gleichgewichts!

Nachweis von Ionen in Lösungen

Aufgabe



Prüfen Sie einige Lösungen auf Chlorid-, Sulfat- und Karbonat-Ionen!

Vorbetrachtung

1. Informieren Sie sich über die Grundlagen der Nachweisreaktionen! (↗ Chemie in Übersichten, S. 128)

Geräte und Chemikalien

Reagenzglasständer
12 Reagenzgläser

verdünnte Salpetersäure
verdünnte Salzsäure
verdünnte Schwefelsäure
Kalziumhydroxidlösung
Silbernitratlösung
Bariumchloridlösung
Natriumchloridlösung
Kalziumsulfatlösung
Natriumkarbonatlösung

Arbeitsanweisung

1. Prüfen Sie folgende Lösungen auf Chlorid-Ionen, indem Sie 2 ml Lösung mit 1 ml Salpetersäure ansäuern und dann mit 5 Tropfen Silbernitratlösung versetzen:
a) Natriumchloridlösung, b) verdünnte Salzsäure, c) verdünnte Schwefelsäure, d) Leitungswasser!
2. Prüfen Sie folgende Lösungen auf Sulfat-Ionen, indem Sie 2 ml Lösung mit 1 ml Salzsäure ansäuern und dann mit 5 Tropfen Bariumchloridlösung versetzen: a) verdünnte Schwefelsäure, b) Natriumchloridlösung, c) Leitungswasser, d) Kaliumsulfatlösung!

3. Prüfen Sie folgende Lösungen auf Karbonat-Ionen, indem Sie 2 ml Lösung mit 2 ml Kalziumhydroxidlösung versetzen: a) Natriumchloridlösung, b) Leitungswasser, c) Natriumkarbonatlösung!

Auswertung

1. Entwickeln Sie für die drei Nachweisreaktionen die Reaktionsgleichungen in verkürzter Ionenschreibweise!
2. Fassen Sie jeweils zusammen, welche der untersuchten Stoffe die nachzuweisenden Ionen enthielten!

Eliminierung

Aufgabe

Stellen Sie Äthen durch katalytische Wasserabspaltung aus Äthanol her!

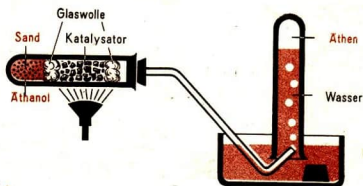
Vorbetrachtung

1. Geben Sie die Strukturformeln von Äthanol und Äthen an!
2. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Abspaltung von Wasser aus Äthanol unter Bildung von Äthen! Erläutern Sie diese Reaktion als Eliminierung!
3. Welches Volumen Äthen kann man aus 0,79 g Äthanol ($\cong$ der Masse von 1 ml Äthanol) gewinnen?

Geräte und Chemikalien

schwer schmelzbares Reagenzglas
2 Reagenzgläser mit Stopfen
Stopfen mit Gasableitungsrohr
pneumatische Wanne
Brenner
Glasslab
langer Halbmikrotropfer
Glaswolle mit Pinzette

trockener Sand
Äthanol
Bromwasser
Katalysator (Aluminiumoxid auf Bimsstein oder Mauerstein)



Arbeitsanweisung

1. Geben Sie in ein schwer schmelzbares Reagenzglas etwa 3 cm hoch Sand! Der Sand wird aus dem langen Halbmikrotropfer tropfenweise mit Äthanol getränkt. Es schließt sich eine 2 cm starke, leicht zusammengedrückte Glaswollschicht an.

Auf die Glaswolle geben Sie danach etwa 5 cm hoch den Katalysator. Die Füllung wird mit einer 2 cm starken Glaswollschicht abgeschlossen.

2. Nehmen Sie den weiteren Aufbau der Apparatur nach der Abbildung (S. 119) vor! In der pneumatischen Wanne werden zwei Reagenzgläser vorbereitet.
3. Erhitzen Sie den Katalysator nach vorsichtigem Vorwärmen stärker!
4. Wenn der Katalysator hoch genug erhitzt ist, treiben Sie durch kurzes Befächeln mit der Flamme etwas Äthanol aus dem durchtränkten Sand aus! Danach ist der Katalysator weiter zu erhitzen! Die ersten Gasblasen werden nicht aufgefangen. Sollte keine deutliche Gasentwicklung zu beobachten sein, dann muß der Katalysator stärker erhitzt werden!
5. Das kurze Befächeln des mit Äthanol durchtränkten Sandes unter gleichzeitigem starken Erhitzen des Katalysators wird so durchgeführt, daß eine kontinuierliche, nicht zu stürmische Gasentwicklung garantiert ist.
6. Die beiden mit Äthen gefüllten Reagenzgläser sind unter Wasser zu verschließen!
7. Brechen Sie das Experiment ab, indem Sie das Gasableitungsrohr aus der pneumatischen Wanne nehmen und das Erhitzen stufenweise einstellen!
8. In das erste Reagenzglas mit Äthen wird bei kurzem (!) Lüften des Stopfens schnell ein Halbmikrotropfer voll Bromwasser gegeben und geschüttelt.
9. Das zweite Reagenzglas mit Äthen wird nach Entfernen des Stopfens schnell mit der Mündung an die Flamme des Brenners gehalten.

Auswertung

1. Kontrollieren Sie die Vollständigkeit der Protokolleintragungen!
2. Was schließen Sie aus der Entfärbung des Bromwassers? Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für diese Reaktion!
3. Während der Experimente führten Sie eine Addition und eine Eliminierung durch. Nennen Sie beide Reaktionen, und charakterisieren Sie die Zugehörigkeit dieser Reaktionen zu den beiden Reaktionstypen!

Katalytische Dehydrierung

Aufgabe

Dehydrieren Sie Äthanol durch Überleiten über erhitztes Kupfer als Katalysator!

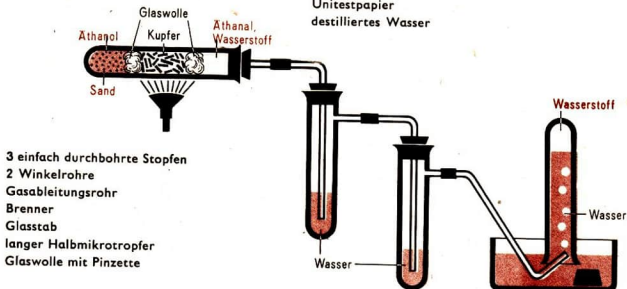
Vorbetrachtung

1. Unter den Bedingungen der Aufgabe wird aus 1 mol Äthanol 1 mol Wasserstoff abgespalten.
 - a) Welche Reaktionsprodukte erwarten Sie?
 - b) Entwickeln Sie die chemische Gleichung!
2. Welches Volumen Wasserstoff (im Normzustand) wird unter den angegebenen Bedingungen aus 0,5 g Äthanol abgespalten?

Geräte und Chemikalien

5 Reagenzgläser
2 passende Stopfen
schwer schmelzbares Reagenzglas
2 Reagenzgläser mit seitlichem
Ansatzrohr
pneumatische Wanne

trockener Sand
Äthanol
Kupfer (Draht)
frisch bereitete ammoniakalische
Silbernitratlösung
fuchsin-schweflige Säure
Unitestpapier
destilliertes Wasser



3 einfach durchbohrte Stopfen
2 Winkelrohre
Gasableitungsrohr
Brenner
Glasstab
langer Halbmikrotrofer
Glaswolle mit Pinzette

Arbeitsanweisung

1. Geben Sie in ein schwer schmelzbares Reagenzglas etwa 3 cm hoch Sand! Nachdem Sie mit Hilfe des langen Halbmikrotrofers den Sand mit Äthanol getränkt haben, wird eine etwa 2 cm starke, leicht zusammengedrückte Glaswollschicht eingebracht. Auf die Glaswolle kommt etwa 5 cm hoch metallisches Kupfer. Die Füllung wird mit einer weiteren Glaswollschicht abgeschlossen.
2. Vervollständigen Sie die Apparatur nach der Abbildung! Die Reagenzgläser mit seitlichem Ansatzrohr werden so hoch mit Wasser gefüllt, daß die Glasrohre etwa 2 cm eintauchen. In der pneumatischen Wanne werden zwei Reagenzgläser vorbereitet.
3. Das Kupfer wird nach vorsichtigem Vorwärmen stärker erhitzt.
4. Wenn das Kupfer gerade zu glühen beginnt, wird durch kurzes Befächeln mit der Flamme etwas Äthanol aus dem durchtränkten Sand ausgetrieben. Der Katalysator muß weiter erhitzt werden. Das Austreiben von Äthanol muß wiederholt so vorgenommen werden, daß eine kontinuierliche, nicht zu stürmische Gasentwicklung zu beobachten ist.
5. Das entweichende Gas wird in der pneumatischen Wanne etwa 1 min nach Einsetzen der Gasentwicklung aufgefangen.
6. Etwa 5 min nach Beginn der Gasentwicklung wird das Experiment abgebrochen. Das Erhitzen wird stufenweise eingestellt und dann sofort der Stopfen am schwer schmelzbaren Reagenzglas entfernt, da sonst Flüssigkeit in das sich abkühlende Reagenzglas steigen und dieses zerstören würde.
7. Untersuchung des aufgefangenen Gases: Prüfen Sie den Inhalt der beiden mit Gas

gefüllten Reagenzgläser auf Brennbarkeit! Beobachten Sie die Art des Abbrennens und die auftretenden Begleiterscheinungen!

8. Untersuchung der erhaltenen Lösung: Das zweite Reaktionsprodukt löst sich in Wasser. Zur weiteren Untersuchung wird die Lösung aus dem ersten Reagenzglas mit seitlichem Ansatzrohr auf drei Reagenzgläser gleichmäßig verteilt (sollte die Lösung des ersten Reagenzglases verunreinigt sein, dann wird mit dem Inhalt des zweiten Reagenzglases mit seitlichem Ansatzrohr gearbeitet!). Führen Sie folgende Untersuchungen durch: a) Reaktion mit der 4fachen Menge ammoniakalischer Silbernitratlösung nach vorsichtigem Erwärmen, b) Reaktion mit der gleichen Menge fuchsin-schwefliger Säure, c) Reaktion mit Unitestfarbstoff!

Auswertung

1. a) Welchen Stoff haben Sie pneumatisch aufgefangen? b) Begründen Sie Ihre Meinung! c) Formulieren Sie für die Reaktion unter Punkt 7 der Arbeitsanweisung die chemische Gleichung!
2. a) Welcher Stoff liegt nach der Reaktion in wässriger Lösung vor? b) Begründen Sie Ihre Meinung mit Hilfe der Ergebnisse von 8a bis 8c der Arbeitsanweisung!
3. Überprüfen Sie Ihre Angaben unter 1 a) der Vorbetrachtung, und begründen Sie, weshalb die durchgeführte Reaktion eine Eliminierung ist!

Phenoplaste

Aufgabe

Stellen Sie aus Resorzin (1.3-Dihydroxybenzol) und Methanallösung durch Polykondensation einen Phenoplast her!

Vorbetrachtung

1. Begründen Sie an Hand der Strukturformeln die ähnlichen chemischen Reaktionen von Phenol und Resorzin!



Phenol



Resorzin (1.3-Dihydroxybenzol)

2. Erläutern Sie die Begriffe Kondensation und Polykondensation!
3. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Polykondensation bei der Reaktion von Phenol und Methanal!

Geräte und Chemikalien

Reagenzglasständer
Reagenzglas
Glasstab, Spatel

30%ige Methanallösung
Resorzin (1.3-Dihydroxybenzol)
konzentrierte Salzsäure

Arbeitsanweisung

1. Zu einer etwa 1 cm hohen Schicht Resorzin wird im Reagenzglas das gleiche Volumen Methanallösung gegeben und unter Umrühren und schwachem Erwärmen vollständig gelöst.
2. Stellen Sie das Reagenzglas im Reagenzglasständer ab, geben Sie 4 Tropfen konzentrierte Salzsäure hinzu, und rühren Sie mit dem Glasstab vorsichtig um! Der Glasstab bleibt in der Lösung.
Vorsicht beim Arbeiten mit konzentrierter Salzsäure!
3. Beobachten Sie aufmerksam den Ablauf der stark exothermen Reaktion, und protokollieren Sie sorgfältig!

Auswertung

1. Erklären Sie die Verfestigung des Reaktionsgemisches beim Reaktionsverlauf!
2. Wie könnte der hergestellte Phenoplast verwendet werden?
3. Begründen Sie, daß die Polykondensation der Substitution zuzuordnen ist!

Qualitative Untersuchung von Stoffen

Aufgabe

13
▼ Prüfen Sie ein Düngemittel und dessen wäßrige Lösung auf Vorhandensein von Ammonium-, Karbonat-, Chlorid-, Sulfat-, Nitrat-, Wasserstoff- und Hydroxid-Ionen!

Vorbetrachtung

1. Informieren Sie sich auf Seite 92 über die Ausführung und den positiven Ausfall der anzuwendenden Nachweisreaktionen!
2. Welche Vorsichtsmaßnahmen müssen Sie beim Arbeiten mit konzentrierten und verdünnten Säuren und Basenlösungen beachten? Wie verhalten Sie sich bei Verätzungen mit Säuren oder Basen? (↗ Chemie in Übersichten, S. 130...133)

Geräte und Chemikalien

Reagenzglasständer

9 Reagenzgläser

Tüpfelplatte

Spritzflasche

Becherglas

Halbmikrotropfer

Glasstrichter mit Rundfiltern

Glasstab

Brenner

Düngemittelprobe

Natriumhydroxidlösung

verdünnte Salzsäure

Kalziumhydroxidlösung

verdünnte Salpetersäure

konzentrierte Schwefelsäure

Unitestpapier

Silbernitratlösung

Bariumchloridlösung

frisch zubereitete, gesättigte

Eisen(II)-sulfatlösung

Arbeitsanweisung

1. Durchführung und Beobachtungen bei den einzelnen Nachweisreaktionen sind sorgfältig zu protokollieren!
2. Beschreiben Sie die Beschaffenheit der Düngemittelprobe!
3. Nachweis der Ammonium-Ionen: 2 Spatelspitzen des Düngemittels im Becherglas mit etwa 2 ml Natriumhydroxidlösung übergießen! Führen Sie vorsichtig die Geruchssprobe durch, und halten Sie einen Streifen angefeuchtetes Unitestpapier oder einen mit konzentrierter Salzsäure benetzten Glasstab über das Becherglas!
4. Nachweis der Karbonat-Ionen: 2 Spatelspitzen des Düngemittels im Reagenzglas mit verdünnter Salzsäure versetzen! Führen Sie die Geruchssprobe durch! Karbonat-Ionen sind im Düngemittel enthalten, wenn ein farb- und geruchloses Gas entweicht, das mit Kalziumhydroxidlösung einen Niederschlag bildet.
5. Versetzen Sie 4 Spatelspitzen des Düngemittels im Reagenzglas mit etwa 10 ml Wasser! Es wird leicht erwärmt. Filtrieren Sie die Lösung vom unlöslichen Rückstand ab!
6. Nachweis von Wasserstoff- und Hydroxid-Ionen: Von dem klaren Filtrat sind einige Tropfen mit dem Glasstab auf Unitestpapier zu geben!
7. Nachweis der Chlorid-Ionen: Etwa 2 ml klares Filtrat sind im Reagenzglas mit Salpetersäure anzusäuern und 5 Tropfen Silbernitratlösung zuzusetzen!
8. Nachweis der Sulfat-Ionen: Etwa 2 ml klares Filtrat sind im Reagenzglas mit Salzsäure anzusäuern und 5 Tropfen Bariumchloridlösung zuzusetzen!
9. Nachweis der Nitrat-Ionen: Etwa 1 Tropfen klares Filtrat ist auf einer Tüpfelplatte mit 1 Tropfen Eisen(II)-sulfatlösung zu versetzen! Danach wird mit einem Halbmikrotropfer konzentrierte Schwefelsäure vorsichtig neben die Lösung gebracht, so daß sich beide Lösungen berühren.

Auswertung

1. Welche Ionen konnten Sie als Bestandteile des Düngemittels und in der wäßrigen Lösung nachweisen?
2. Formulieren Sie Reaktionsgleichungen in Ionenschreibweise für die positiv ausgefallenen Nachweisreaktionen! Bestimmen Sie die Art der Reaktion, die jeweils vorliegt!
3. Äußern Sie auf Grund der nachgewiesenen Ionen Vermutungen über die Art des Düngemittels!
4. Fassen Sie das Gesamtergebnis Ihrer Untersuchungen am Ende des Protokolls übersichtlich zusammen! Lassen Sie sich vom Lehrer die Richtigkeit Ihrer Untersuchungen bestätigen! Der Lehrer teilt Ihnen dann auch mit, um welches Düngemittel es sich bei der von Ihnen untersuchten Probe handelte.

Register

A

Addition 86, 89, 90
Ammoniak 25...28
Ammoniaklösung, wäßrige 27
Ammoniaksynthese 32...38
–, Entwicklung der Leuna-Werke 38...41
–, physikalisch-chemische Grundlagen 32...35
–, technische Durchführung 35...38
Ammoniak-Syntheseröfen 36, 37
Ammonium-Ion 25...29, 89, 92
–, Nachweis 31, 109
Ammoniumsalze 29...32
Anhydrit 65
Arbeitsweise, kontinuierliche 69
Äthanol, Reaktion mit Kupfer(II)-oxid 110

C

Chemie, Bedeutung 95...108
– und wissenschaftlich-technischer Fortschritt 95...99
Chemieanlagenbau 101
Chemisierung der Volkswirtschaft 96, 106...108

D

Dehydrierung, katalytische 120...122

E

Eisen(II)-sulfid, Synthese von 114
Eliminierung 86, 90, 91, 119, 120
Ester, Bildung und Zerfall 116...118

F

Fällungsreaktionen 85, 86, 87
Forschungszentren 97

G

Gips 65
Gips-Schwefelsäure-Verfahren 65

H

Haber, Fritz 38
Hauptgruppe, V., Übersicht 21, 22
–, VI., Übersicht 49, 50

I

Ionen, Nachweis in Lösungen 118, 119

K

Kalziumkarbonat, Reaktion mit Salzsäure 111

Karbonat-Ion 89
Kohlenstoff, Quantitatives Bestimmen in
einem Karbonat 112, 113
Kontaktverfahren 66...69
Kontinuierliche Arbeitsweise 69
Kreislaufprinzip 36

L

Liebig, Justus von 31, 32

N

Nitrate 45...47
Nitrat-Ionen 46, 110
-, Nachweis 46, 110
Nitrit 46

O

Ostwald, Wilhelm 42
Oxydation 16, 18
Oxydationsmittel 17, 18
Oxydationszahl 7...14
-, Begriff 9
-, Bestimmen 9...14
-, Festlegungen 12

P

Phenolplaste 122, 123
Praktikum 71...94
Produktivkraft 95
Protonenübergang, Reaktionen mit 27,
55, 88, 89
Pyrit 53

Q

Quantitative Untersuchung von Stoffen
92, 93, 123, 124

R

Rationalisierung, sozialistische 97
Reaktion, chemische, als Neuausbildung
chemischer Bindungen 75...77
-, -, als Stoffumwandlung 72...75
-, -, Arten 104...106
-, -, energetische Betrachtung 77...79
-, -, Klassifizierung 85, 86
-, -, komplexe Betrachtung 79...83
-, -, mit Elektronenübergang 7
-, -, mit Protonenübergang 27, 88, 89
Reaktionsgeschwindigkeit und Konzen-
tration 115, 116
Redoxbegriff, Erweiterung 15...18
Redoxreaktion 7...20, 87, 88
-, Begriff 16, 18
-, Erkennen 18...20
Reduktion 16, 18
Reduktionsmittel 17, 18
Revolution, wissenschaftlich-technische
95
Rohstoffbasis 100

S

Salpetersäure 44...46
-, Eigenschaften 44, 45
-, konzentrierte 44
-, verdünnte 44
-, Verwendung 46
salpetrige Säure 46, 47
Schülerexperimente 109...124
Schwefel 51, 52
-, Eigenschaften 52
-, Oxide 56...62
Schwefeldioxid 56...58
-, technische Herstellung 64...66
Schwefelsäure 62...64
-, Eigenschaften 63
-, Kontaktverfahren 66...69
-, konzentrierte 62
-, technische Herstellung 64...69
-, verdünnte 62

Schwefelwasserstoff 54...56
Schwefeltrioxid 58...62
Stickstoff 23...25
-, Oxide 41...44
Stickstoffdioxid 43, 44
Stickstoffmonoxid 41...43
Stoffe, Qualitative Untersuchungen 92,
93, 123, 124
Substitution 91
Sulfat-Ionen 63
-, Nachweis 63
Sulfide 52, 53

V

VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“
32, 38, 40
Verfahren, chemisch-technische 103...106

W

Wärmeaustausch 36, 68
Wärmeaustauscher 37
Wirtschaftshilfe, Rat für gegenseitige
98, 99
wissenschaftlich-technischer Fortschritt
95...99

Abbildungsnachweis

Bauernbild, Berlin (Abb. 13);
Volker Etelt, Berlin (Innentitelbild);
Museum für deutsche Geschichte (Abb. 20);
Wolfgang Schröter, Leipzig (Abb. 21);
VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ (Abb. 18, 22);
Zentralbild, Berlin (Abb. 9, 25, 43).



Halbmikro-
gasentwickler



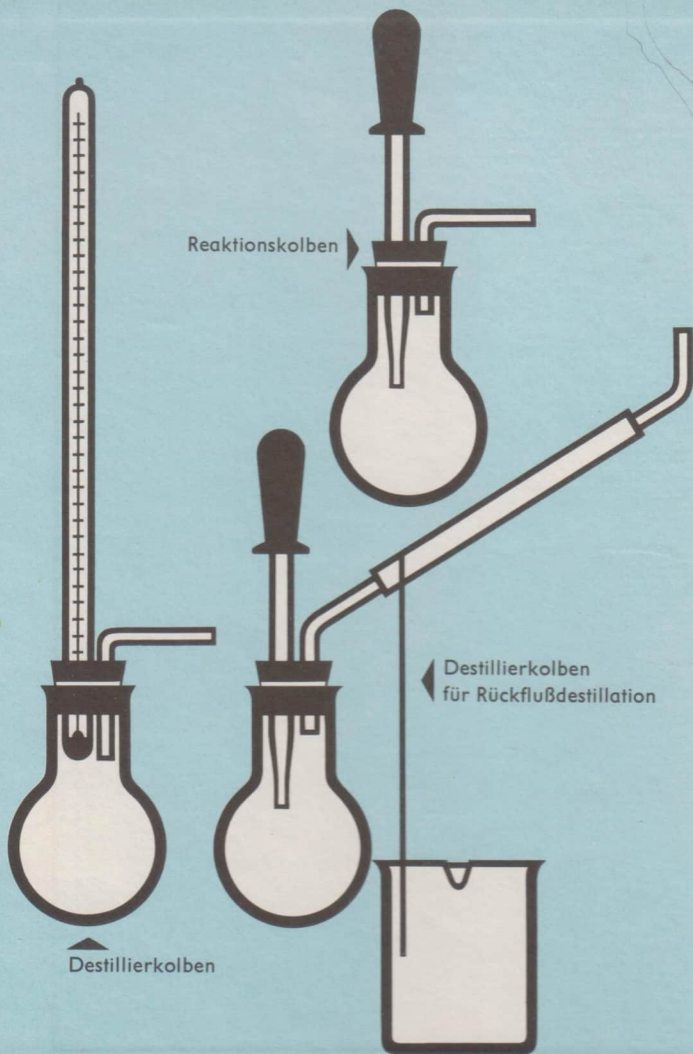
Halbmikrogasentwickler
mit nach unten
gerichtetem Ausgleichsrohr und
pneumatischer Wanne



Halbmikro-
gaswäscher

Verbrennungsrohr mit
Halbmikro-
gaswäscher





Kurzwort: 031001 Lehrb. Chemie KI 10
Schulpreis DDR: 2,20