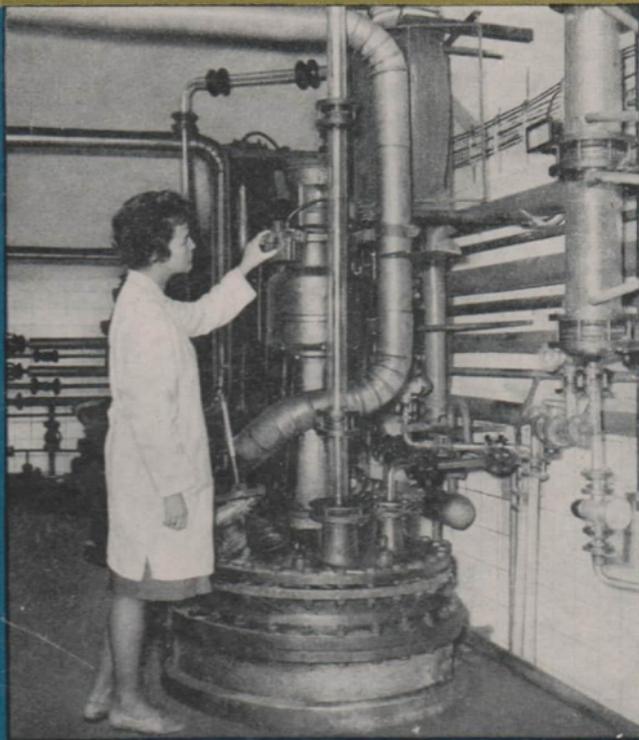


ERWEITERTE
OBERSCHULE

Chemie

TEIL **3**
3.30



	HAUPTGRUPPEN		NEBENGRUPPEN					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
1. Periode	1 H 1,0080							
2. Periode	3 Li 6,940	4 Be 9,013						
3. Periode	11 Na 22,991	12 Mg 24,32						
4. Periode	19 K 39,100	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85
5. Periode	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc (99)	44 Ru 101,1
6. Periode	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57* La 138,92	72 Hf 178,50	73 Ta 180,95	74 W 183,86	75 Re 186,22	76 Os 190,2
7. Periode	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89** Ac (227)					

zunehmend ↓

* Lanthaniden

58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm (147)	62 Sm 150,35	63 Eu 152,0	64 Gd 157,26
--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------	--------------------

** Aktiniden

90 Th 232,05	91 Pa (231)	92 U 238,07	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)
--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

P E N				H A U P T G R U P P E N					
VIII		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
									2 He 4,003
				5 B 10,82	6 C 12,011	7 N 14,008	8 O 16	9 F 19,00	10 Ne 20,183
				13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,975	16 S 32,066	17 Cl 35,457	18 Ar 39,944
27 Co 58,94	28 Ni 58,71	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83,80
45 Rh 102,91	46 Pd 106,4	47 Ag 107,880	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 J 126,91	54 Xe 131,30
77 Ir 192,2	78 Pt 195,09	79 Au 197,0	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)

65 Tb 158,93	66 Dy 162,51	67 Ho 164,94	68 Er 167,27	69 Tm 168,94	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

97 Bk (249)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No	103 Lw
-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	-----------	-----------

Die Zahlen in Klammern
beziehen sich jeweils
auf ein Isotop
dieses Elementes

Chemie

Lehrbuch für die erweiterte Oberschule

TEIL 3 · 12. KLASSE



VOLK UND WISSEN

VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1968

Das Manuskript für dieses Lehrbuch verfaßten
Oberlehrer Dipl.-Chem. Dr. Gerhard Meyendorf (1. Kapitel und Anhang Schülerversuche)
Prof. Dr. Werner Renneberg (2. Kapitel)
und Prof. Dr. Horst Wolffgramm (3. Kapitel)

Bearbeitet von Wolfgang Eisenhuth

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

Ausgabe 1963

Zeichnungen: Heinrich Linkwitz

Grafische Darstellung: Kollektiv Zimmermann-Engemann

Einband: Werner Fahr

Typografische Gestaltung: Günter Wolf · Günter Bunschke

Siebente, unveränderte Auflage

Redaktionsschluß: 1. August 1965

ES 11 H · Best.-Nr. 03 12 57-7 · Preis 3,30 · Lizenz Nr. 203 · 1000/67 (UN)
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“ Bad Langensalza (V/12/6)

INHALTSVERZEICHNIS

1. KAPITEL

Einige Metalle der Nebengruppen des Periodensystems der Elemente

Atombau und Stellung der Nebengruppenelemente im Periodensystem	6
Elektrochemische Vorgänge	13
Kupfer	25
Silber	36
Komplexverbindungen	37
Grundlagen der Fotografie	41
Chrom und Mangan	47
Zink	51
Nickel	56
Wiederholungsfragen und Aufgaben	57

2. KAPITEL

Historische Entwicklung einiger chemischer Begriffe

Entwicklung des Atom- und Elementbegriffs	60
Erforschung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten	67
Entwicklung des Säure-Base-Begriffs	72
Wiederholungsfragen und Aufgaben	76

3. KAPITEL

Grundlagen der chemischen Produktion

Chemische Produktion in der Deutschen Demokratischen Republik . .	78
Einteilung chemisch-technischer Reaktionen	80
Wichtige allgemeine verfahrenstechnische Prinzipien in der chemischen Produktion	82
Apparaturen zur Vorbereitung der Ausgangsstoffe auf die Reaktion und zur Aufarbeitung der Reaktionsprodukte	85
Reaktionsapparate	91
Wiederholungsfragen und Aufgaben	96

ANHANG

Schülerversuche	97
Sach- und Namenregister	102

Zeichenerklärung



Unterrichtsversuche



Unterrichtsversuche, die mit besonderer Vorsicht durchgeführt werden müssen

§ 1 usw. Schülerversuche



Merksätze



Fragen und Aufgaben

Darstellung von Stoffen bei chemisch-technischen Verfahren

Stoff

Ausgangsstoffe

Stoff

Hilfsstoffe

Stoff

Zwischenprodukte

Stoff

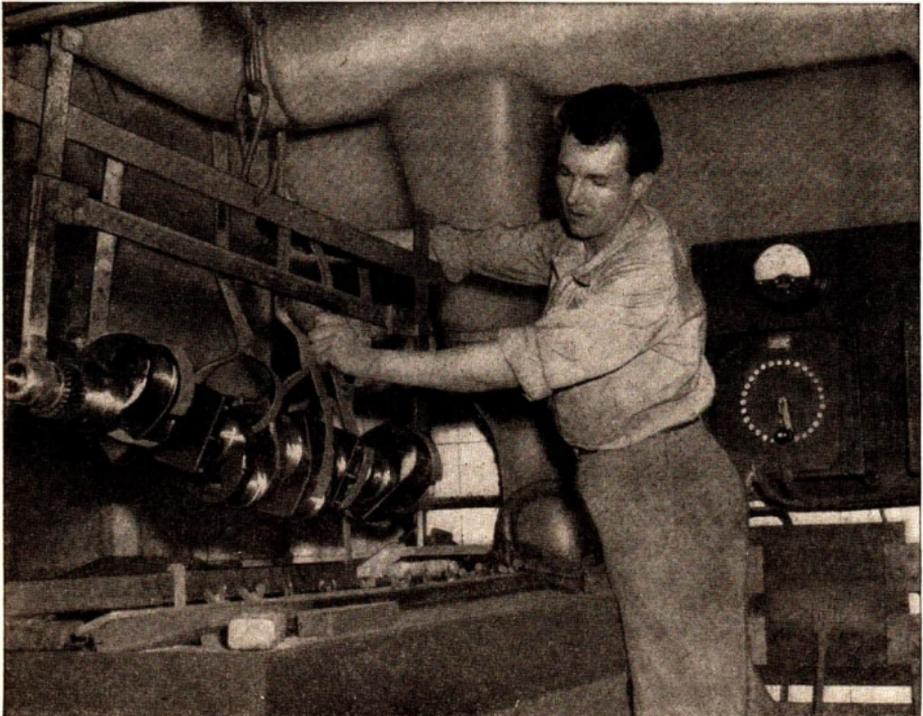
Nebenprodukte und Rücklauf

Stoff

Hauptprodukte

Einige Metalle der Nebengruppen des Periodensystems der Elemente

Maschinen und Geräte werden zum größten Teil aus Metallen hergestellt. Viele dieser Metalle sind im Periodensystem der Elemente in den Nebengruppen systematisiert. In diesem Kapitel lernen wir Eigenschaften, Einsatzmöglichkeiten und Herstellung einiger metallischer Nebengruppenelemente näher kennen und erweitern unsere Kenntnisse über das Periodensystem der Elemente und einige allgemeine Gesetzmäßigkeiten im Verhalten der Stoffe. Einige Metalle, besonders der am häufigsten verwendete Werkstoff Eisen, werden durch Einwirken von Luft und Feuchtigkeit zerstört. Mit Hilfe elektrochemischer Vorgänge kann man deren Oberflächen in galvanischen Bädern mit schützenden Metallüberzügen versehen und ihnen zugleich ein ansprechendes Aussehen geben. Das Bild zeigt einen Arbeiter, der einem galvanischen Bad eine verchromte Kurbelwelle entnimmt.



Atombau und Stellung der Nebengruppenelemente im Periodensystem

1. Elektronenhülle und Einordnung in das Periodensystem. Im Periodensystem der Elemente sind die bisher entdeckten Elemente entsprechend dem von D. I. MENDELJEW erkannten Gesetz der Periodizität angeordnet, das im Bau der Atome begründet ist. Daher läßt sich die Stellung eines Elements im Periodensystem durch die grundlegende Beziehung

$$\blacktriangleright \text{Ordnungszahl} \triangleq \text{Kernladungszahl} \triangleq \text{Elektronenzahl}$$

bestimmen. Auf Grund der gesetzmäßigen Anordnung der Elemente im Periodensystem lassen sich, ausgehend von der Stellung, für die Praxis bedeutsame Voraussetzungen über physikalische Eigenschaften und über das chemische Verhalten von Elementen treffen.

- *Geben Sie einen Überblick über den Aufbau des Periodensystems der Elemente! Stellen Sie den Aufbau der Elektronenhülle bei den Elementen mit den Ordnungszahlen 1 bis 20 zeichnerisch dar, und begründen Sie deren Einordnung in die Hauptgruppen des Periodensystems!*

Die Elemente Argon und Kalium sind im Periodensystem, im Gegensatz zu den meisten anderen Elementen, nicht nach steigendem Atomgewicht angeordnet. Begründen Sie das! Leiten Sie Eigenschaften des Elements Beryllium aus seiner Stellung im Periodensystem der Elemente ab!

Von einem Element X ist folgendes bekannt: Es ist ein Nichtmetall, das auch eine metallähnliche Modifikation besitzt. Die Sauerstoffverbindung mit dem höchsten Sauerstoffgehalt hat die Zusammensetzung X_2O_5 . Sie ist das Anhydrid einer Säure H_3XO_4 . Das Element bildet eine Wasserstoffverbindung XH_2 , die sich bei $150^\circ C$ an der Luft entzündet. In welche Hauptgruppe wäre X einzuordnen? Um welches Element könnte es sich handeln?

Haupt- und Nebengruppenelemente sind auf Grund des Atombaus im Periodensystem angeordnet und zu Gruppen zusammengefaßt. Welche Besonderheiten führen jedoch dazu, zwischen Haupt- und Nebengruppen zu unterscheiden?

Die Nebengruppenelemente stehen in den auf die 3. Periode folgenden Perioden. Das letzte Element der 3. Periode ist das Edelgas Argon.

Die dritte Elektronenschale des Argons, die M-Schale, enthält 8 Elektronen, sie kann jedoch maximal 18 Elektronen aufnehmen. Bei den ersten beiden Elementen der 4. Periode, Kalium und Kalzium, beginnt aber zunächst der Aufbau der N-Schale, die mit zwei Elektronen bereits eine gewisse Stabilität erreicht hat. Die nun folgenden Elemente mit den Ordnungszahlen 21 bis 30 behalten den beim Kalzium erreichten Bau der äußeren Elektronenschale bei und nehmen in die noch für Elektronen aufnahmefähige M-Schale jeweils ein Elektron auf, bis diese maximal besetzt ist. Danach wird der Aufbau der N-Schale, beginnend mit dem Hauptgruppenelement Gallium (Ordnungszahl 31), fortgesetzt, bis sie mit 8 Elektronen beim Krypton eine Edelgaschale erreicht hat. Diese Hauptgruppenelemente (Ordnungszahl 31 bis 36) sind in ihrem chemischen Verhalten den Elementen der zweiten und dritten Periode, die in derselben Hauptgruppe stehen, sehr ähnlich.

Tabelle 1 Elektronenanordnung bei den Elementen mit den Ordnungszahlen 1 bis 54

Periode	Ordnungszahl	Element	Symbol	Elektronenanordnung auf den Schalen					
				K	L	M	N	O	P
1	1	Wasserstoff	H	1					
	2	Helium	He	2					
2	3	Lithium	Li	2	1				
	4	Beryllium	Be	2	2				
	5	Bor	B	2	3				
	6	Kohlenstoff	C	2	4				
	7	Stickstoff	N	2	5				
	8	Sauerstoff	O	2	6				
	9	Fluor	F	2	7				
	10	Neon	Ne	2	8				
3	11	Natrium	Na	2	8	1			
	12	Magnesium	Mg	2	8	2			
	13	Aluminium	Al	2	8	3			
	14	Silizium	Si	2	8	4			
	15	Phosphor	P	2	8	5			
	16	Schwefel	S	2	8	6			
	17	Chlor	Cl	2	8	7			
	18	Argon	Ar	2	8	8			
4	19	Kalium	K	2	8	8	1		
	20	Kalzium	Ca	2	8	8	2		
	21	Skandium	Sc	2	8	8+1	2		
	22	Titan	Ti	2	8	8+2	2		
	23	Vanadin	V	2	8	8+3	2		
	24	Chrom	Cr	2	8	8+4	2		
	25	Mangan	Mn	2	8	8+5	2		
	26	Eisen	Fe	2	8	8+6	2		
	27	Kobalt	Co	2	8	8+7	2		
	28	Nickel	Ni	2	8	8+8	2		
	29	Kupfer	Cu	2	8	8+9	2		
	30	Zink	Zn	2	8	8+10	2		
	31	Gallium	Ga	2	8	18	3		
	32	Germanium	Ge	2	8	18	4		
	33	Arsen	As	2	8	18	5		
	34	Selen	Se	2	8	18	6		
	35	Brom	Br	2	8	18	7		
	36	Krypton	Kr	2	8	18	8		
5	37	Rubidium	Rb	2	8	18	8	1	
	38	Strontium	Sr	2	8	18	8	2	

Tabelle 1 Elektronenanordnung bei den Elementen mit den Ordnungszahlen 1 bis 54 (Fortsetzung)

Periode	Ordnungszahl	Element	Symbol	Elektronenanordnung auf den Schalen					
				K	L	M	N	O	P
5	39	Yttrium	Y	2	8	18	8+1	2	
	40	Zirkon	Zr	2	8	18	8+2	2	
	41	Niob	Nb	2	8	18	8+3	2	
	42	Molybdän	Mo	2	8	18	8+4	2	
	43	Technetium	Tc	2	8	18	8+5	2	
	44	Ruthenium	Ru	2	8	18	8+6	2	
	45	Rhodium	Rh	2	8	18	8+7	2	
	46	Palladium	Pd	2	8	18	8+8	2	
	47	Silber	Ag	2	8	18	(10) 8+9	(0) 2	
	48	Kadmium	Cd	2	8	18	(10) 8+10	(1) 2	
	49	Indium	In	2	8	18	18	3	
	50	Zinn	Sn	2	8	18	18	4	
	51	Antimon	Sb	2	8	18	18	5	
	52	Tellur	Te	2	8	18	18	6	
53	Jod	J	2	8	18	18	7		
54	Xenon	Xe	2	8	18	18	8		

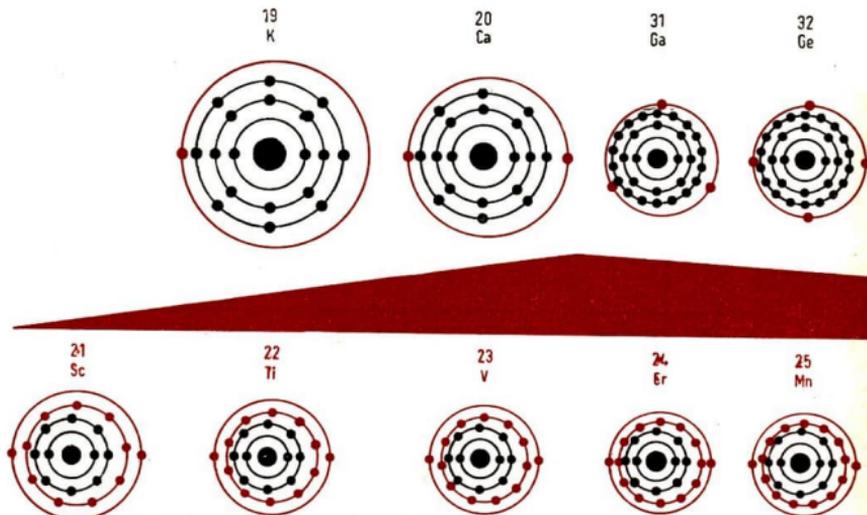


Abb. 1 Schalenbau der Elemente in der 4. Periode. Zwischen den Hauptgruppenelementen

- *Beweisen Sie diese Feststellung durch einen Vergleich der Elemente Brom und Chlor!*

Im Periodensystem leiten die Elemente mit den Ordnungszahlen 21 bis 30, da bei gleicher Elektronenbesetzung die vorletzte Schale aufgefüllt wird, von dem Hauptgruppenelement Kalzium (Ordnungszahl 20) über zum nächsten Hauptgruppenelement Gallium (Ordnungszahl 31). Entsprechend ihrer Stellung im Periodensystem bezeichnet man die Elemente mit den Ordnungszahlen 21 bis 30 als Übergangs- oder Nebengruppenelemente (Abb. 1). In der 5. Periode vollzieht sich der Übergang zwischen der II. und III. Hauptgruppe entsprechend dem in der 4. Periode. Die Elektronenanordnung der ersten 54 Elemente des Periodensystems wird durch Tabelle 1 (Seite 7 und 8) wiedergegeben.

- *Beachten Sie in Tabelle 1 besonders den Aufbau der jeweils letzten beiden Elektronenschalen!*
Vergleichen Sie die Elektronenanordnung der Hauptgruppenelemente mit der der Nebengruppenelemente!

Die Rolle der Übergangs- oder Nebengruppenelemente kommt im Periodensystem besonders deutlich zum Ausdruck, wenn diese Elemente, wie bereits in Abbildung 1 angedeutet, zwischen der II. und III. Hauptgruppe eingeordnet werden. Man erhält dann die langperiodige Darstellung des Periodensystems der Elemente, die am Anfang dieses Lehrbuches zu finden ist.

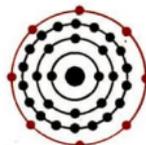
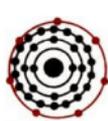
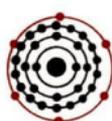
- *Geben Sie die Anzahl der Übergangselemente für jede Periode an!*

33
As

34
Se

35
Br

36
Kr



26
Fe

27
Co

28
Ni

29
Cu

30
Zn



Kalzium und Gallium sind 10 Übergangselemente eingeschoben.

In den beiden letzten Perioden des Periodensystems ist jeweils eine größere Anzahl von Übergangselementen erfaßt als in der 4. und 5. Periode. Die auf das in der 6. Periode stehende Lanthan (Ordnungszahl 57) folgenden 14 Übergangselemente bezeichnet man als **Lanthaniden**. Das Auftreten dieser Elemente ist dadurch begründet, daß die N-Schale, die innerhalb der 5. Periode auf 18 Elektronen aufgefüllt wird (vgl. Tab. 1), maximal 32 Elektronen aufnehmen kann. Diese Schale wird, beginnend mit dem Element Zr (Ordnungszahl 58), so weit ausgebaut, bis sie beim Element Lutetium (Ordnungszahl 71) abgeschlossen ist.

- *Vergleichen Sie den Schalenaufbau der Lanthaniden mit dem der anderen Nebengruppenelemente in derselben Periode!*

▶ **Die Lanthaniden unterscheiden sich nur im Bau der drittletzten Schale, im Bau der beiden äußeren Schalen stimmen sie überein.**

In der 7. Periode ist im Anschluß an das Nebengruppenelement Aktinium (Ordnungszahl 89) die den Lanthaniden entsprechende Gruppe der Aktiniden erfaßt. Sie schließt diese unvollständige Periode nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung ab. Die meisten Aktiniden sind Elemente, die im Verlaufe von Kernreaktionen entstehen und in der Natur nicht oder nur in schwer nachweisbaren Spuren vorkommen.

▶ **Nebengruppenelemente sind dadurch gekennzeichnet, daß sie auf der äußeren Elektronenschale eine annähernd konstante Anzahl von Elektronen besitzen und mit steigender Kernladungszahl die Elektronenzahl innen gelegener Schalen zunimmt.**

2. Eigenschaften der Nebengruppenelemente. Auf Grund der Stellung im Periodensystem sind über Nebengruppenelemente, ähnlich wie über Hauptgruppenelemente, Voraussagen bezüglich der Eigenschaften möglich. Dabei stützt man sich auf den Atombau der Elemente, insbesondere auf die Anordnung der Elektronen.

- *Vergleichen Sie die Elemente Natrium und Chlor in ihrem chemischen Verhalten und begründen Sie die Unterschiede aus dem Atombau!*

In jeder Nebengruppe stehen Elemente mit einer charakteristischen Anzahl von Elektronen in der vorletzten Schale untereinander.

- *Beweisen Sie diese Feststellung an Hand der Tabelle 1 für drei Nebengruppen!*

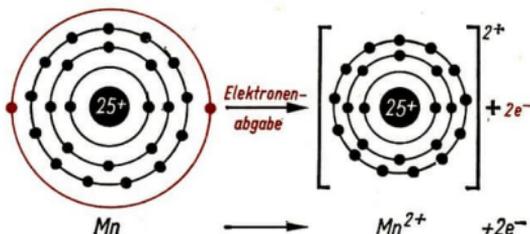
Daraus erklären sich die Besonderheiten im chemischen Verhalten der Elemente jeder Nebengruppe und die Unterschiede zwischen den Nebengruppen.

Die äußere Elektronenschale ist bei den Nebengruppenelementen, im Gegensatz zu den Elementen verschiedener Hauptgruppen, sehr ähnlich aufgebaut. Diese Schale hat größeren Einfluß auf die chemischen Eigenschaften eines Elements als die vorletzte Schale. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Nebengruppen sind folglich nicht so stark ausgeprägt wie bei den Hauptgruppen.

- *Welche Vermutungen können Sie auf Grund dieser Feststellungen über die Lanthaniden äußern?*

Alle Übergangselemente können die wenigen – meist zwei – Außenelektronen verhält-

Abb. 2 Bildung von Mangan(II)-Ionen. Durch Abgabe von zwei Außenelektronen gehen Atome der Nebengruppenelemente in zweifach positiv geladene Ionen über.



nismäßig leicht unter Bildung positiv geladener Ionen abgeben (Abb. 2). Sämtliche Nebengruppenelemente verhalten sich in diesem Fall basisch. Sie sind Metalle.

- Schreiben Sie die zweiwertigen Ionen auf, die von den Elementen mit den Ordnungszahlen 22 bis 30 gebildet werden!

An der Ausbildung von Bindungen können bei diesen Elementen neben den Außenelektronen aber auch jene Elektronen der vorletzten Schale mitwirken, die zusätzlich zu einem Elektronenoktett vorhanden sind. Die ersten Übergangselemente einer jeden Periode enthalten in der vorletzten Schale nur wenige Elektronen mehr als ein Oktett. Da diese zusätzlichen Elektronen gemeinsam mit den zwei Außenelektronen betätigt werden können, sind hier neben der Oxydationsstufe + 2 auch höhere Oxydationsstufen möglich. Die Elemente der III. Nebengruppe treten sogar normalerweise dreiwertig auf. Beim Mangan zum Beispiel können außer den zwei Elektronen in der Außenschale zusätzlich bis zu fünf Elektronen aus der vorletzten Schale abgegeben werden. Von diesem Element werden dabei mehrere Oxydationsstufen angetroffen, von denen die Stufen + 2, + 4 und + 7 bevorzugt sind. Da bei den Nebengruppenelementen ein Übergang zwischen den einzelnen Oxydationsstufen leicht möglich ist, eignen sich viele dieser Elemente oder deren Verbindungen vorzüglich als Katalysatoren für Oxydations- und Reduktionsprozesse in der Technik und im Laboratorium.

- Geben Sie Beispiele für diese Feststellung aus der anorganischen und organischen Chemie an!

In Tabelle 2 ist für die ersten Nebengruppenelemente der 4. Periode eine Übersicht über den Zusammenhang von maximaler stöchiometrischer Wertigkeit und Bau der Elektronenhülle gegeben.

Tabelle 2 Maximale stöchiometrische Wertigkeit und Bau der Elektronenhülle

Element	Elektronenanordnung auf den Schalen				maximal zu betätigende Elektronen	maximale stöchiometrische Wertigkeit	Oxid mit der maximalen stöchiometrischen Wertigkeit
	K	L	M	N			
Skandium	2	8	8+1	2	3	III	Sc ₂ O ₃
Titan	2	8	8+2	2	4	IV	TiO ₂
Vanadin	2	8	8+3	2	5	V	V ₂ O ₅
Chrom	2	8	8+4	2	6	VI	CrO ₃
Mangan	2	8	8+5	2	7	VII	Mn ₂ O ₇

- *Entwickeln Sie eine entsprechende Tabelle für die Nebengruppenelemente der 5. Periode!*

Wir erkennen, daß die maximale stöchiometrische Wertigkeit bei den ersten Übergangselementen einer Periode ansteigt.

Bei den letzten Übergangselementen einer Periode ist die vorletzte Schale fast bis zu dem stabilen Endzustand von 18 Elektronen aufgefüllt. Das trifft zum Beispiel für das Kupfer zu, dessen Schalen wie folgt besetzt sind:

Elektronenschale	K	L	M	N
Anzahl der Elektronen	2	8	$\frac{8+9}{17}$	2

Hier treten teilweise Elektronen aus der äußeren in die vorletzte Schale über, zum Beispiel beim Element Kupfer:

Elektronenschale	K	L	M	N
Anzahl der Elektronen	2	8	$\frac{8+10}{18}$	1

Daraus erklärt sich, daß Kupfer in Verbindungen stöchiometrisch einwertig auftritt.

- *Stellen Sie analoge Betrachtungen für die Elemente der 5. und 6. Periode an! Begründen Sie an Hand des Baues der Elektronenhülle, daß Zink stets stöchiometrisch zweiwertig auftritt!*

Für Nebengruppenelemente ist die Bildung farbiger Ionen typisch. Diese Erscheinung erklärt sich ebenfalls aus dem Atombau: Durch die Einwirkung der verhältnismäßig energiearmen Strahlen des sichtbaren Lichtes lassen sich Außenelektronen auf innere Schalen verschieben.

- *Zink bildet nur farblose Verbindungen. Begründen Sie diese Erscheinung!*

Aus den bisherigen Betrachtungen folgt, daß trotz der großen Ähnlichkeit der Nebengruppenelemente innerhalb einer Periode gewisse Eigenschaften auftreten, die sich periodisch ändern. Dieser Erscheinung entspricht die kurzperiodige Darstellung des Periodensystems (s. Ende dieses Lehrbuches). Hier ist jeder Hauptgruppe eine Nebengruppe zugeordnet. Zwischen den jeweiligen Haupt- und Nebengruppenelementen bestehen Ähnlichkeiten, die sich unter anderem darin zeigen, daß bei maximaler stöchiometrischer Wertigkeit Verbindungen auftreten, deren Zusammensetzungen einander entsprechen (Tab. 3).

Auch bei den Nebengruppenelementen nehmen innerhalb einer Periode die basischen Eigenschaften von links nach rechts ab. Diese Tendenz ist allerdings wesentlich schwächer ausgeprägt als in den Hauptgruppen. So besitzt zum Beispiel das in der I. Nebengruppe stehende Kupfer in seinen Verbindungen weitgehend basischen Charakter; Mangan ist hingegen amphoter.

Tabelle 3 Einander entsprechende Verbindungen von Haupt- und Nebengruppenelementen

Hauptgruppen- element	Oxid	Hydroxid/ Säure	Salz	Nebengruppen- element	Oxid	Hydroxid/ Säure	Salz
Natrium	Na ₂ O	NaOH	NaCl	Kupfer	Cu ₂ O	(CuOH)	CuCl
Magnesium	MgO	Mg(OH) ₂	MgCl ₂	Zink	ZnO	Zn(OH) ₂	ZnCl ₂
Aluminium	Al ₂ O ₃	Al(OH) ₃	AlCl ₃	Skandium	Sc ₂ O ₃	Sc(OH) ₃	ScCl ₃
Silizium	SiO ₂	H ₄ SiO ₄	K ₄ SiO ₄	Titan	TiO ₂	TiO(OH) ₂	TiO SO ₄
Phosphor	P ₂ O ₅	H ₃ PO ₄	K ₃ PO ₄	Vanadin	V ₂ O ₅	H ₃ VO ₄	(K ₃ VO ₄)
Schwefel	SO ₃	H ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	Chrom	CrO ₃	H ₂ CrO ₄	K ₂ CrO ₄
Chlor	Cl ₂ O ₇	HClO ₄	KClO ₄	Mangan	Mn ₂ O ₇	HMnO ₄	KMnO ₄

Bei einzelnen Nebengruppenelementen ist ferner mit steigender Oxydationsstufe ein Übergang vom basischen zum sauren Charakter festzustellen (Tab. 4).

Tabelle 4 Ausgewählte Oxydationsstufen des Mangans

Oxydationsstufe	+2	+3	+4	+6	+7
Oxid	MnO	Mn ₂ O ₃	MnO ₂	(MnO ₃)	Mn ₂ O ₇
Charakter	basisch	basisch	amphoter	sauer	sauer
Hydroxid/Säure	Mn(OH) ₂	MnO(OH) unbeständig	MnO(OH) ₂	H ₂ MnO ₄	HMnO ₄
Salz	MnCl ₂	MnCl ₃ unbeständig	MnCl ₄ CaMnO ₃ unbeständig	K ₂ MnO ₄	KMnO ₄
Farbe der Lösung	blaßrosa	rot	tiefbraun	grün	violett

Bei den Nebengruppenelementen treten periodische Änderungen der Eigenschaften auf, die jedoch schwächer ausgeprägt sind als bei den Hauptgruppenelementen. Auch aus dem Atombau und der davon abhängigen Stellung der Nebengruppenelemente im Periodensystem lassen sich Voraussagen über deren chemisches Verhalten ableiten.

Elektrochemische Vorgänge

1. Normalelektrode. Alle Metalle haben auf Grund ihres Atombaues eine mehr oder weniger ausgeprägte Tendenz, durch Abgabe von Elektronen in den Ionenzustand überzugehen und dadurch einen stabileren, energieärmeren Zustand ihrer Elektronenschalen zu erreichen. Diese Erscheinung bezeichnete WALTER NERNST (Abb. 3)

als den Lösungsdruck der Metalle. Der Lösungsdruck spielt bei der Erklärung von Vorgängen, die beim Eintauchen von Metallen in Wasser oder Lösungen ablaufen, eine wesentliche Rolle.



1
In verdünnte Lösungen von Silbernitrat, Kupfersulfat, Quecksilber(II)-chlorid, Bleinitrat, Eisensulfat, Zinksulfat und Magnesiumsulfat wird jeweils ein gereinigtes Stück Silberdraht, Kupferdraht, Blei, Eisenblech, Zinkblech und Magnesiumband getaucht beziehungsweise ein Tropfen Quecksilber gegeben.

● Stellen Sie die Vorgänge in Redoxgleichungen dar!

Ordnen Sie die Metalle nach ihrer Tendenz, Elektronen abzugeben, in eine Reihe!

Bestätigen Sie die Ergebnisse durch den Schülerversuch S 1!

Aus den Lösungen von Versuch 1 scheiden sich die Metalle mit dem geringeren Lösungsdruck ab. Das Verhalten eines Metalles ist hierbei von den jeweiligen Reaktionsbedingungen abhängig.

● Beweisen Sie das am unterschiedlichen Verhalten von Kupfer gegenüber Zink- und Silber-Ionen!

Nichtmetalle besitzen ebenfalls eine unterschiedliche Tendenz, in den Ionenzustand überzugehen. Dabei wandeln sich Nichtmetallatome in Anionen um.

● Leiten Sie Vermutungen über ein derartiges Verhalten der Halogene aus dem Atombar ab und überprüfen Sie Ihre Vermutungen durch geeignete Experimente.

Als Beispiel für Vorgänge, die bei Berührung eines Metalles mit Wasser oder einer Salzlösung ablaufen, sei zunächst das System Zink/Zink-Ionen betrachtet. Taucht Zink, ein unedles Metall, in eine Zinksalzlösung ein, so gehen auf Grund des hohen Lösungsdruckes Zinkatome von der Metalloberfläche in Zink-Ionen über, die in die Salzlösung eintreten. Die dabei abgegebenen Elektronen verbleiben auf der Metalloberfläche, die dadurch negativ aufgeladen wird. An der Berührungsfläche von Metall und Lösung, in der positiv geladene Ionen zusätzlich gelöst sind, entsteht eine elektrische Doppelschicht, zwischen der ein Spannungsunterschied auftritt (Abb. 4). Der Spannungsunterschied zwischen Metall und der mit ihm in Berührung stehenden Lösung wird als Eigenpotential des Metalles bezeichnet. Wenn Lösungs-

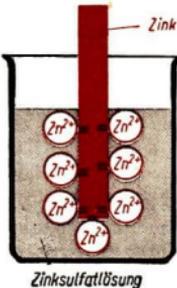


Abb. 4 Doppelschicht im System Zink/Zink-Ionen. Zwischen Zink und Zinksulfatlösung besteht ein Spannungsunterschied.

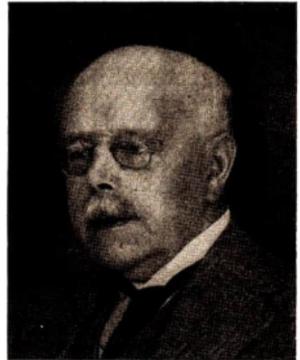
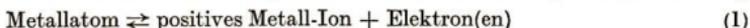


Abb. 3 WALTER NERNST (1864 bis 1941) beschäftigte sich eingehend mit elektrochemischen Erscheinungen.

druck und elektrostatische Anziehung der positiven Ionen durch das negativ geladene Metall einander entsprechen, ist ein Gleichgewicht erreicht. Dieser Zustand, bei dem das Metall nicht weiter aufgeladen wird, ist mit der allgemeinen Gleichung



ausgedrückt. Beim System Zink/Zink-Ionen liegt das Gleichgewicht wegen des hohen Lösungsdruckes auf der Seite der Ionen:



Demgegenüber ist es beim System Kupfer/Kupfer (II)-Ionen auf die Seite des Metalles verschoben:



Hier liegt ein verhältnismäßig edles Metall mit niedrigem Lösungsdruck vor. Bis das Gleichgewicht erreicht ist, werden daher weniger Kupfer(II)-Ionen in Lösung gehen, als sich Kupfer(II)-Ionen aus der Lösung abscheiden. In diesem Fall wird das Metall positiv aufgeladen, und Anionen aus der Lösung werden angezogen.

Das Eigenpotential eines Metalles ist vom Lösungsdruck als Eigenschaft der Elektrode, von der Konzentration der Ionen als Eigenschaft der Lösung sowie von der Temperatur abhängig. Um vergleichbare Bedingungen zu schaffen, arbeitet man mit **Standardelektroden** (Normalelektroden). Für diese Elektroden wurden folgende Bedingungen festgelegt: Ein Metall taucht bei der Temperatur von 25 °C in die 1-molare Lösung seines Salzes.

► Die Tendenz der Metalle, in den Ionenzustand überzugehen, ist unterschiedlich ausgeprägt. Wenn Metalle mit Lösungen in Berührung stehen, gehen so lange Metallatome als positiv geladene Ionen in Lösung (Lösungsdruck), bis sich ein Gleichgewicht zwischen ihnen und dem dadurch entstehenden Potential des Metalles eingestellt hat.

2. Potentialdifferenz — Spannungsreihe. Es ist nicht möglich, Eigenpotentiale zu messen. Man kann nur die Differenz zwischen zwei Eigenpotentialen messen (in Volt) und erhält das relative Eigenpotential der Metalle.

2
 Eine Standard-Eisenelektrode wird in der Versuchsanordnung nach Abbildung 5 mit einer Standard-Kupferelektrode über ein Spannungsmeßgerät für kurze Zeit verbunden.

● Was beobachten Sie?
 Bestimmen Sie die Potentialdifferenz zwischen einer Kupfer- und einer Standard-Zinkelektrode im Schülerversuch S 2!

Die Meßwerte sind bei Versuch 2 nicht sehr genau. Mit

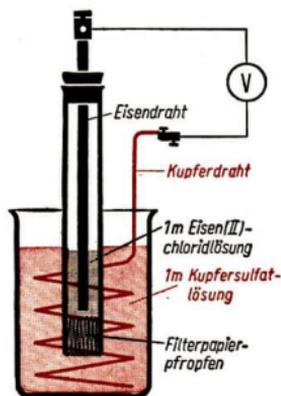


Abb. 5 Versuch zum Messen der Potentialdifferenz zwischen einer Standard-Kupferelektrode und einer Standard-Eisenelektrode

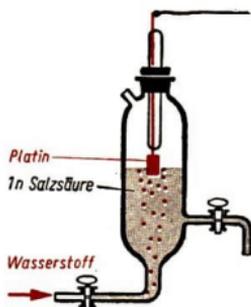


Abb. 6 Bei der Standard-Wasserstoffelektrode taucht ein Platinblech, das von Wasserstoff unter 760 Torr umspült wird, bei 25 °C in 1 n Salzsäure.

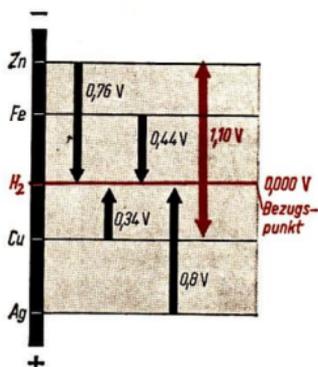


Abb. 7 Durch die Wahl eines Nullpunktes für die Spannungsreihe können Einzelpotentiale angegeben und verglichen werden.

komplizierteren Einrichtungen ist es jedoch möglich, bei wissenschaftlichen Untersuchungen recht genaue **Potentialdifferenzen** zu ermitteln. Aus solchen Meßergebnissen erhält man für die Eigenpotentiale der Metalle nur dann vergleichbare Werte, wenn man eine Standardelektrode auswählt und ihr Eigenpotential als Nullpunkt festlegt. Es ist allgemein üblich, als Bezugspunkt das Potential der **Standard-Wasserstoffelektrode** (Normal-Wasserstoffelektrode) (Abb. 6) zu verwenden, das mit 0,000 V festgesetzt wurde. Damit werden die Eigenpotentiale der übrigen Standardelektroden verglichen (Abb. 7) und dann als **Standardpotentiale** (Normalpotentiale) erfaßt.

● Beschreiben Sie den Aufbau der Standard-Wasserstoffelektrode!

▶ Die Spannung zwischen der Standardelektrode eines Metalles und der Standard-Wasserstoffelektrode wird als Standardpotential bezeichnet. Ordnet man die Metalle nach Standardpotentialen, so erhält man die elektrochemische Spannungsreihe.

Tabelle 5 Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle

Metall (Standardelektrode)	Standardpotential in Volt	Metall (Standardelektrode)	Standardpotential in Volt
Li/Li ⁺	-2,959	Fe/Fe ²⁺	-0,411
K/K ⁺	-2,924	Ni/Ni ²⁺	-0,23
Ca/Ca ²⁺	-2,76	Sn/Sn ²⁺	-0,136
Na/Na ⁺	-2,715	Pb/Pb ²⁺	-0,122
Mg/Mg ²⁺	-2,34	H ₂ /2H ⁺	±0,000
Mn/Mn ²⁺	-1,1	Cu/Cu ²⁺	+0,344
Zn/Zn ²⁺	-0,762	Ag/Ag ⁺	+0,799
Cr/Cr ²⁺	-0,557	Hg/Hg ²⁺	+0,854
		Au/Au ³⁺	+1,36

3. Schlussfolgerungen aus der Spannungsreihe. Ausgehend von der Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe, kann das Verhalten eines Elementes unter bestimmten Bedingungen abgeschätzt werden. Der Vorgang an einer Standardelektrode läßt sich mit einer allgemeinen Gleichung (1) ausdrücken.

- *Stellen Sie die entsprechenden Gleichungen für die Standardelektroden von Magnesium, Zink, Blei und Kupfer auf!*

Bei diesen Vorgängen handelt es sich um **Redoxvorgänge**. Verläuft der Vorgang entsprechend der Gleichung (1) von links nach rechts, so werden vom Metall Elektronen abgegeben, es wird oxydiert.

Bei umgekehrtem Verlauf des Vorganges wird das Kation reduziert. Die Oxydierbarkeit der Metalle nimmt in der Spannungsreihe mit steigendem Standardpotential ab, das Oxydationsvermögen nimmt mit steigendem Standardpotential zu.

- *Begründen Sie diese Aussagen!*

▶ **Das Standardpotential ist ein Maß für das Oxydationsvermögen der einzelnen Metalle und das Reduktionsvermögen der Metallsalzlösungen.**

- *Im chemischen Anfangsunterricht wurde aus der Reaktionsfähigkeit der Metalle gegenüber Sauerstoff die Metallreihe entwickelt. Vergleichen Sie diese mit der Spannungsreihe!*

Welche Vermutungen können Sie aus der Spannungsreihe über das Vorkommen der Metalle in der Natur anstellen (gediegen, als Oxid bzw. in Salzen)?

Mit Hilfe der Spannungsreihe können ferner Abscheidungs Vorgänge bei der Elektrolyse erklärt werden. Bei einem solchen Vorgang nehmen Kationen an der Katode Elektronen auf und gehen in neutrale Atome über. Die allgemeine Gleichung dafür



entspricht der von rechts nach links gelesenen Gleichung (1).

Ein Kation scheidet sich um so leichter ab, je höher das Standardpotential ist, das heißt, je edler das Metall ist. Liegen in einer Lösung mehrere Kationen nebeneinander vor, so wird im allgemeinen das in der Spannungsreihe mit dem höheren Standardpotential vermerkte Kation zuerst entladen.

- *Welche Erscheinungen werden Sie an den Katoden bei der Elektrolyse einer Natriumchloridlösung und einer Kupfer(II)-chloridlösung mit Kohleelektroden zu erwarten haben?*

An der Elektrodenoberfläche laufen jedoch auch Vorgänge ab, durch die die Abscheidung der Stoffe gemäß ihrer Stellung in der Spannungsreihe nicht erfolgt oder gehemmt wird. Bei der Elektrolyse von Natriumchloridlösung mit einer Quecksilberkatode (Quecksilberverfahren zur Natronlaugeherstellung) scheidet sich beispielsweise nicht Wasserstoff, sondern Natrium zuerst ab, das ein niedrigeres Standardpotential besitzt.

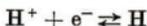
Die Spannungsreihe ermöglicht ferner Angaben über alle Redoxvorgänge, bei denen sich ein Metallatom mit dem Kation eines anderen Metalls in einer Lösung umsetzt. Diese Vorgänge laufen immer dann freiwillig ab, wenn das Element mit niedrigerem

Standardpotential in metallischer Form und das mit höherem Standardpotential als Kation auftritt.

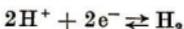
Allgemein stehen also am Anfang in der Spannungsreihe Metalle, die starke Reduktionsmittel, deren Ionen aber nur schwache Oxydationsmittel sind. Am Ende der Spannungsreihe befinden sich dagegen die schwachen Reduktions- beziehungsweise starken Oxydationsmittel.

- *Beweisen Sie diese Feststellungen an Hand der Ergebnisse von Versuch 1 und Schüler-versuch S 1! Stellen Sie für die Beispiele aus den Versuchen die jeweils zusammengehörenden Teilvorgänge nach der allgemeinen Gleichung (1) dar! Geben Sie dabei an, in welcher Richtung der jeweilige Teilvorgang abläuft, und fassen Sie die Teilvorgänge zu einer Summengleichung zusammen!*

Da auch der Wasserstoff in die Spannungsreihe eingeordnet wurde, kann abgeschätzt werden, welche Metalle sich mit verdünnten Säuren umsetzen. Es handelt sich hier eigentlich nur um einen Sonderfall der Reaktion zwischen einem Metall und einem Kation in einer Lösung, wobei als Kationen hier jeweils Wasserstoff-Ionen auftreten, die entsprechend der Gleichung



beziehungsweise



reagieren müßten.

- *Welche allgemeine Regel können Sie deshalb ableiten? Was wird geschehen, wenn Sie Magnesium, Kupfer, Zink, Eisen und Silber in verdünnte Säure bringen? Was ist über die Heftigkeit der Reaktionen vorausszusagen? Überprüfen Sie Ihre Vermutungen experimentell!*

Auch hier weicht das Verhalten einiger Elemente von der allgemeinen Regel ab. Teilweise sind dafür die gleichen Ursachen wie bei der elektrolytischen Abscheidung von Stoffen zu nennen (s. Seite 17), teilweise erklärt sich das Abweichen auch durch die Bildung unlöslicher Salzsichten auf der Metalloberfläche.

Die Tabelle 6 veranschaulicht die aus der Spannungsreihe abzuleitenden Regeln.

4. Galvanische Elemente, Akkumulatoren. Die ersten Entdeckungen über die Umwandlung chemischer Energie in elektrische (vgl. Versuch 2) gelangen dem Anatomen LUIGI GALVANI; der Physiker ALESSANDRO VOLTA führte dazu genauere Untersuchungen durch.

- ▶ **Als galvanische Elemente bezeichnet man Anordnungen, bei denen zwei verschiedene Metalle in Salzlösungen tauchen, die miteinander leitend verbunden sind.**

a) *Zink-Kupfer-Element.* Im Zink-Kupfer-Element, einem Beispiel für ein galvanisches Element, erhält man elektrische Energie auf Kosten einer chemischen Reaktion.

3

 Kupferblech wird in eine Kupfersulfatlösung, Zinkblech in eine Zinksulfatlösung getaucht. Die Salzlösungen sind miteinander verbunden. Zwischen beiden Metallen besteht eine leitende Verbindung, die über eine kleine Glühlampe führt (Abb. 8).

Tabelle 6 Elektrochemische Spannungsreihe und Verhalten von Metallen

Metall	Tendenz zur Ionenbildung	Oxydierbarkeit bzw. Reduktionsvermögen des Metalls	Reduzierbarkeit bzw. Oxydationsvermögen des Kations	Abscheidbarkeit aus Elektrolyten	Umsetzung mit verdünnten Säuren
Li	▼	▼	▲	▲	▼
K					
Ca					
Na					
Mg					
Mn					
Zn					
Cr					
Fe					
Ni					
Sn					
Pb					
H ₂					
Cu					
Ag					
Hg					
Au					

- Erläutern Sie die Vorgänge, die zur Ausbildung der Potentialdifferenz zwischen der Zink- und der Kupferplatte führen! Geben Sie die Potentialdifferenz zahlenmäßig an!

Verbindet man bei Versuch 3 beide Platten über eine Glühlampe, so fließen die auf der Zinkplatte angesammelten überschüssigen Elektronen zur Kupferplatte ab. Dadurch werden die Gleichgewichte an den beiden Elektroden gestört. Folglich gehen weitere Zink-Ionen in Lösung, und weitere Kupfer-(II)-Ionen scheiden sich ab (Abb. 9).

Da diese Vorgänge langsamer verlaufen als der Elektronenfluß durch den Leiter, bricht die Spannung bei dem Zink-Kupfer-Element schnell zusammen. Aus der Abbildung 9 ist abzuleiten, daß sich die Zinkplatte langsam auflöst, während sich auf der Kupferplatte in gleichem Maße Metall abscheidet. Beim Zink-Kupfer-Element wird die Zinkplatte deshalb als Lösungselektrode, die Kupferplatte dagegen als Niederschlagselektrode bezeichnet. Allgemein gilt für alle galvanischen Elemente:

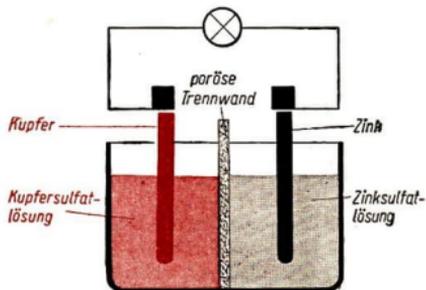


Abb. 8 Mit Hilfe eines Zink-Kupfer-Elementes kann eine Glühlampe einige Zeit zum Leuchten gebracht werden.

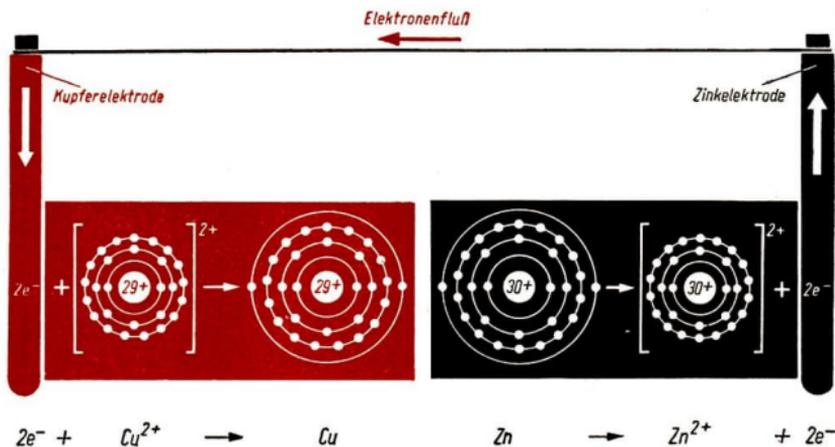


Abb. 9 Vorgänge im Zink-Kupfer-Element

▶ Das Metall mit niedrigerem Standardpotential ist Lösungselektrode, das mit dem höheren Niederschlagslektrode. Da diese Vorgänge nicht umkehrbar sind, kann man aus solchen Elementen nur eine begrenzte Zeit Strom entnehmen.

Aus den in Abbildung 9 dargestellten Vorgängen läßt sich noch eine weitere, wichtige Schlußfolgerung ziehen.

Die beiden Teilvorgänge an den Elektroden kann man in einer Gleichung zusammenfassen:



Das ist der gleiche Vorgang, der beim Eintauchen eines Zinkstabes in eine Kupfersulfatlösung auftritt.

● Geben Sie dafür die den Reaktionen an den Elektroden des Zink-Kupfer-Elementes entsprechenden Teilvorgänge an und fassen Sie diese als Summengleichung zusammen!

Die Wirkungsweise des galvanischen Elementes beruht also darauf, daß die beiden Teilvorgänge — Oxydation und Reduktion — an getrennten Stellen, an den Elektroden, ablaufen und die Elektronen über die leitende Verbindung zwischen den Metallplatten ausgetauscht werden. Darin besteht das Prinzip der Gewinnung elektrischer Energie aus chemischen Reaktionen.

▶ Chemische Energie läßt sich in elektrische umwandeln, wenn man die zwei Teilvorgänge eines freiwillig verlaufenden Redoxvorganges getrennt voneinander an geeigneten Elektroden ablaufen läßt.

Das Zink-Kupfer-Element hat heute keine praktische Bedeutung mehr. Es spielte jedoch in Form der VOLTaschen Säule bei der Entwicklung der Grundlagen der Elektrizitätslehre eine hervorragende Rolle.

b) *Leclanché-Element*. Das **Leclanché-Element** (Abb. 10) ist ebenfalls ein galvanisches Element. Da der Elektrolyt, eine Ammoniumchloridlösung, durch Zusatz von Gelatine eingedickt ist, spricht man von einem **Trockenelement**.

- Erklären Sie die Reaktion einer Ammoniumchlorid-lösung!

Das Zink ist auch hier Lösungselektrode. An der zweiten Elektrode, dem Kohlestab, werden Wasserstoff-Ionen entladen.

Wir können demnach folgende Elektrodenreaktionen angeben:



- Fassen Sie beide Gleichungen zu dem im Element ablaufenden Gesamtvorgang zusammen! Weisen Sie nach, daß es sich dabei auch um einen freiwillig ablaufenden Redoxvorgang handelt!

Da der Wasserstoff auf der Kohlelektrode eine dünne Gashaut bilden und damit das Potential dieser Elektrode herabsetzen würde, ist der Kohlestab von Mangan(IV)-oxid (Braunstein) umgeben. Durch das Mangan(IV)-oxid wird der entstehende Wasserstoff zu Wasser oxydiert. Auch die in Lösung gehenden Zink-Ionen werden chemisch durch den Elektrolyten gebunden.

- Begründen Sie, warum Taschenlampenbatterien nur begrenzte Zeit verwendbar sind!

c) *Bleiakkumulator*. Im Gegensatz zu den galvanischen Elementen sind beim **Akkumulator** (Abb. 11 und Abb. 12) die Prozesse an den Elektroden umkehrbar. Nach dem Entladen können die Elektroden durch Stromzufuhr wieder in den Ausgangszustand zurückgeführt werden; der Akkumulator wird wieder geladen. Im Akkumulator läßt sich gewissermaßen elektrische Energie in Form von chemischer Energie speichern.

- Wiederholen Sie Ihre Kenntnisse über Aufbau, Wirkungsweise und Pflege des Bleiakкумуляtors!
Führen Sie den Schülerversuch S 3 durch!

Beim Entladen und Laden des Bleiakкумуляtors laufen folgende Vorgänge ab:

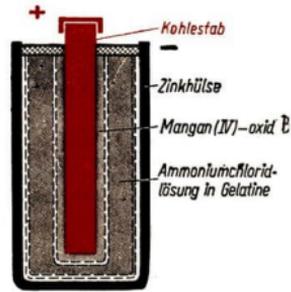
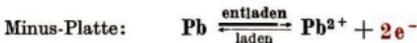
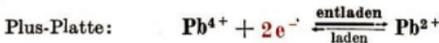


Abb. 10 Taschenlampenbatterien bestehen aus Leclanché-Elementen.

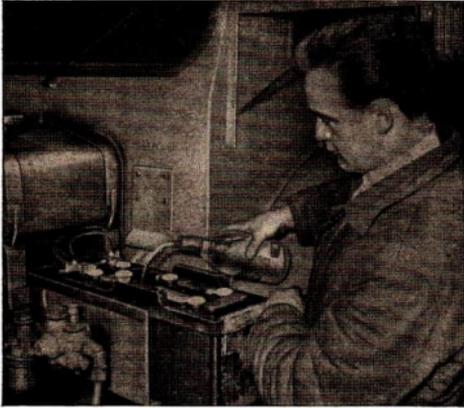


Abb. 11 Bleiakкумуляtoren dienen als Batterien in Kraftfahrzeugen. Die Akkumulatorenplatten müssen stets mit Flüssigkeit bedeckt sein. Zur Batteriepflege gehört, daß Flüssigkeitsverluste durch Zugabe destillierten Wassers ausgeglichen werden.

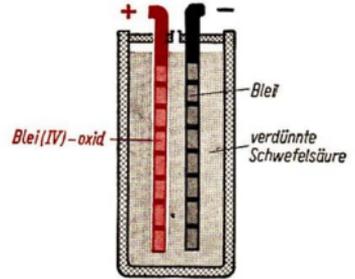


Abb. 12 Aufbau der Zelle eines Bleiakкумуляtors. Durch die in einem Schraubverschluß oben an der Zelle befindliche Öffnung können Wasserstoff und Sauerstoff austreten, wenn der Akkumulator vollgeladen ist und durch weitere zugeführte elektrische Energie Elektrolyse erfolgt.

- Begründen Sie, warum der Ladungszustand eines Bleiakкумуляtors an der Dichte der Schwefelsäure festgestellt werden kann! Welcher Pol einer Gleichstromquelle ist beim Laden an den Plus-Pol des Akkumulators angeschlossen? Begründen Sie!

▶ Akkumulatoren können nach dem Entladen wieder aufgeladen werden.

5. Lokalelemente, elektrochemische Korrosion. Maschinen, Apparate, Werkzeuge und andere Produktionsinstrumente aus Metall werden, besonders bei mangelhafter Pflege, unter anderem infolge der verschiedenen Formen der Korrosion allmählich zerstört und folglich unbrauchbar. Dazu tragen auch elektrochemische Vorgänge bei.

a) *Wesen des Lokalelementes und der elektrochemischen Korrosion.* Auf metallischen Werkstücken bilden sich unter bestimmten Bedingungen, zum Beispiel durch Spuren anderer Metalle, galvanische Elemente, die nur innerhalb eines geringen Umkreises wirken. Man spricht in diesem Fall von Lokalelementen. Der folgende Versuch veranschaulicht den Aufbau eines Lokalelementes und die Wirkung der Vorgänge, die hier ablaufen.

4
 Die Oberflächen eines Zink- und eines Eisenbleches werden sorgfältig gereinigt. Dann klemmt man beide Platten mit Krokodilklemmen zusammen und taucht sie mit dem unteren Teil in eine Natriumchloridlösung. Nach einigen Tagen betrachtet man den Teil der Platten, der von der Lösung benetzt war.

Bei einem Lokalelement berühren sich die beiden Elektroden unmittelbar, sie sind kurzgeschlossen. Aus dem Ergebnis des Versuchs 4 folgt, daß Zink die Lösungsselekt-

trode war. Das Experiment bestätigt hier also Angaben über Lösungs- und Nieder- schlagselektroden, die sich aus der Spannungsreihe theoretisch ableiten lassen.

- *Erläutern Sie die elektrochemischen Vorgänge, die bei Versuch 4 ablaufen! Vergleichen Sie mit diesbezüglichen Voraussagen, die sich aus der Spannungsreihe ergeben!*

In der Technik, besonders an Maschinen, sind häufig verschiedene Metalle miteinander leitend verbunden. An solchen Stellen entstehen Lokalelemente, wenn ein Elektrolyt beide Metalle berührt. Das unedle Metall wird dann langsam zerstört. Diese Erscheinung bezeichnet man als **elektrochemische Korrosion**.

- *Nennen Sie im Gegensatz dazu Beispiele für die mechanische Korrosion!*

Als Elektrolyt wirkt schon Luftfeuchtigkeit, da das Wasser Kohlendioxid aus der Luft aufnimmt. Besonders begünstigt wird die Bildung des Elektrolyten durch Schmutz auf den Werkstücken und Maschinen.

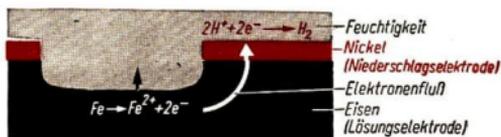


Abb. 13 Wenn der Nickelüberzug auf Stahlteilen beschädigt ist, kann sich ein Lokalelement ausbilden.

- *Erläutern Sie die Vorgänge, die in Abbildung 13 dargestellt sind!*

Besonders gefährdet sind auch Lötstellen.

- *Begründen Sie das für den Fall, daß Kupferteile verlötet wurden! Führen Sie ergänzend den Schülerversuch S 4 aus!*

▶ **Als Lokalelemente bezeichnet man galvanische Elemente mit kurzgeschlossenen Elektroden. Die elektrochemische Korrosion ist ein Vorgang, der infolge der Bildung von Lokalelementen zum Auflösen eines Metalles führt.**

b) **Korrosionsschutz.** Der Korrosionsschutz hat für unsere Volkswirtschaft große Bedeutung, denn durch ihn werden beträchtlicher wirtschaftlicher Schaden an Maschinen und Apparaten und große Verluste an metallischen Werkstoffen vermieden.

- ▶ **Der Korrosionsschutz ist eine wichtige Methode, mit verhältnismäßig geringem Aufwand die Arbeitsproduktivität zu erhöhen.**
- *Begründen Sie diese Aussage! Sprechen Sie während der beruflichen Ausbildung mit den Arbeitern über diese Zusammenhänge!*

Die Maßnahmen des Korrosionsschutzes dienen in den meisten Fällen dazu, mehreren Formen der Korrosion gleichzeitig vorzubeugen. An vielen Maschinen und Geräten läßt es sich nicht vermeiden, daß sich verschiedene Metalle berühren. Hier muß die Bildung von Elektrolyten verhindert werden. Die wichtigste Voraussetzung für einen guten Korrosionsschutz ist größte Sauberkeit beim Umgang mit allen Geräten und Maschinen. Besonders bei Produktionsinstrumenten aus Metall, die stark der Feuch-

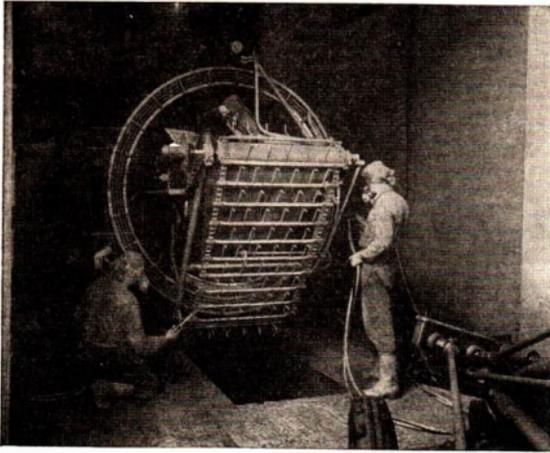


Abb. 14 Auftragen eines korrosionsbeständigen Anstrichs auf Teile einer Kartoffelkombine im VEB Thomas - Müntzer - Werk Weimar. Schäden im Anstrich landwirtschaftlicher Maschinen sind nach dem Einsatz auszubessern.

tigkeit ausgesetzt sind, zum Beispiel bei landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten, muß darauf streng geachtet werden.

- Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie daraus für Ihre Arbeit bei der beruflichen Ausbildung?

Außerdem ist es zweckmäßig, auf die Oberflächen korrosionsgefährdeter Gegenstände Schutzschichten aufzubringen. Im einfachsten Fall verwendet man Öl oder Fett, die jedoch nur für verhältnismäßig kurze Zeit Schutz bieten und deshalb rechtzeitig erneuert werden müssen. Metallteile werden auch mit korrosionsbeständigen Farben und Lacken (Abb. 14) angestrichen. Vor dem Aufbringen einer Schutzschicht muß das Metall unbedingt trocken sein.

- Begründen Sie das!

Bei der Pflege von Maschinen und Geräten werden die genannten Maßnahmen zum Korrosionsschutz oft gleichzeitig durchgeführt. Landwirtschaftliche Maschinen zum Beispiel sind nach dem Einsatz (Getreideernte, Kartoffelernte, Bestellarbeiten u. a.) von Schmutz und Rost zu säubern. Danach werden die entrosteten Stellen nachgestrichen und die mit Öl übersprühten Maschinen unter Dach abgestellt.

Eine weitere Möglichkeit des Korrosionsschutzes ist die chemische Vorbehandlung der Oberflächen von Metallen, die dann gegen chemische Einflüsse widerstandsfähig werden. Lange bekannt ist das Brünieren durch Eintauchen in heißes Öl. Ferner versieht man einige Metalle durch Einwirkung stark oxydierender Substanzen oder auf elektrochemischem Wege mit einer fest haftenden, sehr beständigen Oxidschicht.

- Geben Sie einen Überblick über die Aloxydierung!

Anstriche mit Blei(II,IV)-oxid Pb_3O_4 (Mennige) im Gemisch mit Leinöl auf Stahlteilen wirken in ähnlicher Weise. In jüngster Zeit behandelt man Metalloberflächen mit Phosphaten (Bondern). Sie werden dadurch so verändert, daß geeignete Lacke besonders fest haften.

Ferner überzieht man Metallteile mit anderen Metallen oder mit Plasten, die einen besonders beständigen Schutz geben. Stahlblech wird aber auch häufig durch eine Schicht aus einem unedleren Metall vor der Korrosion geschützt (Abb. 35, Seite 52).

- *Begründen Sie, warum Eisen durch einen Zinküberzug geschützt wird, auch wenn dieser an einigen Stellen beschädigt ist! Vergleichen Sie das Ergebnis Ihrer Überlegungen mit der Abbildung 13! Welche Schlußfolgerungen ergeben sich daraus?*

▶ **Die Hauptmethoden des Korrosionsschutzes bei Metallen sind große Sauberkeit und das Aufbringen feuchtigkeitsundurchlässiger Schichten.**

Kupfer

1. Stellung im Periodensystem. Das Element Kupfer steht gemeinsam mit den Elementen Silber und Gold in der I. Nebengruppe des Periodensystems (Tab. 7).

Tabella 7 Die Elemente der I. Nebengruppe

Element	Symbol	Atomgewicht	Dichte in g · cm ⁻³	Schmelztemperatur in °C	Siedetemperatur in °C	stöchiometrische Wertigkeit
Kupfer	Cu	63,5	8,92	1083	2350	I, II
Silber	Ag	107,9	10,5	960,5	2200	I
Gold	Au	197,0	19,3	1063	2700	I, III

Die Elemente der I. Nebengruppe bilden wie die Alkalimetalle Verbindungen, in denen sie stöchiometrisch einwertig sind, und zeigen ausgeprägte Metalleigenschaften. Sie besitzen im Vergleich zu den in der gleichen Periode stehenden Alkalimetallen einen sehr kleinen Atomradius (Tab. 8).

- *Erklären Sie diese Erscheinung!*

Tabella 8 Vergleich der Metalle der I. Haupt- und Nebengruppe

Periode	Element	Kernladungszahl	Elektronenverteilung auf die Schalen ¹						Atomradius in nm	Energie zur Abspaltung des Valenzelektrons in kcal je Grammatom
			K	L	M	N	O	P		
4	Kalium	19	2	8	8	1			0,233	100
	Kupfer	29	2	8	18	1			0,128	178
5	Rubidium	37	2	8	18	8	1		0,243	96
	Silber	47	2	8	18	18	1		0,144	174
6	Zäsium	55	2	8	18	18	8	1	0,262	90
	Gold	79	2	8	18	32	18	1	0,144	218

¹ Nebengruppenelemente bei der stöchiometrischen Wertigkeit I

Die Valenzelektronen sind von einem kleinen Atom, das eine große Kernladungszahl besitzt, nur unter beträchtlichem Energieaufwand ablösbar (Tab. 8).

Deshalb besitzen die Elemente Kupfer, Silber und Gold ein positives Standardpotential und sind in verdünnten Säuren nicht löslich. Sie treten als Halbedel- beziehungsweise Edelmetalle in der Natur gediegen auf.

Kupfer und Gold sind die einzigen farbigen Metalle. Die Verbindungen der Elemente der I. Nebengruppe weisen einige Ähnlichkeiten auf, die jedoch nicht so ausgeprägt sind wie innerhalb der I. Hauptgruppe.

2. Eigenschaften und Verwendung. Kupfer ist ein rotglänzendes, verhältnismäßig weiches und dehnbares, dabei aber sehr zähes Metall. Daher läßt es sich gut walzen, ziehen und schmieden. Es ist jedoch unzweckmäßig, Apparateile aus Kupfer durch Gießen herzustellen, da die Schmelze Sauerstoff aus der Luft aufnimmt und beim Erstarren wieder abgibt. Der Guß würde blasig werden. Auch das Zerspanen von Kupfer bereitet Schwierigkeiten.

Werkstücke aus Kupfer können durch Löten oder Schweißen verbunden werden. Nach dem Silber besitzt Kupfer die beste Leitfähigkeit für Elektrizität und Wärme. Darauf gründet sich hauptsächlich seine große wirtschaftliche Bedeutung. Schon geringe Verunreinigungen setzen die elektrische Leitfähigkeit beträchtlich herab.

Kupfer ist als Halbedelmetall, wie auch aus seiner Stellung in der Spannungsreihe folgt, recht beständig. Es überzieht sich an trockener Luft nur langsam mit einer Oxidschicht. An feuchter Luft bildet sich durch die Einwirkung von Sauerstoff, Wasser und Kohlendioxid eine sehr dichte Schicht von grünen, basischen Kupferkarbonaten, die man als Patina bezeichnet.

Organische Säuren, zum Beispiel Äthansäure und Zitronensäure, wirken auf Kupfer oder Kupferlegierungen zersetzend ein. Durch Umsetzung von Äthansäure mit der auf dem Metall vorhandenen Oxidschicht bilden sich grün gefärbte, giftige Salze, die im täglichen Leben als Grünspan bezeichnet werden.

- *Geben Sie Gleichungen für die Bildung der Kupfersalze von Äthansäure und 2-Hydroxypropansäure (Milchsäure) an! Welche Umsetzungen sind bei Einwirkung von verdünnter und konzentrierter Salpetersäure auf Kupfer zu erwarten? Begründen Sie Ihre Vermutungen und prüfen Sie diese mit dem Schülerversuch S 5 nach!*

▶ **Auf Grund seiner guten elektrischen und thermischen Eigenschaften ist Kupfer ein wichtiger Werkstoff.**

In Tabelle 9 ist ein Überblick über die wichtigsten Anwendungsgebiete des Kupfers gegeben. Da Kupfer recht teuer ist und die Vorräte auf der Welt beschränkt sind, versucht man dort, wo es möglich ist, an Stelle von Kupfer andere Metalle, Legierungen oder auch Plaste einzusetzen. Hauptanwendungsgebiet für Kupfer wird in der Zukunft die Elektrotechnik bleiben.

- *Begründen Sie jeweils den Einsatz des Kupfers aus den physikalischen und chemischen Eigenschaften (s. Tab. 9)!
Definieren Sie die Begriffe Messing und Bronze!
Fertigen Sie eine Aufstellung über die Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen in dem von Ihnen bei der beruflichen Ausbildung besuchten Betrieb an!*

Tabelle 9 Verwendung von Kupfer

	Zusammensetzung in %				Verwendungszweck
Kupfer	Kupfer mit hohem Reinheitsgrad				Elektrotechnik (Kabel, Kontakte), Wärme- und Kältetechnik (Flammrohre, Kühlschlangen, Gefäße)
Kupferlegierungen:	Kupfer	Zink	Zinn	Nickel	
Messinge	50 bis 70	50 bis 30	—	—	Elektrotechnik (Kontakte), Feinmechanik
Bronzen	70 bis 95	—	30 bis 5	—	Maschinenbau
Rotguß	86	4	10	—	Maschinenbau
Neusilber	60	18	—	22	Feinmechanik, medizinische Geräte
Konstantan	60	—	—	40	elektrisches Widerstands- material

3. Kupferverbindungen. Kupfer tritt in seinen Verbindungen vorwiegend stöchiometrisch ein- und zweiwertig auf.

- *Begründen Sie diese Feststellung!*

a) *Kupfer(II)-verbindungen.* Kupfer überzieht sich an der Luft allmählich mit einer Schicht von schwarzem **Kupfer(II)-oxid** CuO . Noch schneller tritt dieser Vorgang beim Erhitzen ein. Das **Kupfer(II)-oxid** löst sich leicht in verdünnten Säuren zu blau bis grün gefärbten Lösungen von **Kupfer(II)-salzen**.

- *Stellen Sie Kupfer(II)-sulfat, Kupfer(II)-chlorid und Kupfer(II)-nitrat aus dem Kupfer(II)-oxid her!*
Geben Sie für die Vorgänge die Gleichungen an!
Lösen Sie etwas Kupfer(II)-chlorid in wenig Wasser und verdünnen Sie anschließend.
Erklären Sie den Farbumschlag von grün nach blau!

Die blaue Färbung der Kupfer(II)-salze beruht auf dem Gehalt an Kristallwasser. Die blaue Farbe geht zurück, wenn das Kristallwasser durch vorsichtiges Erhitzen angetrieben wird.

- *Führen Sie den Schülerversuch S 6 aus!*

Wasserfreies Kupfersulfat ist stark hygroskopisch. Unter Kristallwasseraufnahme tritt die blaue Färbung wieder deutlich hervor. Man verwendet deshalb entwässertes Kupfersulfat zum Nachweis von kleinsten Mengen Wasser in Flüssigkeiten.

- *Prüfen Sie mit dem von Ihnen im Schülerversuch S 6 hergestellten wasserfreien Kupfer(II)-sulfat absolutes Äthanol und Brennspritus auf Wassergehalt!*

5



Kupfer(II)-sulfatlösung wird langsam bis zur vollständigen Fällung des Hydroxids mit verdünnter Natronlauge versetzt. Die Probe wird geteilt. Einen Teil versetzt man mit verdünnter Säure, der zweite wird vorsichtig (Laugenspritzer!) erhitzt.

- *Erklären Sie Ihre Beobachtungen!
Geben Sie die Reaktionsgleichungen an!*

Alle Kupferverbindungen wirken, besonders gegenüber Mikroorganismen und Algen, giftig. Daher werden mit kupferhaltigen Stoffen — vor allem mit Kupfer(II)-sulfat — Pflanzenkrankheiten behandelt (Weinbau). Geringe Mengen von Kupferverbindungen setzt man dem Wasser von Freiluft-Schwimmbecken zu.

b) *Kupfer(I)-verbindungen*. Durch geeignete Reduktionsmittel können Kupfer(II)-verbindungen in Kupfer(I)-verbindungen übergeführt werden.

6



Eine salzsäurehaltige Kupfer(II)-chloridlösung wird mit Kupferpulver gekocht, bis sie hellgelb ist. Dann gibt man Wasser zu.

- *Geben Sie den Vorgang als Redoxgleichung an!
Nennen Sie das hier verwendete Reduktionsmittel!*

Bei Versuch 6 fällt weißes, in Wasser schwerlösliches **Kupfer(I)-chlorid** CuCl aus. Kupfer(I)-chlorid ist in überschüssigem Ammoniak löslich. Da diese Lösung Kohlenmonoxid absorbiert, wird sie zur Feinreinigung des Synthesegases für die Ammoniak-synthese verwendet.

Alkanale reduzieren Kupfer(II)-verbindungen in alkalischer Lösung bis zu rotbraunem **Kupfer(I)-oxid** Cu_2O beziehungsweise bis zum metallischen Kupfer.

- *Beweisen Sie diese Feststellung, indem Sie Alkanale mit FEHLINGScher Lösung versetzen!*
- ▶ **Kupfer tritt in seinen Verbindungen vorwiegend stöchiometrisch ein- und zweiwertig auf.**

4. **Technische Herstellung.** Kupfer wird schon seit Jahrtausenden aus kupferhaltigen Erzen hergestellt. Erze mit reichem Kupfergehalt sind heute verhältnismäßig selten; der Bedarf an Kupfer steigt aber in allen Ländern ständig an. Daher wurden Verfahren entwickelt, mit denen auch kupferarme Erze verarbeitet werden können.

a) *Erzaufbereitung.* Kupfer kommt in der Natur vorwiegend in sulfidischen Erzen vor. Das häufigste und wirtschaftlich wichtigste Kupfererz ist der **Kupferkies** CuFeS_2 , der meist gemeinsam mit sulfidischen Erzen anderer Metalle auftritt. In der Deutschen Demokratischen Republik wird im Mansfelder Revier zwischen Eisleben und Sangerhausen **Kupferschiefer** gewonnen. Es handelt sich dabei um einen schwarzen, schiefrigen Mergel, der mit dünnen Schichten und Flittern von Kupferkies durchsetzt ist.

- *Berechnen Sie den theoretischen Kupfergehalt des Kupferkieses!*

Der Kupfergehalt der geförderten Erze liegt auf Grund vielfältigster anderer Bestandteile (andere sulfidische Erze, Gangart) weit unter den theoretischen Werten. Er ist nur selten höher als 2 bis 3%.

Die Kupferverbindungen im Erz müssen deshalb angereichert werden, damit ihre Verarbeitung wirtschaftlich wird. Liegen die Erze in etwa gleicher Korngröße ($> 0,3$ mm Durchmesser) vor, so wendet man die **Schwerkraftaufbereitung** an. Dabei wird das Erz zunächst aufgeschlämmt, anschließend bilden sich auf Grund der unterschiedlichen Dichte von Erz und Gangart in dem betreffenden Gefäß zwei Schichten aus, von denen eine das Erz angereichert enthält.

Die häufig anfallenden, sehr kupferarmen Erze werden durch die wirksamere **Flotation** angereichert. Sie beruht auf der verschiedenen Benetzbarkeit von Erz und Gangart durch Wasser, dessen Oberflächenspannung mit geeigneten Zusätzen herabgesetzt wurde.

- *Erläutern Sie die Begriffe Benetzbarkeit und Oberflächenspannung an Hand der Wirkungsweise von Waschseife!*



7

Ein Gemisch von Kupferkies und Glaspulver füllt man in einen schmalen, hohen Standzylinder und gibt so viel Wasser hinzu, bis der Zylinder etwa zur Hälfte gefüllt ist. Man verschließt mit einem Stopfen, schüttelt kräftig und läßt dann einige Zeit stehen (Abb. 15a). Danach werden einige Tropfen Flotationsöl (Kaliumxanthogenat)¹ sowie etwas Fewa zugegeben. Man schüttelt erneut, bis kräftige Schaumbildung auftritt (Abb. 15b).

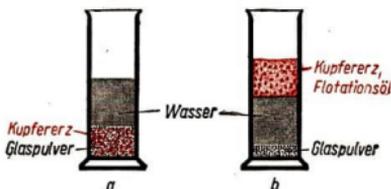


Abb. 15 a) Aus einer Aufschlämmlung von Erz und Glaspulver in Wasser setzt sich das Gemisch ab. b) Nach Zugabe von Flotationsöl zur Aufschlämmlung trennt sich das Gemisch in seine Bestandteile.

- *Vergleichen Sie das Ergebnis beider Teilversuche!*

Bei der Erzaufbereitung in der Industrie schlämmt man das fein gepulverte Roherz mit Wasser auf, dem Flotationsöl zugesetzt ist. Man gibt zu der entstehenden „Erztrübe“ einen Schaumbildner und führt in Flotationszellen (Abb. 16 und 17) Luft fein verteilt durch die Flüssigkeit. Das angereicherte Erz wird mit dem Schaum abgenommen. Die Gangart verläßt die Flotationszelle zusammen mit dem Wasser unterhalb der Schaumschicht.

b) *Herstellung des Kupfers.* Kupfer kann auf trockenem oder nassem Wege hergestellt werden.

Das Hauptproblem bei der Verhüttung der Kupfererze nach dem **trockenen Verfahren** besteht darin, das im Erz enthaltene Eisen zu entfernen. Man nutzt dazu die unterschiedliche Oxydierbarkeit von Kupfer und Eisen aus. Das erfordert eine stufenweise Anreicherung und Reinigung des Metalls in mehreren Teilprozessen. Zunächst wird das angereicherte Erz in **Etagenröstöfen** teilweise abgeröstet. Dabei geht ein Teil des Eisen(II)-sulfids in Eisen(II)-oxid über. Als Nebenprodukt entsteht Schwefeldioxid. Das Abrösten des Erzes ist oft mit einer Sinterung verbunden. Dadurch wird das Erz für die weitere Verarbeitung im Schachtofen stückig.

¹ Flotationsöl stellt man sich aus Kaliumhydroxid, Kohlendisulfid und Brennspritus her.

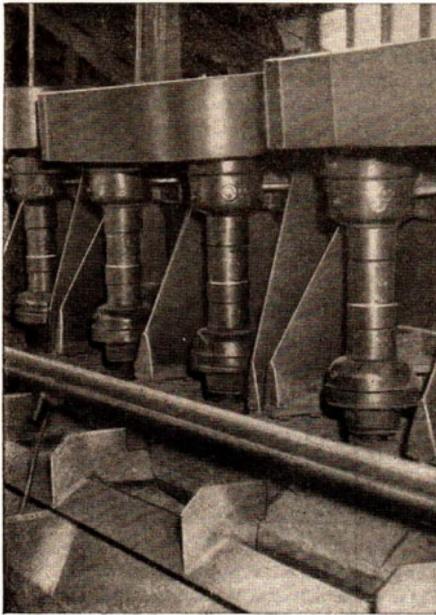


Abb. 16 Flotationszellen im VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“, Betriebsteil Erzaufbereitung Sangerhausen

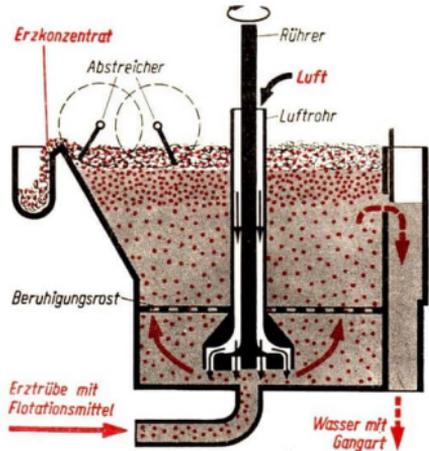


Abb. 17 In der Flotationszelle wird die mit Flotationsöl versetzte Erztrübe unter Luftzutritt gerührt. Das im Schaum angereicherte Erz wird in eine Rinne abgestrichen (Prinzipische Skizze einer Flotationszelle).

Der **Schachtofen** wird mit vorgeröstetem Erz sowie mit Koks und Quarz beschickt. Das Eisen(II)-oxid reagiert im Schachtofen mit Siliziumdioxid zu Eisensilikat-schlacke:



Die Schlacke hat eine geringere Dichte als der verbleibende **Kupferstein**, der hauptsächlich aus Kupfer(I)-sulfid und restlichem Eisen(II)-sulfid besteht.

● *Wie kann man die Schlacke vom Kupferstein trennen ?*

Der noch flüssige Kupferstein mit 30 bis 45% Kupfergehalt wird anschließend in **Trommelkonvertern** (Abb. 18 und 19) verblasen. Der Konverter besitzt eine Ausmauerung aus feuerfestem Material, die zugleich als Wärmespeicher dient. Die Luft wird durch Düsen im Trommelmantel eingeblasen.

Im ersten Abschnitt des Verblasprozesses, der **Konzentrationsperiode**, wird das in der Schmelze enthaltene Eisen(II)-sulfid restlos in Eisen(II)-oxid umgewandelt



und mit Quarz verschlackt. Nach Entfernung der Schlacke verbleibt im Konverter der vorwiegend aus Kupfer(I)-sulfid bestehende **Spurstein** mit etwa 70% Kupfergehalt.

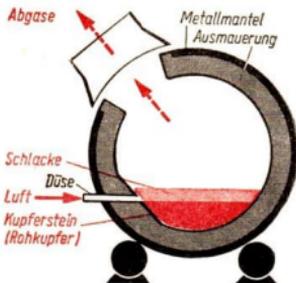


Abb. 18 Trommelkonverter in Blasstellung

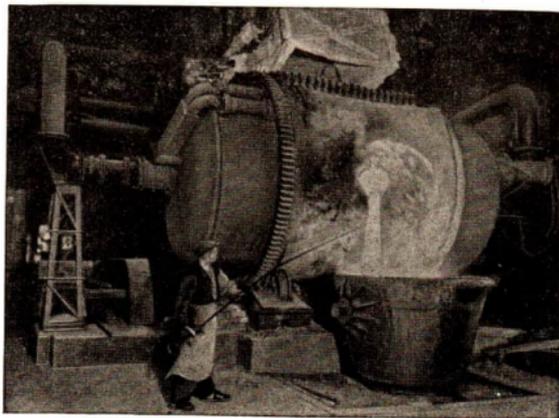


Abb. 19 Ein Arbeiter entnimmt beim Abguß der Schlacke aus einem Trommelkonverter eine Probe (Besemerei im VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“).

- Begründen Sie das unterschiedliche Verhalten von Eisen(II)- und Kupfer(I)-sulfid beim Verblasen mit Luft!

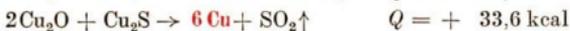
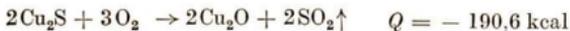
Nun schließt sich der zweite Abschnitt des Verblaseprozesses, die **Gasblaseperiode**, an. Die dabei ablaufenden Vorgänge werden durch das folgende Experiment veranschaulicht.

8



Kupfer(I)-oxid und Kupfer(I)-sulfid werden im Verhältnis 2:1 gemischt, in ein schwerschmelzbares Reagenzglas gegeben und mit Bimssteinpulver und Kaliumkarbonat (Verhältnis 2:1) abgedeckt. Das Gemisch wird bis zur Schmelze erhitzt. Die entweichenden Gase sind mit feuchtem Lackmuspapier zu prüfen. Das Schmelzgut ist nach dem Erstarren zu untersuchen.

In der Gasblaseperiode wird das Kupfer(I)-sulfid teilweise zu Kupfer(I)-oxid umgewandelt, das sich mit dem restlichen Kupfer(I)-sulfid zu Kupfer und Schwefeldioxid umsetzt:



- Fassen Sie die beiden Teilvorgänge der Gasblaseperiode in einer Gleichung zusammen. Geben Sie für die Gesamtreaktion die Reaktionswärme an! Was können Sie über die Reaktionswärme des gesamten Verblaseprozesses aussagen?

Als Endprodukt entsteht im Konverter **Rohkupfer** mit etwa 98 bis 99% Kupfergehalt.



Durch eine Reihe von Oxydations- und Reduktionsprozessen wird das Kupfer beim trockenen Verfahren stufenweise vom Eisen abgetrennt und angereichert.

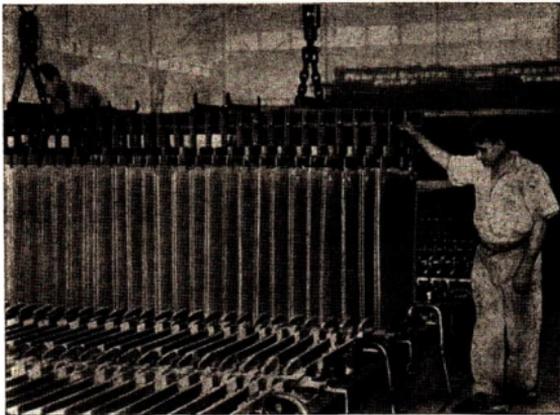


Abb. 20 Katodenplatten mit dem elektrolytisch abgeschiedenen Reinkupfer werden aus der Kupferelektrolysezelle entnommen (VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“).

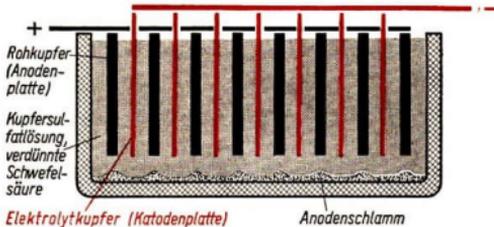


Abb. 21 Aufbau einer Kupferelektrolysezelle. Die frischen Katoden bestehen aus dünnem Reinkupferblech; die Rohkupferanoden werden gegossen und sind bis zu 4 cm stark.

Für die Verwendung in der Elektroindustrie reicht der Reinheitsgrad des Rohkupfers noch nicht aus. Das Rohkupfer wird deshalb elektrolytisch raffiniert (Abb. 20 und 21).

● Führen Sie den Schülerversuch S 7 aus!

Als Elektrolyt dient mit Schwefelsäure angesäuerte Kupfer(II)-sulfatlösung. Bei der Elektrolyse geht das aus Rohkupfer bestehende Anodenmaterial langsam in Lösung, während sich an der Katode **Elektrolytkupfer** mit einer Reinheit von 99,97% abscheidet. Die Elektrolyse dauert etwa 3 Wochen. Danach werden neue Anoden eingesetzt. Während dieser Zeit werden die Katoden dreimal gewechselt. Das abgeschiedene Elektrolytkupfer ist brüchig und muß nochmals eingeschmolzen und nachraffiniert werden, ehe man es in Barren, Platten oder Zylinder vergießt.

▶ Durch elektrolytische Raffination stellt man aus Rohkupfer Elektrolytkupfer mit einer Reinheit von 99,97% her.

Die unedlen Metalle wie Blei, Zink, Eisen und Nickel gehen mit dem Kupfer anodisch in Lösung, scheiden sich aber nicht ab. Die Edelmetalle Silber, Gold und Platin sowie das Element Selen werden nicht gelöst und sinken als **Anodenschlamm** zu Boden.

● Begründen Sie einige dieser Feststellungen!



In einem Becherglas wird verdünnte Schwefelsäure elektrolysiert. Als Elektroden verwendet man eine Graphitkatode und eine Anode aus Messingblech (Abb. 22). Man elektrolysiert mit 8 bis 10 V. Wenn sich die Lösung blau gefärbt hat, wird der Stromdurchgang mit Hilfe des Stellwiderstandes so geregelt, daß an den Elektroden keine Gasentwicklung mehr zu beobachten ist. Nach etwa 20 min werden die Elektroden ausgebaut und betrachtet.

Abb. 22 Bei der Elektrolyse von Schwefelsäure mit einer Messinganode gehen Kupfer und Zink anodisch in Lösung, während an der Katode Kupfer abgeschieden wird,

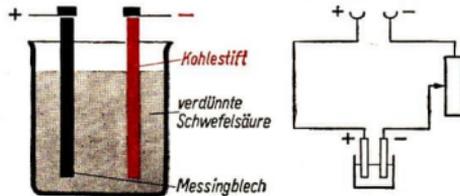


Abbildung 23 (Seite 34) gibt einen Überblick über die Kupfererzeugung nach dem trockenen Verfahren.

Beim **nassen Verfahren** wird das Kupfererz mit Schwefelsäure aufgeschlossen und die entstehende kupfersulfathaltige Lösung elektrolytisch aufgearbeitet. Dieses Verfahren ist im Vergleich zum trockenen Verfahren teuer. Es lohnt sich nur bei Erz mit sehr geringem Kupfergehalt, weil dann die hohen Kosten für die Anreicherung des Erzes gespart werden.

5. Kupferindustrie in der Deutschen Demokratischen Republik. Kupfererze werden bei uns in den zum VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“ gehörenden Gruben im Tiefbau gewonnen. Nach 1945 mußte zunächst die Förderung der Kupfererze in den von den Zechenherren stark vernachlässigten Bergwerken wieder aufgenommen werden. Im Verlauf unseres planmäßigen wirtschaftlichen Aufbaus wurden die technischen Ausrüstungen und Anlagen der Gruben erneuert und erweitert. Trotzdem ist die Arbeit des Bergmanns im Mansfelder Gebiet sehr schwierig (Abb. 24).

Sie wird, im Gegensatz zur Zeit des Kapitalismus, in unserem Arbeiter- und-Bauern-Staat hoch geachtet und vielfältig gewürdigt. Durch viele mechanische Neuerungen und Anwendung fortschrittlicher Arbeitsmethoden konnte die Kupfererzförderung wesent-



Abb. 24 Die abbauwürdigen Kupferschieferflöze im Mansfelder Gebiet haben nur geringe Stärke.

Abb. 23
Kupferherstellung
(trockenes Verfahren)

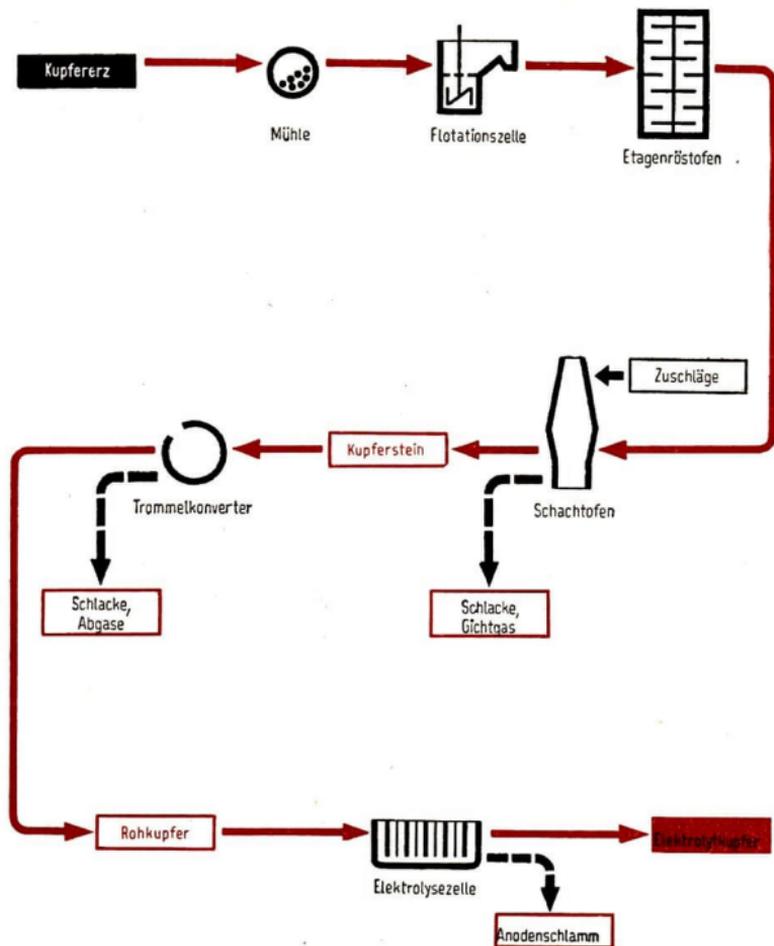
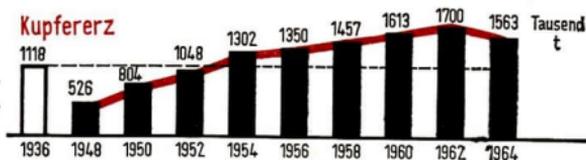


Abb. 25 Kupfererzförderung der Deutschen Demokratischen Republik



lich gesteigert werden (Abb. 25). Außerdem wurden umfangreiche Lagerstätten bei Sangerhausen erkundet und neu erschlossen. Für unsere Republik hat ferner die Verarbeitung von Altmetallen große Bedeutung. Kupfer, Kupferlegierungen, Blei, Zinn, Zink und andere Schwermetalle werden als Buntmetallschrott in allen Orten von der Volkseigenen Handelszentrale Schrott aufgekauft und der Industrie zugeführt. Dadurch können weitere wertvolle Rohstoffe bereitgestellt werden.

Bei der Verarbeitung des Mansfelder Kupferschiefers fallen mehrere Nebenprodukte an, die ebenfalls aufgearbeitet werden. So stellt man aus dem beim Verblasen entstehenden Schwefeldioxid Schwefelsäure her, von der ein Teil im Werk zur elektrolytischen Raffination des Rohkupfers eingesetzt wird. Ferner entstehen beträchtliche Mengen Schlacke, die man zu Pflastersteinen, Schotter, Splitt und Schlackensand verarbeitet. Der VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“ ist der einzige Betrieb in der Welt, der aus dem Flugstaub der Erzsammelarbeit Rhenium, ein Element der VII. Nebengruppe, gewinnt. Aus dem Anodenschlamm werden Gold, Platin, Silber und Selen abgetrennt.

Mit dem in diesem Betrieb gewonnenen Selen von 99,995% Reinheit kann der gesamte Bedarf unserer Republik für die Produktion von Gleichrichtern und Fotozellen

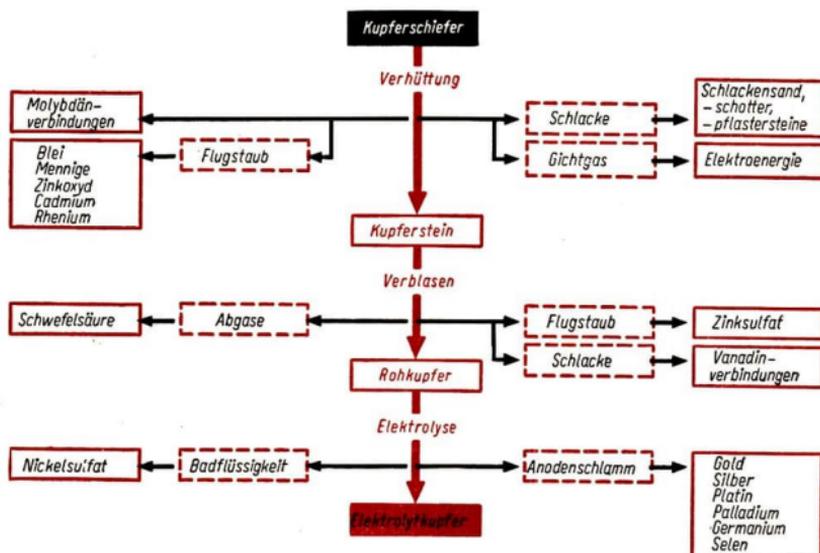


Abb. 26 Übersicht über Stofffluß und Produkte des VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“

gedeckt werden. Daneben werden als weitere Nebenprodukte Blei, Zink, Kadmium und Vanadin erzeugt. Für die Halbleitertechnik ist die in den letzten Jahren unter Anleitung einer sozialistischen Arbeitsgemeinschaft von Arbeitern und Ingenieuren stark gesteigerte Produktion von Germanium bedeutsam. Alle diese Teilbetriebe sind auf das Engste durch die Produktion miteinander verbunden (Abb. 26). Die Werktätigen des VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“ können auf ruhmreiche revolutionäre Traditionen zurückblicken. Im Großen Deutschen Bauernkrieg kämpften Mansfelder Bergleute an der Seite der Bauern unter der Fahne Thomas Müntzers. Bei den Märzkämpfen 1921 im mitteldeutschen Industriegebiet widersetzen sich die Mansfelder Arbeiter durch Generalstreik und bewaffnete Aktionen erfolgreich den reaktionären Polizei- und Reichswehrtruppen. In der Zeit des Faschismus setzten antifaschistische Widerstandsgruppen illegal ihren Kampf fort, bis das Mansfelder Land 1945 endgültig befreit wurde. Heute schaffen die Arbeiter und Techniker dieses volkseigenen Großbetriebes am umfassenden Aufbau des Sozialismus in unserer Republik.

Silber

Silber kommt in der Natur gediegen sowie, besonders in Blei-, Kupfer-, Nickel- und Zinkerzen, chemisch gebunden vor. Der wichtigste Rohstoff für die Silberherstellung ist in der Deutschen Demokratischen Republik der Mansfelder Kupferschiefer. Er enthält je Tonne Erz etwa 150 g Silber.

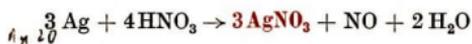
Reines Silber glänzt stark und ist chemisch sehr beständig. Es wird daher oft als Hauptbestandteil von Legierungen, zur Herstellung von Schmuck, Geräten und Spiegelbelägen verwendet. Das Metall ist noch weit stärker dehn- und walzbar als Kupfer. Aus einem Gramm Silber läßt sich ein Draht von 2 km Länge fertigen (Fili-granddraht). Man kann auch Folien mit einer Stärke von 0,003 mm herstellen.

Von allen Metallen besitzt Silber die höchste elektrische Leitfähigkeit. Deshalb wird es in Hochfrequenzgeräten für Schaltkontakte benutzt.

In chemischen Verbindungen ist das Silber vorwiegend stöchiometrisch einwertig. Silber wird von verdünnten Säuren und beim Erhitzen an der Luft nicht angegriffen.

- *Vergleichen Sie dieses Verhalten mit dem des Kupfers!*

In konzentrierter Salpetersäure löst es sich zu **Silbernitrat** AgNO_3 :

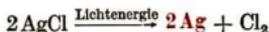


Da Gold im Gegensatz zu Silber in Salpetersäure unlöslich ist, trennt man beide Metalle mit Hilfe dieser Reaktion (Scheidewasser).

Aus Silbernitrat werden andere Silberverbindungen hergestellt. In kristallisierter Form dient Silbernitrat in der Medizin unter dem Namen **Höllenstein** zum Beizen von Wucherungen.

- *Nennen Sie Anionen, die sich mit Silber-Ionen fällen lassen! Geben Sie die entsprechenden Gleichungen an!
Geben Sie Namen und Formeln für Silberhalogenide an!*

Von den Verbindungen des Silbers haben die Halogenide besondere Bedeutung. Es sind in Wasser sehr schwer lösliche Stoffe. Bei Bestrahlung mit Licht werden sie zersetzt, zum Beispiel:



● *Beachten Sie den Schülerversuch S 9!*

Auf diesen Reaktionen beruht im Prinzip die Wirkungsweise fotografischer Schichten. Große Mengen Silber werden deshalb von der Fotoindustrie verwendet.

► Silber ist ein Edelmetall von hohem Glanz und ausgezeichneter Leitfähigkeit, das in den Verbindungen überwiegend stöchiometrisch einwertig auftritt. Die Hauptmengen Silber benötigt die Fotoindustrie.

Komplexverbindungen

1. Entstehung von Komplexverbindungen. Durch genauere Untersuchungen von Kupfer- und Silberverbindungen lernen wir eine neue Gruppe von Stoffen kennen.

● *Führen Sie den Schülerversuch S 10 durch!*

Bei Zugabe einer Hydroxidlösung zu Kupfer(II)-sulfatlösung fällt hellblaues Kupfer(II)-hydroxid $\text{Cu}(\text{OH})_2$ aus. Die Verbindung löst sich in einem Überschuß von Ammoniaklösung. Die entstehende Lösung ist, im Gegensatz zum gefällten Kupfer(II)-hydroxid, tiefblau gefärbt. In der Lösung liegt offenbar eine andere Verbindung vor.

Das doppelt positiv geladene Kupfer(II)-Ion hat hier 4 Moleküle Ammoniak angelagert:



hellblau	tiefblau
wasserunlöslich	wasserlöslich

Das so entstandene doppelt positiv geladene Kation mit der Zusammensetzung $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ wird als ein **Komplex-Ion** bezeichnet. Seine Ladung ist der des Kupfer(II)-Ions gleich, weil jedes der hinzugetretenen Ammoniakmoleküle elektroneutral ist.

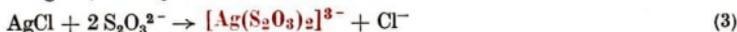
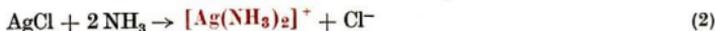
10



Eine frisch bereitete Silberchloridfällung wird auf zwei Reagenzgläser verteilt. Zu dem einen Teil der Fällung wird Ammoniaklösung, zum anderen Natriumthiosulfatlösung¹ gegeben.

● *Führen Sie ergänzend Schülerversuch S 11 aus!*

Die Reaktionen von Versuch 10 führen ebenfalls zu Komplexen:



¹ Natriumthiosulfat $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ist das Natriumsalz der unbeständigen Thioschwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Im Verlauf der Reaktion (3) werden an das einfach positiv geladene Silber-Ion zwei doppelt negativ geladene Thiosulfat-Ionen $S_2O_3^{2-}$ angelagert. Dabei entsteht ein dreifach negativ geladenes Komplex-Ion. Silber-Ionen bilden mit Thiosulfat-Ionen noch weitere, anders zusammengesetzte Komplexe.

- *Vergleichen Sie die Gesamtladung der Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte in den Gleichungen (1), (2) und (3)! Welche allgemeine Regel können Sie ableiten?*

Ein weiteres Beispiel für die Bildung einer Komplexverbindung liegt im Leclanché-Element vor. Dort werden die in Lösung gehenden Zink-Ionen durch den Elektrolyten zu dem Komplex-Ion $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ gebunden.

- ▶ **Ionen der Nebengruppenelemente bilden besonders leicht Komplexe, indem sie andere Ionen oder Moleküle anlagern.**

2. Bau und Nomenklatur der Komplexe. In den Komplex-Ionen ist um ein geladenes Zentralion, das in den betrachteten Beispielen ein Metall-Ion darstellt, eine gewisse Anzahl Liganden¹ angeordnet. Als solche können elektroneutrale Moleküle (z. B. Ammoniak NH_3) oder Ionen (z. B. Thiosulfat-Ionen $S_2O_3^{2-}$) auftreten. Die Anzahl der angelagerten Liganden bezeichnet man als die **Koordinationszahl** des Zentralions. Kupfer und Zink haben in den genannten Beispielen die Koordinationszahl 4, Silber hat die Koordinationszahl 2. Besonders häufig findet man 2, 4, 6 oder 8 Liganden. Die Koordinationszahl eines Zentralions in einem Komplex hängt mit den Radien und den Kernladungen der Liganden und des Zentralions zusammen (Abb. 27).

Die Beständigkeit eines Komplexes ist wesentlich von der Art der Bindung der Liganden an das Zentralion abhängig. Die beiden Grenzfälle, zwischen denen es Übergangsformen gibt, sind der Anlagerungs- und der Durchdringungskomplex.



Abb. 27 Koordinationszahl und Radien der Liganden sowie des Zentralions stehen im Zusammenhang.

Im **Anlagerungskomplex** wird der Ligand lediglich durch elektrostatische Kräfte am geladenen Zentralion festgehalten. Das tritt besonders dann auf, wenn die Liganden Dipolmoleküle sind.

- *Erläutern Sie den Begriff Dipolmolekül und geben Sie Beispiele!*

Aber auch Ionen können in dieser Weise angelagert sein. Anlagerungskomplexe sind nicht sehr beständig.

In **Durchdringungskomplexen** treten Liganden auf, die bei abgeschlossener Achterschale freie (einsame) Elektronenpaare besitzen, zum Beispiel im Ammoniakmolekül:



- *Zeigen Sie, daß auch das Thiosulfat-Ion über solche freien Elektronenpaare verfügt!*

¹ Ligamen (lat.) = Band.

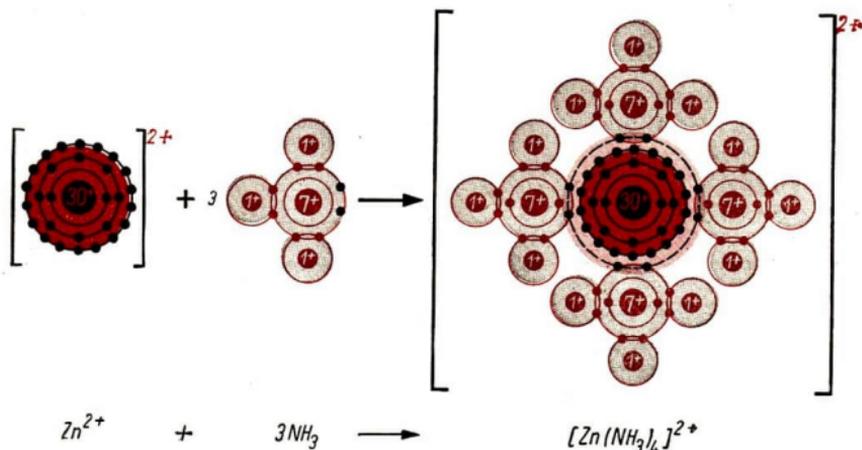


Abb. 28 Bei der Bildung des Tetramminzink-komplexes erreicht das Zink-Ion mit den 8 Elektronen aus dem Ammoniak die Elektronenzahl des Edelgases Krypton.

Die freien Elektronenpaare derartiger Liganden bilden im Durchdringungskomplex eine neue Elektronenschale um das Zentralion aus, wobei gegebenenfalls auch dessen Außenelektronen noch einbezogen werden. Durchdringungskomplexe sind besonders stabil, wenn die Elektronenzahl des nächsthöheren Edelgases erreicht wird. Als Beispiel dient der Tetramminzink-komplex $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$. Das Zinkatom besitzt 30 Elektronen, das Zink-Ion 28.

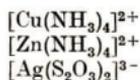
● *Begründen Sie diese Feststellung!*

Der Komplex enthält 4 Ammoniakmoleküle, von denen jedes ein Elektronenpaar beisteuert, so daß zusammen mit den Elektronen des Zink-Ions 36 Elektronen um das Zentralion angeordnet sind. Die Elektronenzahl entspricht der des Kryptions (Abb. 28).

● *Weisen Sie auch in den Silberkomplexen entsprechende Verhältnisse nach!*

Zur Bezeichnung der Komplex-Ionen wird zunächst die Anzahl der Liganden durch ein Zahlwort (z. B. di-, tetra-) angegeben, dann folgt der Name des Liganden, wobei die Endung „-o“ angehängt wird (z. B. -thiosulfato). Eine Ausnahme bildet der Ligand Ammoniak, der im Namen des Komplexes mit -ammin bezeichnet wird. Danach nennt man den Namen des Zentralions. Handelt es sich um einen Anionenkomplex, ist noch die Endung -at anzuhängen. Ferner wird die Oxydationsstufe des Zentralions durch eine in Klammern stehende römische Ziffer angegeben.

Beispiele:

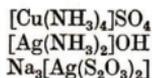


Tetramminkupfer(II) -komplex
Tetramminzink -komplex¹
Dithiosulfatoargentat -komplex

¹ Die Angabe der Oxydationsstufe erübrigt sich hier, da Zink immer die Oxydationsstufe + 2 hat.

Sollen **Komplexsalze** benannt werden, so gibt man die übrigen Ionen zusätzlich zum Namen des Komplex-Ions in der üblichen Weise an.

Beispiele:



Tetramminkupfer(II)-sulfat
Diamminsilber-hydroxid
Trinatrium-dithiosulfatoargentat

3. Eigenschaften der Komplexe. Die Beständigkeit von Komplex-Ionen ist besonders auffällig. Löst man beispielsweise festes Tetramminkupfer(II)-sulfat $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ in Wasser, so dissoziiert die Verbindung sofort in das komplexe Kation und das Sulfat-anion:



Der Komplex spaltet sich nur in ganz geringem Maße bis zur Einstellung eines bestimmten Gleichgewichts in seine Bestandteile:



Auf den in Gleichung (5) dargestellten Vorgang läßt sich das Massenwirkungsgesetz anwenden.

● *Geben Sie den Inhalt des Massenwirkungsgesetzes wieder!*

Der mathematische Ausdruck dieses Gesetzes hat dann die Form:

$$\frac{[[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^4} = K_B$$

Die Gleichgewichtskonstante bezeichnet man hier als **Beständigkeitskonstante** des Komplexes K_B . Der reziproke Wert

$$\frac{[\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^4}{[[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}]} = K = \frac{1}{K_B}$$

ist die **Komplexzerfallskonstante** (Tab. 10).

Tabelle 10 Komplexzerfallskonstanten

Komplex	Komplexzerfallskonstante	Temperatur in °C
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$5 \cdot 10^{-10}$	16
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	$2,75 \cdot 10^{-8}$	16
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$	$1 \cdot 10^{-13}$	20

► **Komplexe dissoziieren nur in sehr geringem Maße.**

● *In welcher Weise müßten sich die Beständigkeits- und Zerfallskonstanten von Anlagerungs- und Durchdringungskomplexen unterscheiden?*

Die unterschiedliche Beständigkeit der Komplex-Ionen läßt sich auch experimentell nachweisen.



In drei Reagenzgläser gibt man je 2 ml 0,1 m Silbernitratlösung. Dann versetzt man in einem Glas mit 2 ml 10%iger Ammoniaklösung, im zweiten mit 2 ml 10%iger Natriumthiosulfatlösung, im dritten füllt man mit 2 ml Wasser auf. In alle drei Gläser gibt man anschließend 4 ml 0,2 m Natriumchloridlösung als Reagens auf Silber-Ionen.

- *Vergleichen Sie die drei Ergebnisse! Inwiefern wird durch Versuch 11 bestätigt, daß Komplex-Ionen nur in äußerst geringem Maße dissoziieren?*

Das Löslichkeitsprodukt für Silberchlorid ist bei 25 °C $1,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{l}^{-2}$. Die Komplexzerfallskonstanten sind in Tabelle 10 angegeben. Vergleichen Sie diese Zahlen! Was können Sie unter Beachtung der Versuchsergebnisse feststellen?

- ▶ **Die meisten Komplexsalze sind in Wasser gut löslich. Dadurch unterscheiden sie sich von den entsprechenden Verbindungen des Zentralions.**

Beispiele:

$\text{Cu}(\text{OH})_2$
schwer löslich
hellblau

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$
leicht löslich
tief dunkelblau

AgCl
sehr schwer löslich

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$
leicht löslich

Niederschläge werden bei Zugabe komplexbildender Stoffe aufgelöst. Andererseits kann bei Anwesenheit von Komplexbildnern eine zu erwartende Fällung ausbleiben.

- *Bestätigen Sie dies durch den Schülerversuch S 11!*

Bemerkenswert ist ferner, daß die Ladung des Komplexes anders sein kann als die des komplexbildenden Ions. Wir lernten einen solchen Fall beim Übergang von Silber-Ionen zu dem Dithiosulfatoargenat-komplex kennen:

$\text{Ag} +$
Kation

$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$
Anion

Grundlagen der Fotografie

1. **Fotografischer Prozeß.** Die Fotografie wird vielseitig angewendet.

- *Erläutern Sie an Hand eines Beispiels (Wissenschaft, Kultur, Presse, Wandzeitung usw.) die Bedeutung der Fotografie!*

a) *Herstellung von Fotomaterial.* Fotomaterial besteht aus einer lichtempfindlichen Schicht, die sich auf einem Schichtträger befindet. Als Beispiel wird die Herstellung von Filmen dargelegt. Folien aus Zellulosedinitrat oder -triäthanat sind hier der Schichtträger. Als lichtempfindlicher Stoff dient überwiegend Silberbromid. Es muß in der lichtempfindlichen Schicht gleichmäßig und fein verteilt vorliegen.



In einem Reagenzglas wird Silberbromid gefällt. Dann mischt man in einem zweiten Reagenzglas Ammoniumbromidlösung mit Gelatinelösung und setzt tropfenweise Silbernitratlösung zu.

In einer gelatinehaltigen Ammoniumbromidlösung bildet sich bei Zugabe von Silbernitratlösung ein feinverteilter Niederschlag von Silberbromid.

Bei der industriellen Herstellung der lichtempfindlichen Schicht geht man von einem ähnlichen Vorgang aus, der zu einer Emulsion führt. Die lichtempfindliche Emulsion durchläuft mehrere Behandlungsstufen. Dabei bilden sich zum Beispiel langsam größere Silberbromidteilchen; die Lichtempfindlichkeit der Emulsion nimmt damit zu. Außerdem setzt sich Silber mit Schwefel aus der Gelatine zu Silbersulfid um.

● *Wie erklärt sich der Schwefelgehalt von Gelatine?*

Die kleinen Silbersulfidteilchen beeinflussen ebenfalls die Empfindlichkeit des Films. Die Gelatine ist also nicht nur für eine gleichmäßige Fällung notwendig, sondern sie beteiligt sich auch am Aufbau der lichtempfindlichen Substanz. Während der Bearbeitung entfernt man aus der Emulsion überschüssige Salze. Ihr werden noch mehrere Stoffe zugesetzt, von denen zum Beispiel geringste Mengen Goldsalze die Lichtempfindlichkeit steigern.

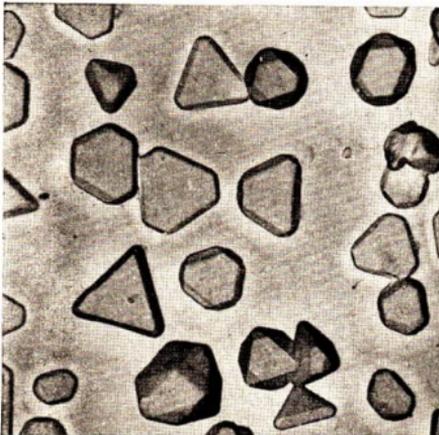
Mit der fertigen Emulsion wird der durchsichtige Schichtträger begossen. Damit während der fotografischen Aufnahme Lichtreflexe im Film weitgehend vermieden werden, ist der Schichtträger grau gefärbt (Kleinbildfilm) oder mit einer reflexionsvermindernden Schicht versehen (Abb. 29).



Abb. 29 Querschnitt durch einen Rollfilm

Fotoplaten und Fotopapiere werden im Prinzip in gleicher Weise wie Filme hergestellt.

▶ **Fotomaterialien bestehen im wesentlichen aus einem Schichtträger (Glas, Folie, Papier) und aus einer lichtempfindlichen Schicht. In ihr sind lichtempfindliche Silbersalze (z. B. Silberbromid) und Zusatzstoffe von Gelatine umgeben.**



b) *Chemische Grundlagen für die Verarbeitung von Fotomaterial.* Die Silberbromidkörner der fotografischen Schicht bestehen aus Silberbromidkristallen (Abb. 30), die dem Gittertyp Natriumchlorid entsprechend gebaut sind.

Abb. 30 In der Mikroaufnahme einer fotografischen Emulsion sind die einzelnen Silberbromidkristalle zu erkennen (Vergrößerung 6000 fach).

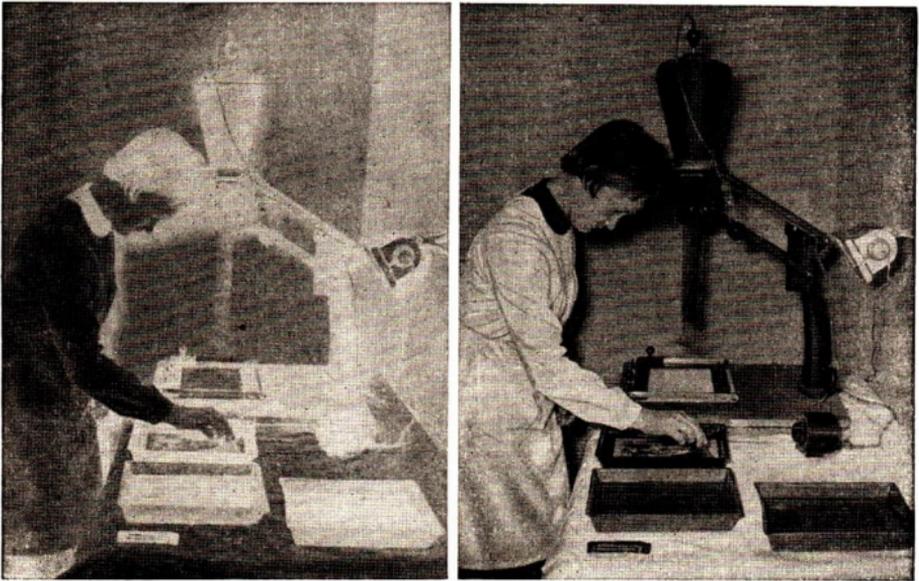


Abb. 31 Bei dem Negativ sind die Hell-Dunkelwerte des Positivs vertauscht.

- *Fertigen Sie eine schematische Zeichnung von der Elementarzelle des Silberbromids an! Zeichnen Sie schematisch eine Schicht aus dem Ionengitter des Silberbromids! Geben Sie dabei die Ladungsschwerpunkte der verschiedenartigen Ionen durch farblich unterschiedene Punkte an!*

In der fotografischen Schicht ist das Ionengitter des Silberbromids nicht regelmäßig gebaut. Es enthält Störstellen, die durch Silbersulfid und Gelatineteilchen hervorgerufen werden.

Die chemischen Vorgänge, die bei der Herstellung eines Negativs und eines Positivs (Abb. 31) ablaufen, sind prinzipiell gleich.

Beim Fotografieren mit der Kamera oder beim Belichten von Fotopapier fällt auf die fotografische Schicht kurze Zeit Licht. Es läuft dann eine fotochemische Reaktion ab, die sich in zwei Teilreaktionen gliedert.



- *Fassen Sie beide Teilreaktionen zu einer Gleichung zusammen!*

Die entstandenen Silberatome konzentrieren sich an Gitterstörstellen. Je größer die Lichtmenge ist, die auf die fotografische Schicht fiel, um so größer ist auch die Anzahl der entstandenen Silberatome. Die Menge Silberatome, die während einer fotogra-

fischen Belichtung entsteht, ist jedoch so gering, daß sich zum Beispiel der belichtete vom unbelichteten Film äußerlich nicht unterscheidet. Es liegt ein **latentes Bild** vor, das beim **Entwickeln** in ein sichtbares umgewandelt wird. Die Silbermenge vergrößert sich dabei um den Faktor 10^{10} .

13

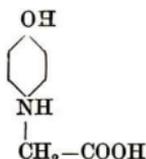


Ein Reagenzglas wird lichtdicht mit schwarzem Papier umgeben. In diesem und einem weiteren, für das Licht zugängigen Reagenzglas stellt man eine kräftige Silberbromidfällung her. Zu beiden Proben gibt man etwas fotografische Entwicklerlösung. Nach 2 bis 3 Minuten betrachtet man den Inhalt beider Reagenzgläser.

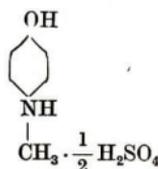
Als wirksame Substanz sind im **fotografischen Entwickler** schwache, meist **organische Reduktionsmittel** enthalten, zum Beispiel



Hydrochinon

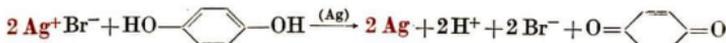


Glycin



Metatyl (Metol)

Sie reduzieren in alkalischer Lösung Silberhalogenide zu metallischem Silber. Aus der Reaktion bei Versuch 13 ergibt sich, wenn mit Hydrochinon gearbeitet wurde, folgende Gleichung:



Silber tritt also an den Stellen der fotografischen Schicht bevorzugt auf, an denen bei der Belichtung Silberkeime gebildet wurden. Dabei wirkt das Silber des latenten Bildes katalytisch.

Das entstandene metallische Silber sieht in feiner Verteilung schwarz aus.

Das Hydrochinon geht bei dem Entwicklungsvorgang in das gelbe Chinon über. Auch bei den anderen Entwicklersubstanzen treten entsprechende Produkte auf. Gleichzeitig entstehen Wasserstoff-Ionen, die von den in der Entwicklerlösung vorhandenen Hydroxid-Ionen gebunden werden.

- *Nennen Sie alkalisch reagierende Salze! Begründen Sie diese Reaktion! Erläutern Sie, wie durch solche Stoffe Wasserstoff-Ionen gebunden werden!*

Die Entwicklersubstanzen würden bereits durch den Sauerstoff der Luft oxydiert. Dem Entwickler zugefügtes Sulfid (z. B. Natriumsulfid) verhindert diesen Vorgang, da es leichter oxydierbar ist als die organischen Reduktionsmittel.

Damit beim Entwickeln das unbelichtete Silberbromid nicht reduziert wird, enthalten die Entwickler Kaliumbromid als **Verzögerer**.



Fotografische Entwickler bestehen aus vier Hauptbestandteilen: dem organischen Reduktionsmittel, einem Sulfid, einem alkalisch reagierenden Salz und einem Verzögerer.

An den wenig oder nicht belichteten Stellen des Filmes ist während des Entwicklungsprozesses nur sehr wenig Silber gebildet worden. Die hier noch vorhandenen lichtempfindlichen Silberhalogenidreste müssen entfernt werden, damit man das Negativ später im Licht betrachten und weiter verwenden kann. Das Silberhalogenid wird aus der fotografischen Schicht durch Thiosulfat-Ionen entfernt. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Fixieren**.

- *Geben Sie für die Umsetzung von Silber-Ionen mit Thiosulfat-Ionen eine Gleichung an! Was verstehen Sie unter einem Komplex-Ion? Welche Eigenschaften von Komplexen sind für das Fixieren wichtig?*

Nach dem Fixieren werden durch das **Wässern** des fotografischen Materials alle in Wasser löslichen Stoffe aus der Gelatine entfernt.

Mit Abbildung 32 wird eine schematische Übersicht über die Vorgänge bei der Herstellung eines Negativs und des entsprechenden Positivs gegeben.

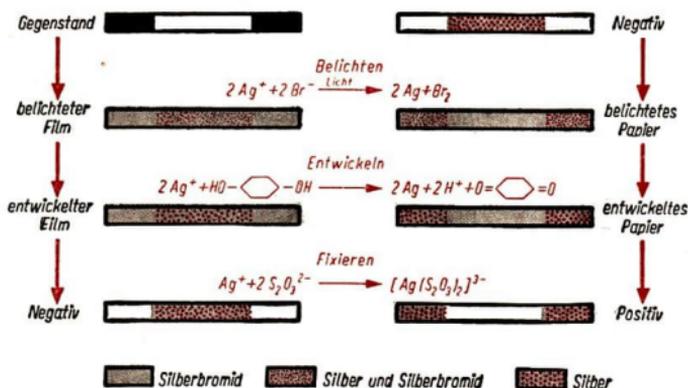


Abb. 32 Übersicht über die chemischen Vorgänge bei der Verarbeitung lichtempfindlichen fotografischen Materials

- ▶ **In einer fotografischen Schicht entsteht aus Silberbromid unter Lichteinwirkung in geringem Maße Silber (latentes Bild). An diesen Stellen wird beim Entwickeln Silberbromid durch organische Reduktionsmittel in alkalischer Lösung zu Silber reduziert. Restliche, lichtempfindliche Stoffe werden aus der fotografischen Schicht herausgelöst (Fixieren).**

c) *Praktische Verarbeitung von belichtetem Fotomaterial.* Der in der Kamera den Helligkeitswerten des Objektes entsprechend belichtete Film wird entwickelt. Als Geräte dienen dazu im wesentlichen Fotoschalen, Entwicklerdosen oder Entwicklertanks.

- *Beschreiben und erklären Sie die praktische Verarbeitung von belichtetem Fotomaterial. Verwenden Sie dazu die Abbildungen 32 und 33! Vergleichen Sie die Arbeiten, die zu einem Negativ und zu einem Positiv führen!*

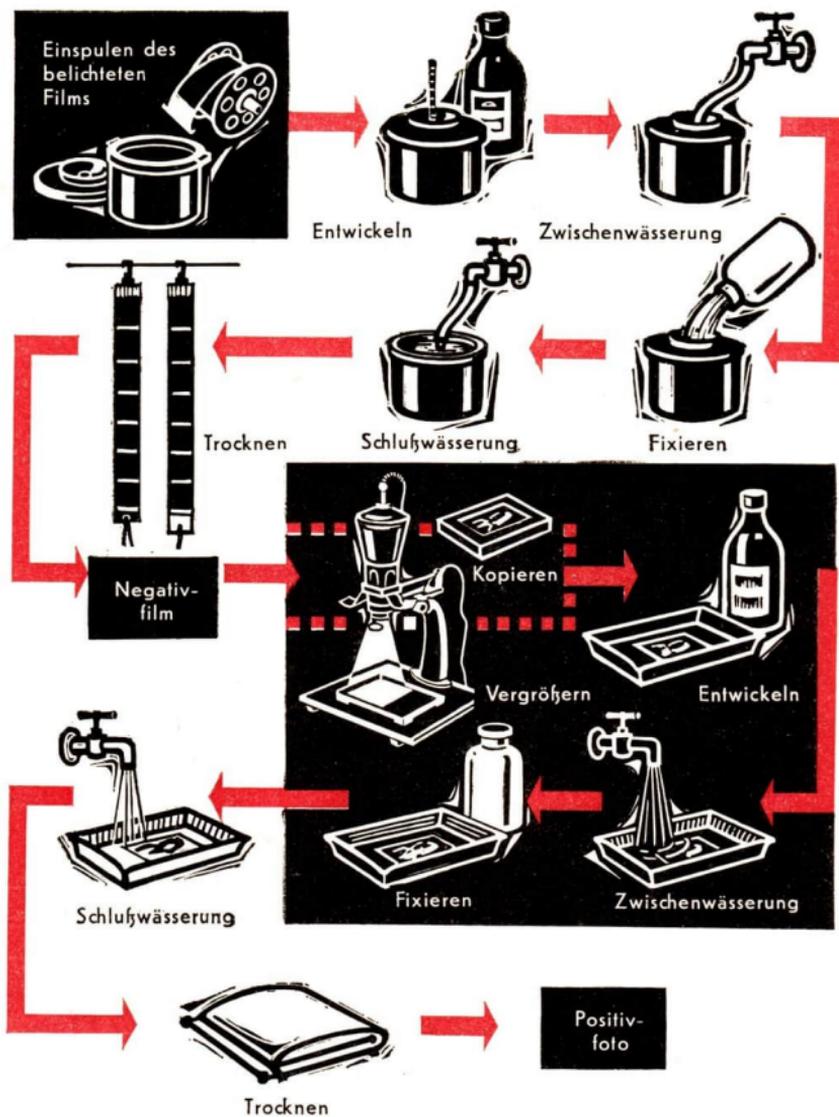
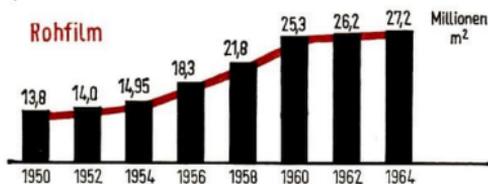


Abb. 33 Verarbeitung fotografischen Materials (Arbeitsablauf).

2. Fotochemische Industrie in der Deutschen Demokratischen Republik. Unsere Republik verfügt über eine hochentwickelte fotochemische Industrie, die Fotomaterialien von Weltruf herstellt (Abb. 34).

Abb. 34 Produktion von Rohfilm in der Deutschen Demokratischen Republik



Der bedeutendste Betrieb ist der VEB Filmfabrik Wolfen. Er ging aus einem ehemaligen Konzernbetrieb hervor, der 1945 vorübergehend als SAG-Betrieb in sowjetische Verwaltung übernommen wurde. So half auch dieser Betrieb durch die Erzeugung hochwertiger Produkte, unsere damaligen Reparationen und den eigenen Bedarf zu decken. Dieser Schritt der Sowjetunion erhielt uns wertvolle Produktionsanlagen und Tausende Arbeitsplätze. 1954 wurde der Betrieb dem deutschen Volke übergeben. Der VEB Filmfabrik Wolfen ist heute der drittgrößte Chemiebetrieb unserer Republik. Er produziert neben Fotochemikalien vor allem Filme und Platten. Dabei erstreckt sich das Produktionsprogramm neben der Herstellung von Schwarz-Weiß- und Farbfilmmaterial für die normale Fotografie und für Kinozwecke auf eine sehr große Zahl von Spezialmaterialien für Wissenschaft und Technik. Besondere Bedeutung haben zum Beispiel die verschiedenen Arten von Röntgenfilmen sowie Fotomaterialien für Reproduktionszwecke in der polygraphischen Industrie. Der VEB Filmfabrik Wolfen liefert seine fotochemischen Erzeugnisse heute in rund 60 Länder. Der Betrieb erzeugt außer Fotomaterialien mehrere Chemiefasern, zum Beispiel Wolpryla und Dederon.

► **Die hochwertigen Erzeugnisse unserer fotochemischen Industrie haben Weltgeltung und großen Anteil an der Entwicklung unseres Außenhandels.**

Chrom und Mangan

1. Eigenschaften, Verwendung und Herstellung. Chrom steht gemeinsam mit den Elementen Molybdän und Wolfram in der VI. Nebengruppe des Periodensystems. Mangan bildet dagegen mit Rhenium sowie Technetium, das als künstliches radioaktives Zwischenprodukt auftritt, die VII. Nebengruppe (Tab. 11, Seite 48).

Chrom ist ein weißes bis stahlblaues, glänzendes und polierbares Metall von außerordentlicher Härte. Obwohl es in der Spannungsreihe zwischen Zink und Eisen steht, zeichnet sich das Metall an der Luft durch große Beständigkeit aus, die jedoch auf einer sehr dünnen, zusammenhängenden Oxidschutzschicht beruht. Deshalb verwendet man es zur Herstellung galvanischer Metallüberzüge (Verchromen). Mit Chrom legierte Stähle sind besonders hart und fest. Aus solchen Stählen bestehen häufig stark beanspruchte Werkzeuge und Maschinenteile.

Tabelle 11 Elemente der VI. und VII. Nebengruppe

Element	Symbol	Atomgewicht	Dichte in $g \cdot cm^{-3}$	Schmelztemperatur in $^{\circ}C$	Siedetemperatur in $^{\circ}C$	stöchiometrische Wertigkeit ¹
VI. Nebengruppe						
Chrom	Cr	52,01	6,9	≈1900	≈2300	I, II, III , IV, V, VI
Molybdän	Mo	95,95	10,2	≈2600	≈4800	II, III, IV, V, VI
Wolfram	W	183,86	19,3	≈3400	≈6000	II, III, IV V, VI
VII. Nebengruppe						
Mangan	Mn	54,94	7,21	≈1244	≈ 2100	I, II , III, IV , V, VI, VII
Technetium	Tc	[99]	11,50	≈2200	—	IV, VI, VII
Rhenium	Re	186,22	20,9	≈3150	≈5500	I, II, III, IV, V, VI, VII

Mangan ist ein silbergraues, hartes aber sprödes Metall, das in reiner Form kaum verwendet wird. Für die Stahlherstellung und als Stahlveredler wird es jedoch in größeren Mengen benötigt. Manganhaltige Stähle zeichnen sich durch hohe Verschleißfestigkeit aus. Bei einem Gehalt von 10 bis 15% Mangan gehen die magnetischen Eigenschaften der Legierung verloren.

Reines Mangan und reines Chrom können aus oxidischen Erzen nicht durch Reduktion mit Kohlenstoff hergestellt werden, weil beide Elemente leicht Karbide bilden. Man muß das aluminothermische Verfahren anwenden.

- Erläutern Sie den Begriff „aluminothermisches Verfahren“!

Die Hauptmenge der Mangan- und Chromerze, die gemeinsam mit Eisenerzen auftreten, wird jedoch zu Eisen-Mangan- beziehungsweise Eisen-Chrom-Legierungen verarbeitet. Das kann, in einem der Eisenherstellung ähnlichen Prozeß, durch Reduktion mit Kohlenstoff geschehen.

- Geben Sie einen Überblick über die Vorgänge bei der Roheisenherstellung!

- ▶ **Eisen-Mangan- und Eisen-Chrom-Legierungen dienen als wichtige Stahlveredler. Chrom wird als korrosionsbeständiger Belag verwendet.**

2. Verbindungen. Die Elemente der VI. und VII. Nebengruppe treten in verschiedenen Oxydationsstufen auf (Tab. 12).

- Wiederholen Sie die Oxydationsstufen, in denen Mangan auftreten kann, an Hand der Tabelle 4 (Seite 13)! Welche Aussagen können Sie über die chemischen Eigenschaften der Elemente auf Grund ihrer Stellung im Periodensystem machen?

Werten Sie die Tabellen 4 und 12 aus!

- ▶ **Beim Mangan und Chrom ist ein verhältnismäßig leichter Übergang zwischen den Oxydationsstufen möglich. Permanganate und Chromate sind starke Oxydationsmittel.**

¹ Hauptwertigkeiten rot

Tabelle 12 Einige Oxydationsstufen des Chroms

Oxydationsstufe	+2	+3	+6
Oxid	CrO (unbeständig)	Cr ₂ O ₃	CrO ₃
Charakter	(basisch)	amphoter	sauer
Hydroxid/Säure	Cr(OH) ₂	(Cr(OH) ₃)	H ₂ CrO ₄
Salz	CrCl ₂ (unbeständig)	CrCl ₃	Na ₂ CrO ₄
Farbe der Lösung	blau	grün	gelb

Reduktions- und Oxydationsvorgänge sind ganz allgemein durch Elektronenübergang von einem Atom zu einem anderen gekennzeichnet. Magnesiumchlorid kann man, von dem Metall ausgehend, durch Verbrennung von Magnesium und anschließende Umsetzung des Oxids mit Salzsäure oder aber durch direkte Reaktion des Magnesiums mit Chlor herstellen. Im ersten Falle verläuft der Vorgang offensichtlich über eine Oxydation im elementaren Sinne, das heißt, über die Verbindung des Metalls mit Sauerstoff. Da aber auf beiden Wegen das gleiche Reaktionsprodukt entsteht, muß auch der zweite Weg eine Oxydation einschließen.

- *Leiten Sie an diesem Beispiel nochmals den erweiterten Oxydations- und Reduktionsbegriff ab! Formulieren Sie dazu zunächst die chemischen Gleichungen und geben Sie die Oxydationsstufen der Reaktionsteilnehmer an!
Definieren Sie die Begriffe Oxydations- und Reduktionsmittel!
Erklären Sie den Begriff Oxydationsstufe!*

14



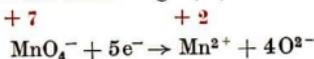
Eine mit verdünnter Schwefelsäure angesäuerte Eisen(II)-sulfatlösung wird tropfenweise mit Kaliumpermanganatlösung versetzt.

- *Was beobachten Sie? Schließen Sie von der Färbung auf die Oxydationsstufe der Reaktionsprodukte!*

Die Redoxgleichung für den chemischen Vorgang im Versuch 14 entwickeln wir nun in einer Form, die sich auf alle derartigen Vorgänge anwenden läßt. Dazu werden die beiden Teilgleichungen für den Oxydations- und Reduktionsprozeß zunächst getrennt aufgeschrieben, wobei die Oxydationsstufen der Reaktionspartner vor und nach der Umsetzung zu vermerken sind.

- *Wie ermittelt man die Oxydationsstufe des Mangans im Permanganat-Ion?*

Aus der Entfärbung der Kaliumpermanganatlösung in Versuch 14 folgt, daß das Permanganat-Ion zum Mangan(II)-Ion reduziert wurde:



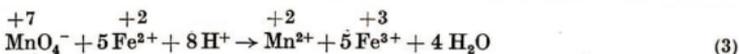
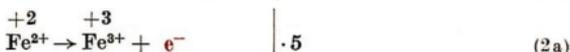
Die „Sauerstoff-Ionen“ setzen sich sofort mit Wasserstoff-Ionen aus der Lösung zu Wasser um:



Das zweifach positiv geladene Eisen-Ion ist zum dreifach positiven oxydiert worden:



Beide Teilgleichungen (1 und 2) werden nun untereinander geschrieben (1a und 2a), jeweils derart multipliziert, daß die Elektronenzahl in beiden Teilreaktionen gleich groß wird (1b und 2b), und schließlich addiert (3):

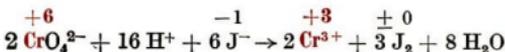
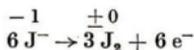
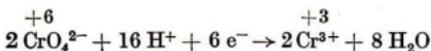
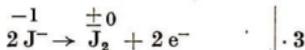
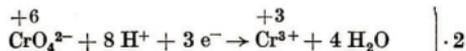


15



Verdünnte Kaliumjodidlösung wird mit verdünnter Schwefelsäure angesäuert und dann tropfenweise mit Kaliumchromatlösung versetzt. Wenn die Farbänderung deutlich erkennbar ist, schüttelt man mit Kohlendisulfid aus.

Das Jodid-Ion wurde in Versuch 15 zu Jod oxydiert, Chrom ging aus der Oxydationsstufe + 6 in die Oxydationsstufe + 3 über:



- Führen Sie nach Schülerversuch S 13 die Reduktion von Kaliumdichromat durch, und stellen Sie die Redoxgleichung auf!

16



Kaliumpermanganatlösung wird tropfenweise zu schwefliger Säure, dann zu Natriumsulfidlösung gegeben.

Vergleichen Sie das Ergebnis beider Teilversuche!

Die Natriumsulfidlösung wird mit Lackmuspapier geprüft.

In saurer Lösung wird das Permanganat-Ion bis zum Mangan(II)-Ion reduziert. In alkalischer Lösung geht die Reduktion nur bis zum Mangan(IV)-oxid. Die bei der Redoxreaktion entstehenden Reaktionsprodukte sind also vom Säuregrad der Lösung abhängig.

Permanganate und Chromate haben auf Grund ihres starken Oxydationsvermögens Bedeutung für die Technik und für das Laboratorium. Mit Hilfe der **Manganometrie**, einer wichtigen Methode der quantitativen Analyse, wird beispielsweise der Gehalt einer Lösung an oxydierbaren Stoffen bestimmt. Dabei titriert man die betreffende Lösung mit einer eingestellten Normallösung von Kaliumpermanganat, das bei diesem Vorgang selbst reduziert wird (Redox titration). Zur Herstellung einer Normallösung für Redox titrationen wird das Äquivalentgewicht nach der Beziehung

$$\text{Äquivalentgewicht} = \frac{\text{Mol}}{\text{Anzahl der ausgetauschten Elektronen}}$$

berechnet. So kann man zum Beispiel Eisen in saurer Lösung mit Hilfe von Kaliumpermanganatlösung quantitativ bestimmen (vgl. Versuch 14).

- Zur Herstellung einer 0,1 n Kaliumpermanganatlösung müssen für diese Bestimmung 3,16 g Kaliumpermanganat auf einen Liter Lösung eingewogen werden. Begründen Sie die Wahl dieser Menge!

Zink

1. Eigenschaften und Verwendung. Zink steht mit den Elementen Kadmium und Quecksilber gemeinsam in der II. Nebengruppe des Periodensystems (Tab. 13).

Tabelle 13 Elemente der II. Nebengruppe

Element	Symbol	Atomgewicht	Dichte in g · cm ⁻³	Schmelztemperatur in °C	Siedetemperatur in °C	Standardpotential ¹ in V	stöchiometrische Wertigkeit
Zink	Zn	65,38	7,13	419,4	907	-0,762	II
Kadmium	Cd	112,41	8,64	320,9	767	-0,401	II
Quecksilber	Hg	200,61	13,59	-38,8	356,9	+0,854	I, II

¹ Für die Standardelektrode Me/Me²⁺



Abb. 35 Spritzverzinken eines Troges vom Schiffshebewerk Rothensee

Zink ist ein bläulich-weißes, glänzendes Metall mit nur geringer Härte und Festigkeit. Das Metall läßt sich gießen, walzen, zerspannen, löten und schweißen.

Auf der Oberfläche des Metalls bildet sich an feuchter Luft eine festhaftende Schicht, die in Wasser nicht löslich ist und das Metall trotz seines negativen Standardpotentials vor weiterer Einwirkung schützt. Fast ein Drittel des hergestellten Zinks verwendet man deshalb zum Oberflächenschutz für Stahlbleche (Abb. 35), -rohre und -drähte. Aus dem gleichen Grunde wendet man auch Zinkblech in beträchtlichem Maße an. Mehr als ein Viertel der Zinkproduktion dient zur Herstellung von Messingen.

- *Geben Sie die Zusammensetzung von Messing an!
Nennen Sie Anwendungsgebiete!*

Ferner benötigt man geringere Mengen Zink in der polygraphischen Industrie (z. B. Druckstöcke für Abbildungen) und zur Herstellung von Farben.

- *Leiten Sie chemische Eigenschaften des Zinks aus der Stellung des Elementes im Periodensystem ab!*

Wichtige Zinkverbindungen sind Zinksulfid ZnS und Zinkoxid ZnO . Kristallisiertes **Zinksulfid**, das geringe Spuren von Schwermetallen enthält, wandelt für das menschliche Auge unsichtbare Strahlen (Röntgenstrahlen, Katodenstrahlen) in sichtbare Strahlung um. Darauf beruht der Einsatz in Fernsehbildröhren. **Zinkoxid** dient als Malerfarbe (Zinkweiß) und ist Bestandteil von Medikamenten (Zinksalbe).

2. Technische Herstellung. Hauptrohstoff für die Zinkherstellung ist **Zinkblende ZnS** . Zinkerze kommen in der Deutschen Demokratischen Republik im Mansfelder Kupferschiefer sowie in größeren Mengen bei Freiberg vor. Daneben wird bei uns Zinkblende verarbeitet, die wir vor allem aus der ČSSR beziehen.

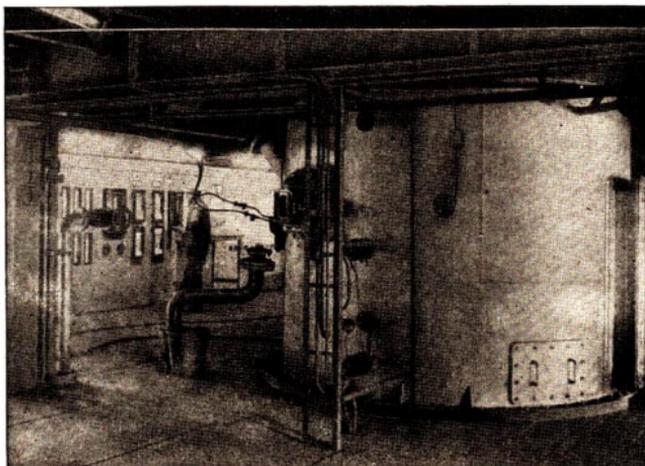
▶ **Zink kann nach dem trockenen und nach dem nassen Verfahren erzeugt werden.**

In beiden Fällen wird die Zinkblende zunächst abgeröstet, wobei hauptsächlich die Reaktion



abläuft.

Abb. 36 Zinkblende wird zur Zinkherstellung nach dem nassen Verfahren im Wirbelschichtröstofen abgeröstet (VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“, Freiberg, Betriebsteil Feinzink).



Die Wahl der Reaktionsapparatur richtet sich nach der anschließenden Weiterverarbeitung. Für das trockene Verfahren soll das Röstgut stückig sein. Das läßt sich im **Drehrohr** erreichen. Für die nasse Weiterverarbeitung ist ein feines Röstgut zweckmäßig. Man verwendet dazu heute mit Erfolg den **Wirbelschichtröstofen** (Abb. 36).

● *Erläutern Sie Bau und Wirkungsweise eines Wirbelschichtröst- und eines Drehrohr-Ofens!*

Beim **trockenen Verfahren** reduziert man nach dem Rösten das Zinkoxid mit Kohle beziehungsweise mit Kohlenmonoxid zu Zink. Wegen des unedlen Charakters von Zink sind hohe Temperaturen erforderlich. Da das Metall andererseits eine recht niedrige Siedetemperatur hat, fällt es dampfförmig an und muß durch geeignete Vorrichtungen kondensiert werden.

Damit unser Zinkbedarf besser gedeckt und dazu die eigenen Vorräte an Zinkerz ausgenutzt werden, begann im Jahre 1950 in Freiberg der Aufbau einer Zinkhütte. Der Betriebsteil Feinzink des VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ in Freiberg arbeitet nach dem nassen Verfahren.

Man setzt dort das Röstgut (etwa 50% Zinkgehalt) zunächst mit Schwefelsäure um:



Die entstehende Lösung durchläuft mehrere Reinigungsstufen.

Beim Lösen wird Röstgut zugesetzt, bis die Lösung neutralisiert ist. Es scheidet sich dann das Eisen als Hydroxid ab. Gleichzeitig werden einige andere Metalle wie Arsen, Antimon und Germanium mit aus der Lösung entfernt, falls sie nicht in zu großer Menge vorliegen. An die Filtration schließt sich die **Zementation** an. Dabei wird Kupfer durch Zugabe berechneter Mengen Zinkstaub niedergeschlagen.

● *Begründen Sie diesen Schritt!*

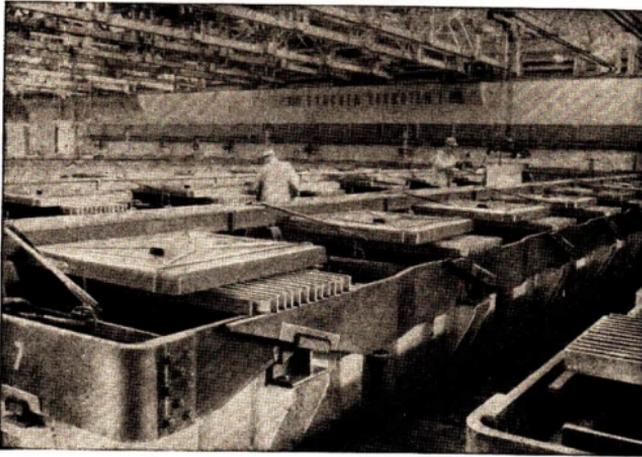


Abb. 37 In Elektrolysezellen wird Zink auf Katoden aus dünnem Aluminiumblech abgeschieden (VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“, Freiberg, Betriebsteil Feinzink).

Kadmium wird chemisch gefällt und dann ebenfalls abgetrennt. Die gereinigte Lösung fließt nach Kühlung den Elektrolysezellen (Abb. 37) zu. Trotz des stark negativen Standardpotentials läßt sich Zink aus der Lösung abscheiden, wenn bestimmte Bedingungen eingehalten werden. Die Elektrolytlösung muß hohe Reinheit (weniger als 1 mg Fremdmetalle je l) und einen bestimmten Gehalt an freier Schwefelsäure sowie Zinksulfat besitzen. Geht beispielsweise der Zinkgehalt zu weit zurück, so ist die Abscheidung nicht mehr möglich. Die restliche Lösung wird dann wieder mit Zink angereichert und geht in den Prozeß zurück. Ferner sind eine hohe Stromdichte und niedrige Temperaturen erforderlich.

● *Was ist bei der Elektrolyse von Zinksulfatlösung mit Kohleelektroden zu erwarten?*

Das an Aluminiumkatoden abgeschiedene Zink wird täglich abgenommen, eingeschmolzen und in Platten gegossen.

Im Betriebsteil Feinzink des VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ verwirklicht man auch das wirtschaftlich wichtige Prinzip, den eingesetzten Rohstoff maximal auszunutzen. In einer zum Betriebsteil gehörenden Kontakthanlage wird das beim Rösten der Zinkblende anfallende Schwefeldioxid zur Herstellung von Schwefelsäure eingesetzt.

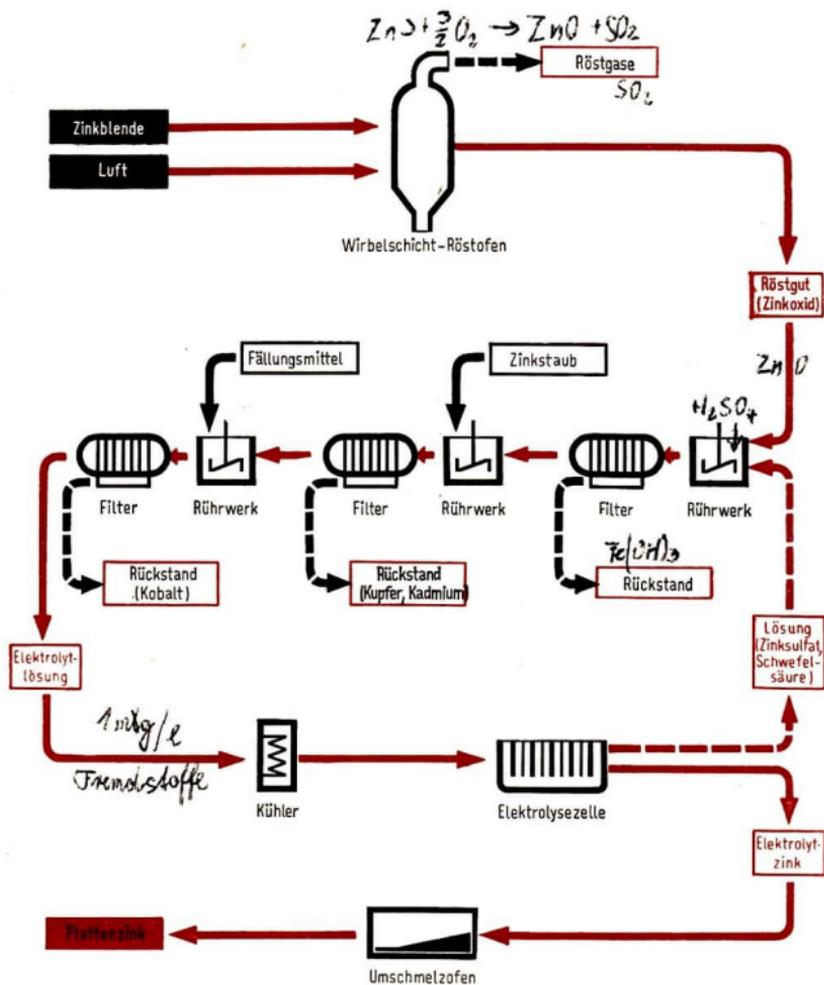
● *Geben Sie einen Überblick über das Schwefelsäure-Kontaktverfahren!*

Das bei der Zementation abgeschiedene Kupfer verarbeitet der VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“. Kadmium- und indiumhaltige Rückstände werden in Nebenanlagen des VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk“ zu den Elementen aufgearbeitet.

Abbildung 38 gibt einen Überblick über die Herstellung von Zink.

▶ Nach dem nassen Verfahren wird Zink erzeugt, indem man feinen zinkoxidhaltigen Abbrand mit Schwefelsäure versetzt, die Lösung sorgfältig reinigt und dann der Elektrolyse unterwirft.

Abb. 38 Zinkherstellung
(nasses Verfahren)



Nickel

1. Eigenschaften und Verwendung. Nickel gehört zu den Elementen der VIII. Nebengruppe des Periodensystems. Auf Grund ihrer Eigenschaften faßt man die unedlen Elemente Eisen, Kobalt und Nickel zur **Eisengruppe** (Tab. 14), die übrigen sechs edlen Elemente zur Gruppe der Platinmetalle zusammen.

Tabelle 14 Elemente der Eisengruppe

Element	Sym- bol	Atom- gewicht	Dichte in $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Schmelz- temperatur in $^{\circ}\text{C}$	Siede- temperatur in $^{\circ}\text{C}$	Standard- potential ¹ in V	stöchio- metrische Wertigkeit
Eisen	Fe	55,85	7,86	1535	≈ 3000	-0,441	II, III
Kobalt	Co	58,94	8,83	1490	≈ 3000	-0,28	II, III
Nickel	Ni	58,71	8,90	1453	≈ 2900	-0,23	I, II

Nickel ist ein silberweißes, festes, hartes und zähes Metall. Es ist gegenüber feuchter Luft und Basen beständig, setzt sich aber mit Säuren um.

► **Nickel wird in größeren Mengen als Oberflächenschutz für Stahl sowie als Stahlveredler verwendet.**

Nickelzusatz erhöht die Zähigkeit von Stahl beträchtlich. Nickel ist in der Elektrotechnik unentbehrlich, zum Beispiel dient es zur Herstellung von Rundfunk- und Fernsehrohren.

2. Technische Gewinnung. Nickel kommt in der Natur fast ausschließlich chemisch gebunden vor. Wirtschaftlich besonders bedeutend sind die schwefelhaltigen Nickelverbindungen. Bei Nickelgehalten über 0,3% sind die Erze bereits abbaufähig. Sie enthalten neben der Gangart unter anderem Eisen-, Kupfer- und Kobaltverbindungen.

Schwefelhaltige Nickelerze werden in einem der Kupfergewinnung weitgehend entsprechenden Verfahren verarbeitet. Sie werden geröstet und bei hohen Temperaturen verschmolzen. Dabei verschlackt das Eisen teilweise, und man erhält einen kupfer- und eisenhaltigen Nickelrohstein. Dieser wird zu Nickel-Feinstein verblasen. Er enthält hauptsächlich nur noch Kupfer und Nickel, gebunden an Schwefel. Daraus stellt man eine Kupfer-Nickel-Legierung mit etwa 70% Nickelgehalt her, aus der sich reines Nickel durch geeignete Maßnahmen abtrennen läßt.

Im Jahre 1947 wurden in der Deutschen Demokratischen Republik im mittelsächsischen Raum größere Nickelerzlagstätten entdeckt, in denen silikatische Nickelerze enthalten sind. Zu ihrer Nutzung wurde in den Folgejahren eine Nickelhütte bei St. Egidien gebaut. Der Betrieb nahm 1960 die Produktion auf.

Die Nickelerze werden im Tagebau abgebaut. Das silikatische Erz besitzt im Gegensatz zu anderen Nickelerzen einen geringen Gehalt an Fremdmetallen. Nur Eisen ist in größeren Mengen vorhanden.

¹ Für die Standardelektrode Me/Me^{2+}

Da die bei St. Egidien vorkommenden Nickelerze den in der Volksrepublik Polen ähnelten, wurde für die Verarbeitung bei uns das gleiche Verfahren gewählt. Fachkräfte aus befreundeten Ländern, zum Beispiel aus der Sowjetunion, aus der Volksrepublik Polen und aus der Tschechoslowakischen Sozialistischen Republik, gaben unseren Technikern wertvolle Anregungen für die praktische Durchführung des technischen Verfahrens.

► **Nickelerze werden im VEB Nickelhütte St. Egidien nach dem Rennverfahren verarbeitet.**

Man mischt das Erz mit Koksgrus, Kalkstein und weiteren Zuschlägen. Das Gemisch wird in Drehrohröfen auf 1300 °C erhitzt. Es entstehen Metalloxide, die zu Nickel und Eisen reduziert werden. Kleinste Metallteilchen vereinigen sich zu **Luppen**, die von der aus Gangart und Zuschlägen gebildeten teigigen Schlacke umgeben sind. Die Schlacke wird durch plötzliches Abkühlen und anschließendes Mahlen zerkleinert. Die freigelegten Luppen werden aus dem Gemenge magnetisch entfernt.

Die Luppen sind ein schweres metallgraues, körniges bis stückiges Produkt, das neben anderen Bestandteilen 5 bis 8% Nickel und 80 bis 90% Eisen enthält. Diese Luppen werden teilweise zur Herstellung einiger Spezialstähle eingesetzt. Die größere Menge wird nach Oxydation im Wirbelschichtröstofen zu höherprozentigem **Ferronickel** verarbeitet. Es enthält 20 bis 60% Nickel und ist ein Ausgangsstoff für die Herstellung hochlegierter Nickelstähle.

Im VEB Nickelhütte St. Egidien wurde auch ein Verfahren entwickelt, um reines Nickel herzustellen. Man versetzt das nach der Oxydation der Luppen im Wirbelschichtröstofen anfallende Produkt mit Ammoniumcarbonatlösung. Dabei entsteht eine Nickelkomplexverbindung, die zu Nickelkarbonat gespalten wird. Aus der Lösung erhält man auf elektrolytischem Wege reines Nickel. Kupfer, Blei, Zink und andere Verunreinigungen werden aus dem Elektrolyten als Schwefelverbindungen entfernt.

Die geologischen Erkundungsarbeiten zum Auffinden von Nickelvorräten verlaufen auf dem Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik erfolgreich. Der VEB Nickelhütte St. Egidien wird während eines langen Zeitraumes in der Lage sein, unsere Industrie mit dem für die technische und wirtschaftliche Entwicklung in unserer Republik so wichtigem Metall unabhängig vom kapitalistischen Ausland zu versorgen. Der Betrieb leistet somit einen wesentlichen Beitrag, unsere materiell-technische Basis zu festigen und zu entwickeln.

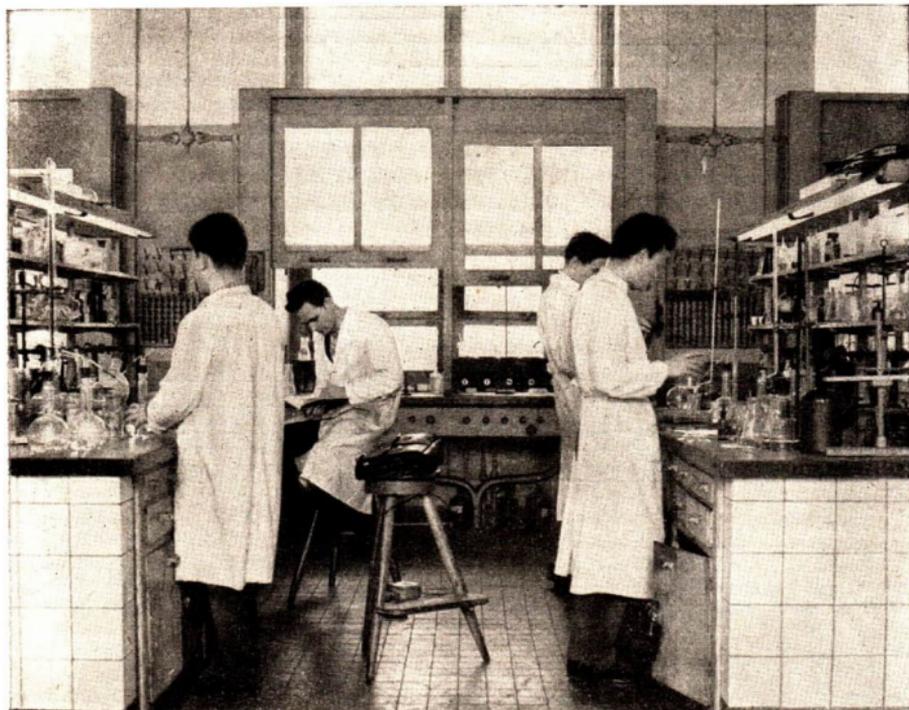
Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Geben Sie einen Überblick über den Schalenbau der Nebengruppenelemente und deren Einordnung in das Periodensystem der Elemente!
2. Stellen Sie die maximale stöchiometrische Wertigkeit der Haupt- und Nebengruppenelemente der 4. Periode grafisch dar! Auf der Abszisse sind die Kernladungszahlen, auf der Ordinate die maximalen stöchiometrischen Wertigkeiten einzutragen! Benutzen Sie dazu die Tabelle 3 (Seite 13)! Eisen und Kobalt treten maximal stöchiometrisch dreiwertig, Nickel tritt stöchiometrisch zweiwertig auf.

3. Leiten Sie aus der Stellung im Periodensystem die Formeln für Ammoniummolybdat und Kalziumwolframat ab!
4. Erläutern Sie die Begriffe Standardpotential und Spannungsreihe!
5. Welche Potentialdifferenz wäre für folgende galvanischen Elemente zu erwarten?
 Aluminium/Kupfer
 Lithium/Silber
6. Warum ist es unzweckmäßig, Löcher in Eisentöpfen mit Aluminiumflicken auszubessern?
7. Werkstücke aus Stahl reißt man bei der Metallbearbeitung mit Stahlnadeln an, nachdem vorher Kupfersulfatlösung aufgetragen wurde. Begründen Sie das!
8. Untersuchen Sie Maschinen, mit denen Sie in der beruflichen Ausbildung arbeiten, auf die Verwendung verschiedener Metalle! Geben Sie an, durch welche Maßnahmen die Ausbildung von Lokalelementen verhindert wird!
9. Geben Sie einen Überblick über die Herstellung von Kupfer nach dem trockenen Verfahren!
10. Eine Kupferelektrolysezelle ist bei einer Spannung von 0,3 V mit 8000 A belastet. Sie läuft 20 Tage. Berechnen Sie die Menge des in dieser Zeit theoretisch abgeschiedenen Kupfers! Wie groß ist die Kupfermenge, wenn die Stromausbeute 90% beträgt?
 Errechnen Sie die Stromkosten, die bei der Raffination von 1 kg Kupfer entstehen würden, wenn 1 kWh Strom 0,03 MDN kostet.
11. Stellen Sie die Zunahme des Kupfergehalts bei den einzelnen Teilschritten des trockenen Verfahrens grafisch in Säulendiagrammen dar!
12. Geben Sie einen Überblick über den fotografischen Prozeß! Begründen Sie die einzelnen Teilschritte!
13. Ein Liter Fixierbad ist ausgenutzt, wenn etwa 15 Kleinbildfilme fixiert wurden. Das Bad enthält dann rund 5 g Silber. Wieviel Silberbromid wurde gelöst? Berechnen Sie die Menge Natriumthiosulfat, die zum Auflösen des Silberbromids verbraucht wurde! (Wir nehmen an, daß beim Fixieren nur der Komplex $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ entsteht!) Berechnen Sie ferner, zu wieviel Prozent das Fixiersalz des unverbrauchten Fixierbades ausgenutzt wurde! Beachten Sie dabei die für den Ansatz von Fixierbädern zu befolgenden Hinweise!
14. Berechnen Sie den theoretischen Zinkgehalt von einer Tonne Zinkblende ZnS !
15. Im Laufe des Chemieunterrichts lernten Sie die Herstellung folgender Metalle kennen: Eisen, Aluminium, Natrium, Kupfer, Zink und Nickel. Vergleichen Sie die Prozesse zur Metallherstellung, und ordnen Sie diese nach den durchzuführenden Reaktionen!

Historische Entwicklung einiger chemischer Begriffe

An zahlreichen chemischen Instituten, an Fachschulen und an anderen Bildungseinrichtungen erwerben die Jugendlichen unserer Republik chemische Kenntnisse. In den meisten Berufen können heute die Aufgaben nur dann voll erfüllt werden, wenn die Menschen über bestimmte chemische Kenntnisse verfügen. Die Chemie durchdringt alle Wirtschaftszweige, und sie ist bei uns für die Entwicklung der nationalen Volkswirtschaft besonders wichtig. Bis heute sind viele Naturforscher, Physiker und Chemiker, die entsprechend der Entwicklung der Produktivkräfte handelten, immer tiefer in den Gegenstand der Chemie eingedrungen. Sie entdeckten dabei chemische Gesetzmäßigkeiten und entwickelten zahlreiche chemische Begriffe von großer praktischer Bedeutung. Im folgenden Kapitel beschäftigen wir uns mit der historischen Entwicklung einiger grundlegender chemischer Begriffe.



Entwicklung des Atom- und Elementbegriffs

1. Vorstellungen altgriechischer Naturphilosophen. Die Ausbeutung der Sklaven in der Sklavenhalterordnung war eine wesentliche Voraussetzung dafür, daß sich altgriechische Naturphilosophen mit Erscheinungen und Vorgängen in der Natur beschäftigen konnten. Die altgriechischen Naturphilosophen betrachteten die Natur als ein Ganzes. Dabei spielten auch spekulative Überlegungen eine Rolle. Die Ergebnisse konnten jedoch nicht experimentell überprüft werden, weil die Produktivkräfte und folglich die Erkenntnismöglichkeiten noch nicht weit genug entwickelt waren. Die Auffassung der herrschenden Klasse, körperliche Arbeit sei minderwertig, wirkte außerdem hemmend.

Unter diesen Verhältnissen entwickelten altgriechische Philosophen erste Vorstellungen über Elemente und Atome.

a) Elementbegriff. In der materialistischen altgriechischen Philosophie wird der Begriff Element nicht zur Charakteristik einer Gruppe von Stoffen angewendet, sondern er bezieht sich auf einen oder mehrere sogenannte Urstoffe oder auf einige sinnlich wahrnehmbare Eigenschaften der Stoffe.

Der materialistische griechische Philosoph THALES VON MILET, der im 6. Jahrhundert v. u. Z. lebte, ging bei seinen Überlegungen über einen Urstoff offenbar von der Wahrnehmung aus, daß zum Beispiel Samen und Nahrung feucht sind. Er sah das Feuchte als das Bildsamer, Lebendige und Lebengebende an und bezeichnete, ohne einen Schöpfer in seine Lehre einzubeziehen, Wasser als den Urstoff, aus dem alle anderen Stoffe entstehen und in den sie sich wieder verwandeln. Später entstand im alten Griechenland die Lehre von den vier „Elementen“, als die Wasser, Luft, Feuer und Erde angenommen wurden. ARISTOTELES (384 bis 422 v. u. Z.) nahm später diese Lehre auf und brachte sie besonders mit den Eigenschaften der Stoffe in Verbindung. Danach stellte das Wasser die Eigenschaften kalt und feucht dar, die Luft die Eigenschaften feucht und warm usw. Aus der Mischung dieser „Elemente“ sollten sich nach dieser Lehre die Eigenschaften der verschiedenen Körper ergeben.

Damit wurden in einfachster, abstrakter Form der Zusammenhang und die Entwicklung der Stoffe ausgedrückt. ARISTOTELES nahm neben diesen vier „Elementen“ als fünftes „Element“ den sogenannten göttlichen Äther an.

b) Atombegriff. Während die Lehre von den vier Elementen entstand, entwickelten andere griechische Philosophen die Vorstellung, daß alle Körper aus Atomen bestehen. Der bekannteste Vertreter dieser Richtung war DEMOKRIT VON ABDERA, der im 5. Jahrhundert v. u. Z. lebte. Nach der Lehre DEMOKRITS sind die Atome winzige, nicht wahrnehmbare und unteilbare Körper in verschiedenen Größen und Formen. Sie sind unveränderlich und bestehen schon von Ewigkeit in der gleichen Form. Den Atomen wurden keine qualitativen Eigenschaften wie Geruch, Geschmack, Farbe usw. zugeschrieben. Diese Atomlehre erklärte die Erscheinungen und Vorgänge in der Natur durch die Bewegung der Atome; sie verbinden sich miteinander oder trennen sich voneinander. Dabei entstehen die Körper und deren Eigenschaften. Die Atomlehre altgriechischer Philosophen wurde zur Zeit der Alchimie nicht beachtet, denn die, auch für die damalige Zeit noch fortschrittliche, altgriechische Atomlehre enthielt grundsätzliche Gedanken, die den Anschauungen der Kirche widersprachen. Dazu gehören die Anerkennung der Materialität der Welt, die damit verbundene Erklärung der Naturerscheinungen ohne Hilfe eines Schöpfers sowie die Ansicht

DEMOKRITS, daß auch die Seele stofflicher Natur und daher ebenfalls sterblich sei.

2. Atom- und Elementbegriff BOYLES. Im 17. Jahrhundert waren die Produktivkräfte und die Produktionsverhältnisse so weit entwickelt, daß die Naturwissenschaften auf experimentellem Wege Gesetzmäßigkeiten auffinden konnten. Dabei ging man, im Unterschied zu den griechischen Naturphilosophen, dazu über, Einzelercheinungen der Natur zu untersuchen, wodurch die Bildung selbständiger Wissenschaften gefördert wurde. Voraussetzungen dafür waren auch die Arbeiten auf dem Gebiete der Naturwissenschaften in den früheren Jahrhunderten.



Abb. 39 ROBERT BOYLE (1627 bis 1691) gilt als Begründer der wissenschaftlichen Chemie.

- *Berichten Sie über den Entwicklungsstand der Produktivkräfte und der Produktionsverhältnisse in England in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts!*

In dieser gesellschaftlichen Situation entwickelte der englische Chemiker und Physiker ROBERT BOYLE (Abb. 39) einen neuen Elementbegriff. Sein Inhalt spiegelt die damals bei Experimenten gesammelte Erfahrung wider, daß es für die Zerlegung der Stoffe eine Grenze gibt. Nach BOYLE sind chemische Elemente die einfachsten Stoffe, die nicht in andere zerlegt werden können.

- *Welcher grundlegende Unterschied besteht zwischen dem Elementbegriff BOYLES und dem altgriechischer Philosophen? Welche Ursachen kommen Ihrer Ansicht nach dafür in Frage?*

BOYLE wandte auf seinen Elementbegriff auch den Atombegriff an, wobei allerdings ein Widerspruch zum experimentell begründeten Elementbegriff entstand. Er dachte sich die in ihren Eigenschaften unterschiedlichen Stoffe aus kleinsten, qualitätslosen Teilchen eines Urstoffes, als den er Wasser ansah, zusammengesetzt. Die Unterschiede zwischen den Stoffen erklärte er durch die unterschiedliche mechanische Bewegung und Verbindung dieser Teilchen.

3. Lomonossows Atomhypothese. Der Widerspruch, der zwischen dem Element- und Atombegriff bei BOYLE auftrat, wurde in theoretischen Überlegungen vermieden, die der russische Wissenschaftler MICHAEL WASSILIEWITSCH LOMONOSSOW später durchführte. LOMONOSSOW vertrat die fortschrittliche Auffassung, daß das auf Ergebnissen praktischer Untersuchungen fußende theoretische Denken für die Erkennbarkeit der Welt sehr bedeutend ist. Er untersuchte den Verbrennungsvorgang und fand, daß die Verbrennungsprodukte schwerer als die unverbrannten Stoffe sind. Diese Tatsache führte er auf die Verbindung der kleinsten Teilchen des brennenden Stoffes mit den kleinsten Teilchen der Luft während der Verbrennung zurück. Auf derartigen experimentellen Beweisgründen aufbauend, entwickelte LOMONOSSOW die Hypothese

von der atomar-molekularen Struktur der Stoffe. Danach sind die Atome, die er den Elementen gleichsetzte, qualitativ verschieden. Sie vereinigen sich zu Molekülen, die sich nach Art der Elemente, aus denen sie zusammengesetzt sind, unterscheiden. Da sich zu LOMONOSSOWS Zeit in der Chemie die quantitative Analyse von Stoffen erst zu entwickeln begann, konnte damals diese Atomhypothese nicht bestätigt werden.

Nachdem LOMONOSSOW das Gesetz von der Erhaltung der Masse bei chemischen Vorgängen entdeckt hatte, konnte der Begriff des chemischen Elements klarer gefaßt werden: Elemente sind Stoffe, deren Masse bei chemischen Reaktionen niemals abnimmt, sondern stets zunimmt.

4. DALTONS Atomtheorie. Bei der weiteren Entwicklung der Atomtheorie war die Produktionspraxis die treibende Kraft. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden in der Industrie verstärkt chemische Vorgänge großtechnisch durchgeführt. Beispiele dafür sind die Herstellung von Soda auf der Grundlage von Natriumchlorid, Schwefelsäure, Kohle und Kalkstein und die Herstellung von Schwefelsäure nach dem Bleikammerverfahren. Es entstand damit das Bedürfnis, die quantitative und qualitative Zusammensetzung von Stoffen in Formeln anzugeben und Stoffumsetzungen quantitativ zu berechnen. Die DALTONSche Atomtheorie diente im Zusammenhang mit quantitativen Untersuchungen der Lösung dieser Aufgabe.

- *Welchen Inhalt hat die DALTONSche Atomtheorie? Welche Gesetzmäßigkeiten können mit Hilfe dieser Theorie erklärt werden?*

Der englische Physiker und Chemiker JOHN DALTON (Abb. 40) entwickelte seine Atomhypothese ausgehend von den bereits bekannten Grundannahmen über die Atome. Sein Verdienst um die Entwicklung der Atomtheorie bestand vor allem darin, daß er den Atomen eine bestimmte Masse zuschrieb, die er als „Atomgewicht“ zu ermitteln versuchte. DALTON legte in seiner Hypothese die Zusammenhänge zwischen Atomen und Elementen dar. Danach sind die Atome die kleinsten, unteilbaren Teilchen eines chemischen Elements. Ein und dasselbe Element besteht aus einer charakteristischen Art von Atomen, die gleiche Masse haben.

DALTON leitete aus seiner Atomhypothese das Gesetz der multiplen Proportionen ab, nach dem die Mengen eines Elementes, die sich in verschiedenen Verbindungen mit der gleichen Menge eines anderen Elementes vereinigen, im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen stehen.

- *Vergleichen Sie das Gesetz der multiplen Proportionen mit dem Gesetz der konstanten Proportionen! Führen Sie Beispiele an!*

Diese theoretische Aussage wurde später durch quantitative Untersuchungen experimentell be-



Abb. 40 JOHN DALTON (1766 bis 1844) machte sich um die Entwicklung der Atomtheorie verdient.

stätigt. Mit Hilfe der DALTONSchen Atomhypothese ließen sich die stöchiometrischen Gesetze in einfacher Weise erklären. Sie hatte für die Forschung und die Produktionspraxis Bedeutung und wurde dadurch zu einer gesicherten Theorie. Das theoretische Denken wurde nun von den Naturforschern im 19. Jahrhundert als ein wesentliches Mittel, zu Erkenntnissen zu gelangen, zunehmend angewendet. Seit dem 19. Jahrhundert wird der Begriff des Elements immer enger mit der Atom-Molekular-Lehre verbunden. Nach der Atomtheorie von DALTON sind die Elemente voneinander unabhängig, unveränderlich und nicht ineinander umwandelbar. Dieser Elementbegriff ist mit der Ansicht von der absoluten Unveränderlichkeit der Natur behaftet. In der Chemie ging man später dazu über, die bisher unabhängig voneinander betrachteten Elemente zu systematisieren. Dabei entdeckte der große russische Chemiker DMITRI IWANOWITSCH MENDELEJEW (1834 bis 1907) das Gesetz der Periodizität. Danach traf das Merkmal eines Elements, unabhängig von anderen Elementen zu existieren, nicht mehr zu.

- *Weisen Sie mit Hilfe des Periodensystems der Elemente nach, daß zwischen den Elementen Zusammenhänge bestehen!*

Nach anderen Untersuchungen und Entdeckungen wurden noch weitere Merkmale des DALTONSchen Elementbegriffs als unzutreffend erkannt, und es entwickelte sich ein neuer Elementbegriff, der mit dem Atombegriff verbunden ist.

- *Schätzen Sie die DALTONSche Atomtheorie auf Grund Ihrer Kenntnisse vom Bau der Stoffe ein!*

5. Das Atommodell von RUTHERFORD und BOHR. Der Kapitalismus entwickelte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts besonders stürmisch und erreichte um die Wende des 19. zum 20. Jahrhundert sein höchstes Stadium, den Imperialismus. Während dieses Zeitabschnittes waren die Voraussetzungen für die Entwicklung der Naturwissenschaften günstiger als zuvor. Bei Experimenten und Überlegungen hatten sich für die Naturwissenschaftler viele neue Probleme ergeben, die zu bearbeiten waren und die zu Widersprüchen mit bisher allgemein anerkannten Vorstellungen führten. Es waren Forschungsergebnisse auf physikalischem Gebiete, die am Ende des 19. Jahrhunderts und zu Beginn des 20. Jahrhunderts zur inhaltlichen Veränderung des bis dahin allgemein anerkannten Atom- und Elementbegriffs führten, und die Existenz von Atomen bewiesen.

Bevor erkannt wurde, daß die Atome aus kleineren Teilchen bestehen, gab es bereits entsprechende Hypothesen, die jedoch infolge des Standes der Physik noch nicht begründet werden konnten. So hatte der englische Arzt und Chemiker WILLIAM PROUT die Hypothese aufgestellt, daß sämtliche Atome aus den gleichen einfachen Bausteinen bestehen, nämlich aus Wasserstoffatomen. Mit dieser Annahme versuchte er, den Bau der Stoffe einheitlich zu erklären.

Eine andere ähnliche, aber weitergehende Auffassung vertrat der russische Gelehrte ALEXANDER MICHAJLOWITSCH BUTLEROW im Jahre 1886. Er war der Meinung, daß die Atome den Forschern nur wegen der üblichen Arbeitsmethoden unteilbar erscheinen und die Teilung von Atomen durch neu zu entwickelnde Verfahren möglich sein wird.

Im Zusammenhang mit mehreren physikalischen Entdeckungen wurde der Atombau erforscht. 1885 bis 1887 entstand die Theorie der elektrolytischen Dissoziation, an deren Ausarbeitung der schwedische Chemiker SVANTE ARRHENIUS großen Anteil hatte. Es wurde erkannt, daß außer den Atomen kleine, elektrisch geladene Teilchen, die Ionen, existieren. Damit wurde die Frage nach elektrischen Kräften im Atom aufgeworfen.

Die Emission von Elektronen aus Metallen führte zu dem Schluß, daß Elektronen Bausteine der Atome sind. Aus dem Durchgang von Elektronen durch dünne Aluminiumfolien mußte geschlossen werden, daß die Atome nicht gleichmäßig von Masse erfüllt sein können. Mit der Entdeckung der Radioaktivität, deren Wesen im selbsttätigen Zerfall von Atomen besteht, mußte die veraltete Auffassung von der Unteilbarkeit der Atome endgültig aufgegeben werden. Viele Wissenschaftler beschäftigten sich von da an intensiv mit der Erforschung des Atombaues.

Die ersten Erkenntnisschritte, die zu genaueren Vorstellungen über den Bau der Atome führten, waren die Entdeckung des Atomkerns durch den englischen Physiker ERNEST RUTHERFORD und die Erklärung der Anordnung und Bewegung der Elektronen in der Atomhülle aus den Atomspektren durch den dänischen Physiker NIELS BOHR. Das von RUTHERFORD entworfene Atommodell wurde von BOHR ergänzt und vervollkommenet.

- *Erläutern Sie im Prinzip, wie RUTHERFORD den Atomkern entdeckte! Beschreiben Sie den Bau eines Atoms, wie er sich aus dem RUTHERFORD-BOHRschen Atommodell für Kupfer ergibt!*

Der im RUTHERFORD-BOHRschen Atommodell veranschaulichte Atombegriff wirkte sich auch auf die Chemie aus. Wenn bisher das Atomgewicht unter dem Einfluß der mechanischen Betrachtungsweise der Natur als Begründung für die Eigenschaften eines Elementes angesehen wurde, so trat jetzt an seine Stelle vor allem der Bau der Elektronenhülle.

- *Erklären Sie an Hand von Beispielen, daß zwischen dem chemischen Verhalten von Elementen und dem Bau der Elektronenhülle Zusammenhänge bestehen!*

Nachdem die Isotopie entdeckt war und zwischen „Reinelementen“ und „Mischelementen“ unterschieden wurde (FRANCIS WILLIAM ASTON, 1919), mußte die These der DALTONSchen Atomtheorie, nach der alle Atome eines Elementes identisch seien, aufgegeben werden. Als bestimmendes Merkmal für ein Element erwies sich die Kernladungszahl, die als Ordnungszahl dem einzelnen Element seinen Platz im Periodensystem zuweist. Als chemische Elemente wurden nun solche Stoffe angesehen, deren Atome die gleiche Kernladungszahl und den gleichen Bau der Elektronenhülle besitzen und die folglich die gleiche Stelle im Periodensystem einnehmen.

Zu den Merkmalen des BOYLESchen wie auch des DALTONSchen und des MENDELEJEWSchen Elementbegriffs gehörte, daß Grundstoffe nicht ineinander umgewandelt werden können. Im Jahre 1919 gelang es aber RUTHERFORD, Stickstoff durch Bestrahlen mit α -Teilchen (Heliumkernen) in Sauerstoff zu verwandeln. Damit mußte die These von der Unveränderlichkeit der Elemente aufgegeben werden. Weitere Klarheit über den Elementbegriff wurde durch die Erforschung des Baus der Atomkerne im zweiten Viertel des 20. Jahrhunderts gewonnen.

Im Jahre 1932 entdeckte der englische Physiker JAMES CHADWICK das Neutron als Bestandteil des Atomkerns, und der sowjetische Physiker DMITRI DMITRIJEWITSCH IWANENKO sowie der deutsche Physiker WERNER HEISENBERG arbeiteten noch im gleichen Jahre unabhängig voneinander die Theorie aus, daß sich die Atomkerne aus Protonen und Neutronen zusammensetzen. Die chemischen Elemente konnten nun als Stoffe gekennzeichnet werden, die aus einer oder mehreren Atomarten mit gleicher Protonenzahl bestehen, die den gleichen Bau der Elektronenhülle besitzen und die auf den gleichen Platz im Periodensystem einzuordnen sind.

6. Ausblick auf das wellenmechanische Atommodell. Mit Hilfe des RUTHERFORD-BOHRschen Atommodells können Erscheinungen wie die Ionenbildung und die Ionenbeziehung (Ionenbindung) gut erklärt werden. Das Modell reicht aber nicht aus, zum Beispiel die Atombindung befriedigend zu deuten oder die Besonderheiten der Einzelbindungen in Molekülen mit Doppel- beziehungsweise Dreifachbindung aufzuklären. Das wellenmechanische Atommodell ist dafür besser geeignet. Es wurde auf der Grundlage der Quanten- oder Wellenmechanik entwickelt, die der Physiker MAX PLANCK in einfacher Form um 1900 darlegte und die in den Jahren 1924 bis 1927 von mehreren Forschern weiter ausgearbeitet wurde. Dieses Atommodell beruht anschaulich auf der Vorstellung des räumlich ausgedehnten Elektrons. Der Raum, den ein Elektron in der Elektronenhülle einnimmt, wird entweder als Elektronenwolke (Ladungswolke) oder als Aufenthaltsraum des Elektrons gedeutet. Im einfachsten Falle, beim Wasserstoffatom, ist die Elektronenwolke kugelförmig. Vereinigen sich zwei Wasserstoffatome zu einem Molekül H_2 , so „überlappen“ ihre Elektronenwolken.

Mit der Ausarbeitung des wellenmechanischen Atommodells sind die Forschungen um den Atombau keineswegs abgeschlossen; denn als Ergebnis einer neuen Erkenntnis werden die Wissenschaftler stets vor weitere, kompliziertere Aufgaben gestellt. Daher entwickelt sich auch die Atomforschung ständig weiter. Besonders günstige Voraussetzungen dafür bietet die sozialistische Gesellschaftsordnung, in der sich die Wissenschaft frei von den hemmend wirkenden kapitalistischen Profitinteressen entwickelt. Im Vereinigten Kernforschungsinstitut Dubna betreiben Wissenschaftler aller sozialistischer Staaten erfolgreich Atomforschung.

7. Zusammenfassung. Der Begriff des chemischen Elementes hat sich in einem viele Jahrhunderte dauernden Entwicklungsprozeß verändert. Dabei wirkte das allgemeine dialektische Entwicklungsgesetz vom Umschlag quantitativer Veränderungen in qualitative.

● *Geben Sie den Inhalt dieses Gesetzes an!*

Quantitative Veränderungen, die zum DALTONSchen Elementbegriff führten, waren beispielsweise die Entwicklung der quantitativen Analyse und die Tatsache, daß das theoretische Denken die Erkenntnis fördert. Als im Zusammenhang mit der Entwicklung der industriellen Produktion das Tatsachenwissen und die allgemeine Einstellung zu wissenschaftlichen Untersuchungen und andere quantitative Faktoren den zu DALTONS Lebzeiten erreichten Stand besaßen, vollzog sich sprunghaft in relativ kurzer Zeit der Umschlag des BOYLESchen Elementbegriffs in den DALTONSchen.

● *Erläutern Sie auf ähnliche Weise die Entstehung weiterer Vorstellungen über Elemente und Atome!*

In diesem Entwicklungsprozeß wurden stets Widersprüche zwischen dem bisher bestehenden Atom- und Elementbegriff und dem inzwischen erreichten Wissensstand erkannt. Die Auseinandersetzungen der Wissenschaftler mit den jeweils erkannten Widersprüchen hatten zur Folge, daß sich Inhalt und Umfang dieser Begriffe veränderten und die Wirklichkeit genauer erfaßt wurde. Auch für die menschliche Erkenntnis gilt das dialektische Gesetz „Entwicklung ist ‚Kampf‘ der Gegensätze“ (W. I. LENIN: Aus dem philosophischen Nachlaß).

- *Erläutern Sie an Beispielen, daß sich der Atom- und Elementbegriff durch den „Kampf“ von Gegensätzen entwickelte*

Die Geschichte der Vorstellungen vom Atombau und des Elementbegriffs ist ein Beispiel dafür, daß die Welt erkennbar ist. Die großartigen Leistungen der Wissenschaftler auf dem Gebiet der Atomforschung und in anderen Bereichen zeigen, daß es für die Menschheit grundsätzlich nichts Unerkennbares gibt. Die einzelnen konkreten Formulierungen des Elementbegriffs und die Vorstellungen über Atome sind Entwicklungsstufen im Erwerben des vollständigen Wissens über Atome und Elemente. Aus der Geschichte des Atom- und Elementbegriffs folgt ferner, daß es keine von der Produktionspraxis und den Anschauungen der Gesellschaft losgelöste Wissenschaft gibt. Die jeweiligen Vorstellungen über Atome und Elemente entstanden zwangsläufig, nachdem die Entwicklung der Produktivkräfte und Produktionsverhältnisse einen bestimmten Stand erreicht hatte und damit ein gesellschaftliches Bedürfnis entstanden war. Über die Bedeutung von Bedürfnissen für die Entwicklung der Wissenschaft schrieb FRIEDRICH ENGELS eindrucksvoll: „Hat die Gesellschaft ein technisches Bedürfnis, so hilft das der Wissenschaft mehr voran als zehn Universitäten“ (F. ENGELS: Brief an STARKENBURG. Ausgewählte Schriften. Band II). Die große Bedeutung der Wissenschaftler, die an der Entwicklung der Theorie arbeiteten, besteht darin, entsprechend diesen gesellschaftlichen Bedürfnissen gehandelt zu haben. Die durch die Praxis hervorgebrachte und bestätigte Theorie wirkt durch die schöpferische Tätigkeit der Menschen auf die Praxis verändernd ein. Es entstand so eine Theorie vom Bau der Stoffe, die zwar noch nicht vollständig ausgebaut ist, die es aber grundsätzlich ermöglicht, aus dem Feinbau der Stoffe deren Eigenschaften vorauszusagen. Diese Theorie hilft der Forschung bei der Entwicklung neuer Stoffe mit Eigenschaften, die die Produktionspraxis verlangt.

- *Weisen Sie an anderen Beispielen nach, daß zwischen dem jeweiligen Atom- und Elementbegriff und der Praxis Wechselwirkungen bestehen!*

Die Geschichte des Atombegriffs und des Elementbegriffs hat sowohl für die Ausarbeitung des dialektischen Materialismus als auch für seine Anwendung in der Chemie große Bedeutung. W. I. LENIN äußerte sich in seinem im Jahre 1909 erschienenen Werk „Materialismus und Empiriokritizismus“ über die philosophische Bedeutung der Atomforschung und schrieb: „Die Zerstörbarkeit des Atoms, seine Unerschöpflichkeit, die Veränderlichkeit aller Formen der Materie und ihrer Bewegung bildeten immer die Stütze des dialektischen Materialismus“. Die Erkenntnis, daß sich die Stoffe aus Atomen, Ionen, Protonen, Neutronen und Elektronen aufbauen und daß diese Partikel unabhängig vom Bewußtsein des Menschen existieren, trägt wesentlich dazu bei, den Grundsatz vom Primat der Materie zu stützen.

Erforschung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten

1. Alchimie und Iatrochemie. Der Begründung der wissenschaftlichen Chemie in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts gingen die Entwicklungsperioden der Alchimie (4. bis Anfang des 16. Jahrhunderts) und der Iatrochemie (16. und 17. Jahrhundert) voraus.

Das zentrale Problem der Alchimie war die Erzeugung von Gold aus unedlen Metallen beziehungsweise die Herstellung des sogenannten „Steins der Weisen“, mit dessen Hilfe man angeblich Gold erhalten, langes Leben erwirken und viele weitere Wünsche erfüllen könnte.

Im Rahmen der feudalistischen Gesellschaftsordnung wandte sich die Alchimie auch praktischen Aufgaben zu. In den arabischen Ländern zum Beispiel standen im 8. Jahrhundert Handel und Handwerk auf einer hohen Stufe. Damals waren die Reinigung von Metallen, die Herstellung von Farben und Lacken und andere praxisbetonte Bedürfnisse zu erfüllen. Die arabischen Alchimisten entdeckten bei ihren Untersuchungen Stoffe wie die Salpetersäure, das Kaliumkarbonat (Pottasche) und das Silbernitrat. Sie führten wichtige Arbeitsverfahren (Filtern, Destillieren, Umkristallisieren u. a.) ein.

Im mittelalterlichen Europa stockte die Entwicklung der Produktivkräfte, und ihr Stand reichte nicht aus, die wachsenden materiellen Bedürfnisse der Feudalherren zu befriedigen. Daher waren in dieser Zeit die gesellschaftlichen Verhältnisse besonders gut dazu geeignet, daß sich die Alchimie mit der einseitigen und spekulativen Zielsetzung, Edelmetalle herzustellen, breit entfalten konnte (Abb. 41). Die ideologische Stütze der Feudalordnung waren die von der Kirche propagierten idealistischen Auffassungen, die auch den religiösen Dogmen entsprechende Gedanken aus der altgriechischen Philosophie enthielten (vgl. S. 60). Unter diesen ideologischen, wissenschaftsfeindlichen Verhältnissen verband sich die experimentelle Methode der Alchimie verstärkt mit religiösen und mystischen Vorstellungen, die auf die weitere Entwicklung der Chemie hemmend wirkten. Demgegenüber wurde durch die Alchimie — ebenso durch die Iatrochemie — reiches Tatsachenmaterial angesammelt, das für die Entwicklung der Chemie eine wichtige Grundlage war.

Die Vertreter der **Iatrochemie** beschäftigen sich vorzugsweise mit der Herstellung von Heilmitteln. Der Arzt **PARACELSUS** (Abb. 42) stellte als Erster die Aufgabe, die chemische Forschung in den Dienst der Medizin zu stellen. Diese praxisbezogene Zielsetzung entsprach den Bedürfnissen aller Menschen. Wenn



Abb. 41 Alchimistenlabor
(Holzschnitt um 1520)

auch in der Iatrochemie der Mystizismus noch immer eine Rolle spielte, so mußten sich doch die Anhänger dieser Richtung um wissenschaftliche Arbeitsmethoden bemühen. Somit bereitete die Iatrochemie verstärkt die Erforschung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten der Chemie vor.

2. Die Phlogistonlehre und ihre Widerlegung. Die Arbeiten ROBERT BOYLES (vgl. S. 61) leiteten in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts zur wissenschaftlichen Chemie über. Als eine der ersten Aufgaben beschäftigte sich die Chemie im 18. Jahrhundert mit der Untersuchung des Verbrennungsvorganges. Anlaß dazu war die Bedeutung dieses Vorganges für die Metallurgie und viele weitere Gebiete. Der deutsche Chemiker und Mediziner GEORG ERNST STAHL (Abb. 43) erklärte die Verbrennungsvorgänge mit Hilfe der Phlogistonlehre. Er führte Experimente aus und verwertete die unzulänglichen Vorstellungen griechischer Philosophen über die Elemente. So entstand eine Hypothese, nach der beim Verbrennen eines Stoffes ein unsichtbarer, unwägbarer Bestandteil entweiche, den STAHL „Phlogiston“ nannte. Dieses Phlogiston ist, nach der Lehre STAHLs, auch in der Kohle enthalten und geht bei der Verhüttung der Eisenerze auf die Eisenoxide über, wodurch Eisen entsteht. Davon ausgehend wurde den Metallurgen geraten, reichlich Holzkohle zu verwenden, damit die Ausbeute an Metallen gesteigert wird. Da sich die Phlogistonlehre somit an Vorgängen, die damals erst ungenügend wissenschaftlich erforscht waren, bewährte, und sie erstmalig eine große Anzahl chemischer



Abb. 43 GEORG ERNST STAHL (1660 bis 1734) begründete die Phlogistonlehre.

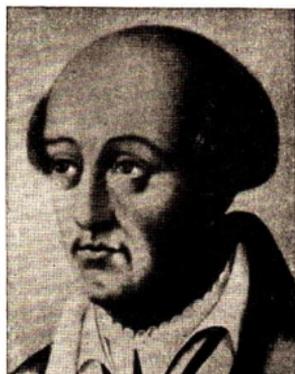


Abb. 42 THEOPHRASTUS BOMBASTUS VON HOHENHEIM, genannt PARACELsus (1493 bis 1541)

Vorgänge zu erklären versuchte, konnte sie die Chemie im 18. Jahrhundert beherrschen. Aus diesen Gründen erwies sich die Phlogistonlehre als außerordentlich zählebzig, selbst zu einer Zeit, als bereits der Sauerstoff entdeckt war und es in zahlreichen Experimenten nicht gelungen war, das hypothetische Phlogiston darzustellen. So entdeckte zum Beispiel KARL WILHELM SCHEELLE (1742 bis 1786) bei der Suche nach dem Phlogiston den Sauerstoff, verband jedoch seine Entdeckung mit der Phlogistontheorie, der er bereits die Grundlage entzogen hatte. Dieses Beispiel zeigt, daß der Erkenntnisprozeß widerspruchsvoll und nicht geradlinig verläuft, und wie wichtig es ist, die Theorie im Zusammenhang mit neuen praktischen Erkenntnissen vorurteilsfrei zu überprüfen und zu verändern.

Der französische Chemiker ANTOINE LAURENT LAVOISIER (Abb. 44) untersuchte den Verbrennungsvorgang quantitativ und widerlegte die Phlogistonlehre auf der Grundlage meßbarer Ergebnisse. Er

entdeckte, wie FRIEDRICH ENGELS sagte, in dem Sauerstoff „den reellen Gegenpol des phantastischen Phlogistons“ und warf „damit die ganze phlogistische Theorie über den Haufen“. LAVOISIERS Erklärung der Verbrennungserscheinungen als Vermit dem Sauerstoff der Luft wirkte im Zeitalter der einigung des brennenden Stoffes



Abb. 44 ANTOINE LAURENT LAVOISIER (1743 bis 1794) erklärte den Verbrennungsvorgang als Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff.



Abb. 45 MICHAÏL WASSILIEWITSCH LOMONOSSOW (1711 bis 1765) entdeckte das Gesetz von der Erhaltung der Masse.

Phlogistonlehre revolutionär. Seine Theorie des Verbrennungsvorganges setzte sich im „Kampf“ gegen die Phlogistonlehre durch. In dem dabei entfachten Meinungsstreit stellten die Anhänger dieser durch die Praxis widerlegten Lehre zum Beispiel die Tatsache der Massezunahme bei der Verbrennung entweder als bedeutungslos hin, oder sie schrieben dem Phlogiston „negatives Gewicht“ zu. Aus diesen Auseinandersetzungen gingen die Vertreter der Anschauungen LAVOISIERS, deren Anzahl zunahm, als Sieger hervor, weil ihre Theorie die Wirklichkeit richtig widerspiegelte.

3. Gesetz von der Erhaltung der Masse. MICHAÏL WASSILIEWITSCH LOMONOSSOW (Abb. 45) benutzte bei seinen Untersuchungen über den Verbrennungsvorgang die Waage. Er bereitete damit die Widerlegung der Phlogistonlehre vor, obwohl er sie selbst weitgehend benutzte.

Ausgehend von den Ergebnissen zahlreicher Experimente, entdeckte er 1748 das **Gesetz von der Erhaltung der Masse** bei chemischen Reaktionen. Dieses Gesetz wurde in den Jahren 1773 bis 1774, unabhängig von LOMONOSSOW, auch von LAVOISIER abgeleitet.

● *Formulieren Sie das Gesetz von der Erhaltung der Masse! Wie kann man das Gesetz von der Erhaltung der Masse ableiten?*

Erklären Sie an Hand eines Beispiels, daß die quantitative Aussage chemischer Gleichungen dem Gesetz von der Erhaltung der Masse entspricht!

Worin besteht das Wesen chemischer Reaktionen?

LOMONOSSOW betrachtete die Natur nicht als absolut unveränderlich, sondern er war daran beteiligt, den Entwicklungsgedanken in die Naturwissenschaft einzuführen. Diese fortschrittliche Einstellung gegenüber der Natur ergab sich bei LOMONOSSOW aus genaueren wissenschaftlichen Untersuchungen, gepaart mit gründlichem, auf allgemeine Zusammenhänge gerichtetem Denken. Daher faßte LOMONOSSOW das Gesetz von der Erhaltung der Masse nicht einseitig auf und sprach in seinen Werken von

dem **Gesetz von der Erhaltung der Materie¹ und der Bewegung**. Dieses allgemeine Naturgesetz gehört zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen für die Ausarbeitung des Grundgedankens des philosophischen Materialismus, nach dem alle Erscheinungen der Natur letztlich materiell sind, die Materie und ihre Daseinsweise, die Bewegung, selbst aber unerschaffbar und unzerstörbar sind. LOMONOSSOW vertrat die materialistische Auffassung von der Untrennbarkeit von Materie und Bewegung. LOMONOSSOW ließ in seinen Vorstellungen über die Einheit und Ewigkeit von Materie und Bewegung keinen Raum für einen Schöpfer. Er vermied bei seinen Überlegungen die von der Kirche inspirierte theologische Betrachtungsweise der Natur und forderte die Trennung von Wissenschaft und Religion. Seine große Entdeckung gelang ihm nicht zuletzt deshalb, weil er sich von den geistigen Fesseln der damals herrschenden Kirche befreit hatte. LOMONOSSOWS naturwissenschaftliche Arbeiten bereiteten die Entdeckungen von Gesetzen vor, die mit dem Gesetz von der Erhaltung der Materie und der Bewegung zusammenhängen. Als die Praxis der Industrieproduktion und die Technik des Experiments es möglich und notwendig gemacht hatten, konnten das Gesetz von der Erhaltung und Umwandlung der Energie und das Gesetz vom wechselseitigen Zusammenhang von Masse und Energie entdeckt werden.

4. Gesetz der konstanten Proportionen. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts beschäftigten sich die Chemiker mit der quantitativen Zusammensetzung der Stoffe.

- *Welche praktische Bedeutung hatten derartige Untersuchungen?*

Der französische Chemiker **JOSÉPHE-LOUIS PROUST** (1754 bis 1826) leitete aus quantitativen Experimenten das **Gesetz von den konstanten Proportionen** erstmalig ab.

- *Wie lautet das Gesetz von den konstanten Proportionen? Erklären Sie an Hand eines Beispiels, wie man dieses Gesetz ableiten kann!*

Es konnte mit Hilfe der **DALTONS**chen Atomtheorie erklärt werden.

- *Deuten Sie das Gesetz von der Erhaltung der Masse und das Gesetz der konstanten Proportionen auf der Grundlage der Atom-Molekular-Theorie!
Ordnen Sie die Entwicklung der Atom-Molekular-Theorie und die Entdeckung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten am Ende des 18. und am Anfang des 19. Jahrhunderts in die ökonomische Entwicklung dieser Zeit ein!*

5. Periodensystem der Elemente. Bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurden die chemischen Elemente isoliert voneinander betrachtet. Als genügend Tatsachenmaterial über Elemente und Verbindungen und die Atomtheorie **DALTONS** (vgl. S. 62) vorlagen, setzte sich in der Chemie die dialektische Betrachtungsweise durch. Ergebnisse davon sind die Entdeckung des **Gesetzes der Periodizität** durch **DMITRI IWANOWITSCH MENDELEJEW** (Abb. 46) und die Entwicklung des **Periodensystems**.

MENDELEJEW ordnete auf der Grundlage des Gesetzes der Periodizität die zu seiner Zeit bekannten chemischen Elemente in einer Tabelle, wobei er die Entdeckung weiterer Elemente voraussetzte. Unabhängig von **MENDELEJEW** hatte der deutsche Chemiker **LOTHAR MEYER** eine Tabelle der chemischen Elemente gefunden, die mit der Tafel des russischen Chemikers im wesentlichen übereinstimmte. Im Unterschied zu **MENDELEJEW**, der bei der Ordnung der Elemente auch ihre chemischen

¹ LOMONOSSOW setzte die Begriffe „Materie“ und „Stoff“ gleich.

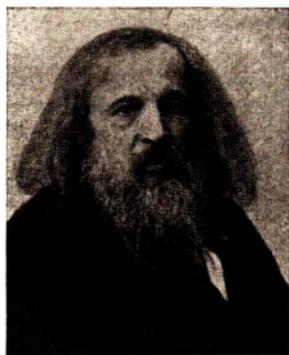


Abb. 46 DMITRI IWANOWITSCH MENDELEJEW (1834 bis 1907) entdeckte das Gesetz der Periodizität.

Eigenschaften berücksichtigte, stellte MEYER vor allem die physikalischen Daten in den Mittelpunkt seiner Überlegungen.

In der weiteren Entwicklung veränderten sich Umfang und Inhalt des Periodensystems der Elemente. Es wurden Elemente entdeckt, die die ursprünglich noch vorhandenen Lücken schlossen. Nachdem die Edelgase und die Transurane¹ entdeckt waren, mußte das System erweitert werden. Die Atomforschung wirkte sich auf die Grundlage für die periodische Anordnung der Elemente aus. Bis dahin war, infolge des Standes der Erkenntnis vom Bau der Stoffe, das Atomgewicht für die Anordnung der Elemente im Periodensystem maßgebend; nachdem der Zusammenhang mit dem Atombau bekannt war, wurde die Kernladungszahl (Ordnungszahl) die Grundlage für die Reihenfolge im Periodensystem. So wurde die bisherige Grundlage des Periodensystems der Elemente durch eine neue ersetzt, wobei Erscheinungen der alten Grundlage

(zum Beispiel Periodizität der Eigenschaften der Elemente) erhalten blieben. „Die Wiederholung gewisser Züge, Eigenschaften etc. des niederen Stadiums im höheren“ (W. I. LENIN: Aus dem philosophischen Nachlaß), ein Wesenszug der Dialektik, tritt also als allgemeine Gesetzmäßigkeit auch bei der Entwicklung des Periodensystems der Elemente auf. Mit der neuen Grundlage des Periodensystems war eine neue Stufe der Erkenntnis erreicht; die Menschen waren vom Äußerem der Erscheinungen tiefer in deren Wesen eingedrungen.

● *Was hat das Gesetz der Periodizität zum Inhalt?*

Beiden Grundlagen für die Anordnung der Elemente ist das allgemeine Gesetz des Zusammenhangs von Quantität und Qualität gemeinsam.

● *Erläutern Sie diese Aussage!*

Berichten Sie über das Periodensystem der Elemente unter folgenden Gesichtspunkten:

a) Historische Entwicklung, b) Aufbau, c) Gesetzmäßigkeiten, d) Zusammenhang mit dem RUTHERFORD-BOHRschen Atommodell!

Die Entwicklung des Periodensystems bestätigt, daß das im Erkenntnisprozeß erworbene Wissen zuverlässig ist. Die Tatsache, daß die Eigenschaften von neuentdeckten Elementen mit den Eigenschaften, die MENDELEJEW voraussagte, weitgehend übereinstimmen, zeigt anschaulich die Zuverlässigkeit unseres Wissens und die Bedeutung der wissenschaftlich begründeten Theorie für die Praxis. Dazu äußerte sich MENDELEJEW wie folgt: „Eine Theorie, die durch die Erfahrung nicht überprüft werden kann, verliert bei aller Schönheit der Konzeption an Gewicht und wird nicht anerkannt; eine Praxis, die sich nicht auf eine sorgfältig abgewogene Theorie stützt, erweist sich als nachteilig gegenüber einer Praxis, die sich auf die Theorie stützt.“

¹ Elemente, deren Ordnungszahlen größer sind als die Ordnungszahl des Urans.

Entwicklung des Säure-Base-Begriffes

1. Alchemistische Vorstellungen von Säuren und Basen. Die ersten Vorstellungen über Säuren und Basen gingen vor allem von Eigenschaften wäßriger Lösungen aus, die mit dem Geschmackssinn festgestellt werden können. Lösungen, die sauer schmecken, bezeichnete man als **Säuren**. Als charakteristisch für Säuren wurde ferner die Eigenschaft, bestimmte Metalle und Mineralien aufzulösen, herausgestellt. Die wichtigsten anorganischen Säuren waren etwa seit dem Jahre 1200 bekannt.

In diesen ersten Vorstellungen werden die **Basen** durch einen laugenartigen Geschmack gekennzeichnet. Die Araber wußten schon, daß bestimmte Karbonate (z. B. Pottasche, also Kaliumkarbonat) dem Wasser diesen Geschmack verleihen. Sie bezeichneten solche Salze mit dem Wort „al kalja“. Davon leiten sich „Alkali“ und „alkalisch“ ab. „Base“ bedeutet eigentlich Basis (Grundlage) eines Salzes. Wenn man ein Salz glüht, so gibt es meist sein Säureanhydrid ab, und die Base, genauer das Basenanhydrid, bleibt zurück.

2. BOYLES Säure- und Basebegriff. ROBERT BOYLE entdeckte, daß die Extrakte von Lackmus und Rotkohl sich bei Zusatz von Säuren röteten, dagegen durch Basen eine blaue beziehungsweise grüne Farbe annahmen. Diese Reaktionen zeigten ihm die Anwesenheit von Säuren und Basen an. Die bis zu dieser Entdeckung bekannte Anzahl sinnlich wahrnehmbarer allgemeiner Merkmale der Säure beziehungsweise der Base erweiterte BOYLE um die Wirkung dieser Stoffe auf Pflanzenfarbstoffe. Er faßte die Säuren und Basen als Stoffe von entgegengesetzter Wirkung auf.

Andere Chemiker des 17. Jahrhunderts hoben das Verhalten der Säuren und Basen, unter Salzbildung zu neutralisieren, als besonderes Kennzeichen hervor.

Im 17. Jahrhundert entwickelte sich die Mechanik besonders stürmisch. Man versuchte, ihre Gesetze auch auf andere Erscheinungen anzuwenden. So stammt von BOYLE die Annahme, daß die spitze Form der kleinsten Säureteilchen die Ursache für deren saure Eigenschaften (z. B. stechender Geruch) sei. Diese spekulativen, mechanistischen Vorstellungen wurden von anderen Chemikern auf die Basen ausgedehnt. Man nahm an, daß die kleinsten Baseteilchen Poren hätten. Bei der Neutralisation sollten die Spitzen der Säure in die Poren der Base eindringen. Mit dieser Vorstellung wurde zum ersten Male versucht, die Säuren und Basen auf der Grundlage des Baus der Stoffe zu definieren. Die Ansicht über den Feinbau der Säuren und Basen konnte jedoch damals experimentell nicht überprüft werden. Erst die neueren Erkenntnisse über die Struktur der Stoffe bewiesen, daß jene Vorstellung keineswegs der Wirklichkeit entspricht.

3. Säurebegriff LIEBIGS. Im 18. Jahrhundert suchte man unter dem Einfluß der Phlogistonlehre nach einem Stoff, der allen Säuren zugrunde liegen sollte. Ansätze dazu traten bereits im 17. Jahrhundert auf. Es wurde zum Beispiel angenommen, daß jede Säure je nach ihrer Stärke mehr oder weniger von einer „Ursäure“ enthalten sollte. Derartige Vorstellungen verbinden die Definition einer Säure mit den Stoffen, aus denen sie sich zusammensetzt. LAVOISIER entwickelte seinen Säurebegriff ebenfalls von dieser Seite her, indem er die bald allgemein vertretene Ansicht darlegte, nach der jede Säure Sauerstoff enthalte und Sauerstoff der Säurestoff sei. Dieser Theorie widersprachen zu Beginn des 19. Jahrhunderts experimentelle Ergeb-

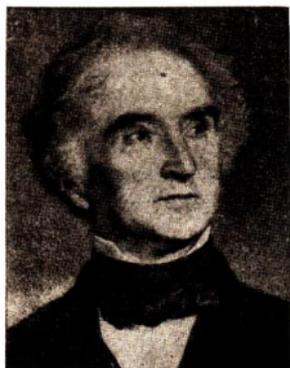


Abb. 47 JUSTUS VON LIEBIG (1803 bis 1873) legte dar, daß Säuren Wasserstoffverbindungen sind.



Abb. 48 SVANTE ARRHENIUS (1859 bis 1927) entwickelte die Theorie von der elektrolytischen Dissoziation.

Der Säure- und Basebegriff nach ARRHENIUS bezieht sich auf Stoffe, die für Säuren oder Basen charakteristisch sind (Wasserstoff-Ion, Hydroxid-Ion), und erreicht unter den auf ähnlicher Grundlage gebildeten, hier genannten Definitionen (LAVOISIER, LIEBIG) die höchste Stufe. Er reicht aus, viele chemische Vorgänge für die praktische Tätigkeit hinreichend zu erklären. Es genügt jedoch nicht zu sagen, daß in wäßrigen Lösungen Wasserstoff-Ionen für saure und Hydroxid-Ionen für basische Reaktionen charakteristisch sind. Entscheidend für die Reaktion einer wäßrigen Lösung ist die Konzentration dieser Ionen.

nisse. Ausgehend von den Reaktionsprodukten, die bei der Elektrolyse einiger Stoffe anfielen, kam man zu der Meinung, daß mehrere Säuren, wie zum Beispiel die Salzsäure, frei von Sauerstoff sind. Dieser Widerspruch zur Theorie LAVOISIERS gab den Anstoß für die Weiterentwicklung des Säurebegriffs im 19. Jahrhundert.

- *Nennen Sie sauerstoffhaltige und sauerstofffreie Säuren!*

Unter den Chemikern setzte sich die Auffassung durch, daß der Wasserstoff der für Säuren charakteristische Bestandteil sei. In einer bedeutungsvollen Abhandlung über mehrbasische Säuren aus dem Jahre 1838 stellte JUSTUS VON LIEBIG (Abb. 47) fest, daß Säuren Wasserstoffverbindungen sind, in denen der Wasserstoff durch Metall ersetzt werden kann. Damit war der Säurebegriff auf Grund der Zusammensetzung zutreffend definiert.

- *Geben Sie die Formeln für einige anorganische und organische Säuren an!*

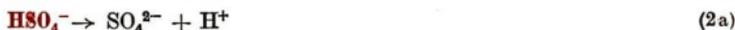
4. Elektrolytische Dissoziation und Säure- und Basebegriff. Die Theorie der elektrolytischen Dissoziation wirkte sich maßgeblich auf die Weiterentwicklung des LIEBIGSchen Säurebegriffs aus. Nach SVANTE ARRHENIUS (Abb. 48) sind Säuren und Basen Elektrolyte; je stärker sie sind, desto besser leiten sie den elektrischen Strom bei gleicher Gesamtionenkonzentration. Säuren werden nun als Stoffe definiert, die in wäßriger Lösung Wasserstoff-Ionen abspalten, Basen als Stoffe, die in wäßriger Lösung Hydroxid-Ionen abgeben.

- *Veranschaulichen Sie diese Aussage, indem Sie für einige Säuren und Basen die Dissoziationsgleichungen angeben!*

- Geben Sie die Konzentrationsverhältnisse an Wasserstoff- und Hydroxid-Ionen je Liter für den sauren, neutralen und basischen Reaktionsbereich an!
Was verstehen Sie unter dem pH-Wert und wozu dient er?

5. Säure- und Basebegriff nach BRÖNSTED. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entstanden Definitionen der Säure und Base, die umfassender als die Definition von ARRHENIUS sind. Ein wesentlicher Gesichtspunkt für diese neuen Begriffe ist die Funktion der Stoffe. Davon ausgehend definierte der dänische Physikochemiker JOHANN NIKOLAUS BRÖNSTED Säuren und Basen als Stoffe, die Wasserstoff-Ionen abspalten beziehungsweise anlagern. Der BRÖNSTEDSche Säurebegriff wird zum Beispiel durch folgende Gleichungen deutlich:

Säure



Die in den Gleichungen (1a bis 3a) dargestellten Vorgänge sind umkehrbar, und veranschaulichen dann den BRÖNSTEDSchen Basebegriff:

Base



Die hier aufgeführten Basen sind den genannten Säuren zugehörig. Die Vorgänge (a) und (b) stehen miteinander im Gleichgewicht und können in einer Gleichung zusammengefaßt werden.

- Geben Sie die entsprechenden Gleichungen (1) bis (3) an!

Verallgemeinert wird der Inhalt des Säure- beziehungsweise Basebegriffs wie folgt ausgedrückt:



Für die Einteilung der Stoffe in Säuren und Basen ist es belanglos, ob der betreffende Stoff ein neutrales Molekül oder ein Ion ist. Entscheidend ist nach BRÖNSTED seine Funktion als Protonendonator¹ (Säure) oder als Protonenakzeptor² (Base). Wasserstoff-Ionen werden in diesem Zusammenhang den Protonen gleichgesetzt.

- Stellen Sie mit Hilfe des RUTHERFORD-BOHRschen Atommodells die Bildung von Wasserstoff-Ionen aus Wasserstoffatomen dar!

¹ donare (lateinisch) = geben.

² accipere (lateinisch) = empfangen.

Die Wasserstoff-Ionen existieren nur sehr kurze Zeit frei. Sie vereinigen sich mit anderen Stoffen, die in der Lösung vorliegen. In wäßriger Lösung kommen dafür zum Beispiel Wassermoleküle oder Hydroxid-Ionen in Frage:



Das Ion mit der Zusammensetzung H_3O^+ wird **Hydronium-Ion** genannt. In Reaktionsgleichungen gibt man es der Einfachheit halber im allgemeinen nicht an. Für das Hydronium-Ion steht dann das Wasserstoff-Ion.

- Welche Stoffe werden in den Gleichungen (5) und (6) als Basen, welche als Säuren bezeichnet?

Ein Stoff kann nur dann Protonen abgeben, wenn ein anderer Stoff die Protonen sofort aufnimmt. Es laufen demnach zwei, durch die allgemeine Gleichung (4) erfaßte Teilreaktionen ab, die wie folgt unterschieden werden:



Beide Teilreaktionen werden zusammengefaßt:



Ein Stoff kann also nur dann als Säure beziehungsweise als Base wirken, wenn eine andere als die dazugehörige Base beziehungsweise Säure zugegen ist und folglich eine der allgemeinen Gleichung (7) entsprechende Säure-Base-Reaktion abläuft.

- Stellen Sie, der Gleichung (7) entsprechend, die Funktion von Salzsäure, Hydrogensulfat-Ionen und Ammonium-Ionen in wäßriger Lösung dar!

Mit Hilfe der BRÖNSTEDSchen Säure-Base-Theorie können Erscheinungen, wie die elektrolytische Dissoziation, die Eigendissoziation des Wassers, die Neutralisation und Hydrolyse, einheitlich erklärt werden. Die Theorie kann auch auf andere Lösungsmittel als Wasser, zum Beispiel auf flüssiges Ammoniak und Schwefeldioxid, angewandt werden.

Der Säure-Base-Begriff wurde später über die Vorstellungen von BRÖNSTED hinaus verallgemeinert. Dabei spielte der Atombau als Grundlage eine bedeutende Rolle. Eine hohe Stufe der Verallgemeinerung hat der Säure-Base-Begriff des sowjetischen Forschers USSANOWITSCH erreicht.

6. Zusammenfassung. In der historischen Entwicklung der Chemie haben sich die Vorstellungen von den Säuren und Basen verändert. Die ursprünglichen Vorstellungen über Säuren und Basen beruhten auf sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften dieser Stoffe. Als sich in der Chemie die analytische Untersuchung der Stoffe durchsetzte, entstanden Säure- und Base-Begriffe, die die Zusammensetzung dieser Stoffe zur Grundlage hatten. Durch die dialektische Betrachtungsweise der Stoffe kam es zu einem Säure-Base-Begriff, der sich auf die miteinander verbundene Funktion der Stoffe in einem System begründete. Damit wurde ein Säure-Base-Begriff erreicht, mit dessen Hilfe eine große Anzahl von Vorgängen einheitlich erklärt werden konnte.

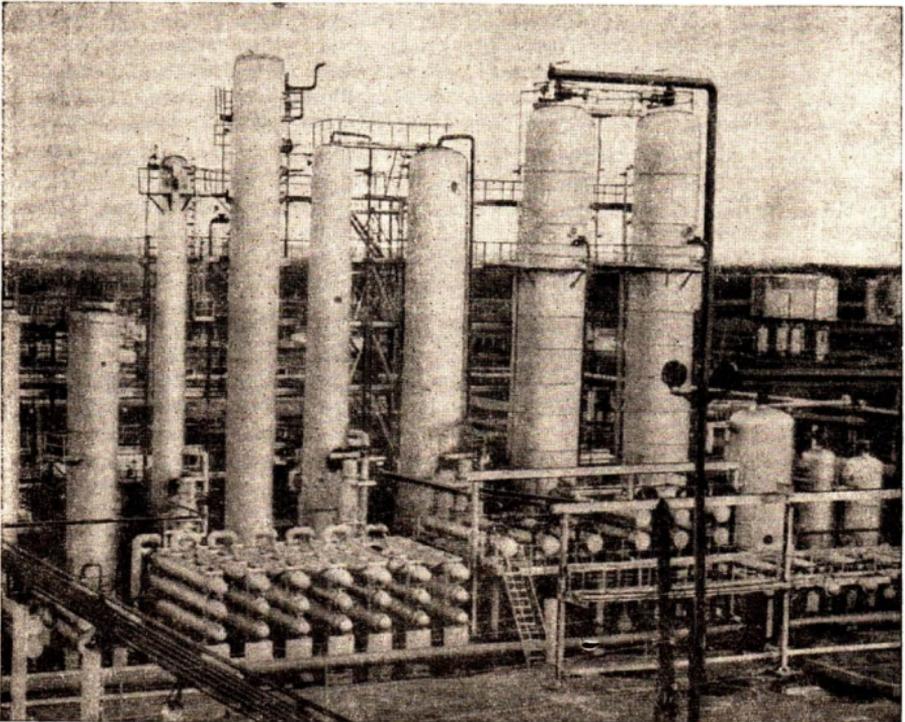
Die Entwicklung des Säure-Base-Begriffs führt also zu immer größerer Allgemeinheit. Dabei entfernt sich die Theorie nicht von der Praxis; sie spiegelt vielmehr die Wirklichkeit immer genauer wider, indem sie größere Zusammenhänge erklärt. Die historische Entwicklung des Säure-Base-Begriffs veranschaulicht beispielhaft eine Äußerung LENINS über die Bedeutung der Widerspiegelung der Wirklichkeit in abstrakten Begriffen: „... alle wissenschaftlichen (richtigen, ernst zu nehmenden, nicht unsinnigen) Abstraktionen spiegeln die Natur tiefer, getreuer, vollständiger wider“ (W. I. LENIN: Aus dem philosophischen Nachlaß).

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Berichten Sie über die Entstehung der Begriffe „Element“ und „Atom“ in der Sklavengesellschaft!
2. Kennzeichnen Sie die ökonomischen Verhältnisse, unter denen sich die Chemie zur selbständigen Wissenschaft entwickelt hat!
3. Vergleichen Sie die Entwicklungsstufe des Elementbegriffs, die gegen Ende des 18. Jahrhunderts erreicht war, mit dem Elementbegriff BOYLES! Welcher Fortschritt wurde erzielt?
4. Nennen Sie die Merkmale der DALTONSchen Vorstellungen von Atomen und Elementen! Welche dieser Merkmale wurden widerlegt und durch welche Erkenntnisse geschah dies?
5. Weisen Sie nach, daß der in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entstandene Elementbegriff die Wirklichkeit richtiger widerspiegelt als die vorherigen Elementbegriffe!
6. Kennzeichnen Sie die wichtigsten Entwicklungsstufen der Vorstellungen vom Bau der Atome im Zusammenhang mit der Entwicklung der Produktivkräfte und der Produktionsverhältnisse!
7. Schätzen Sie die Bedeutung der Persönlichkeit DALTONS als einen Begründer der Atomtheorie historisch ein!
8. Welche Bedeutung hat die Entwicklung der Vorstellungen vom Bau der Atome und die Erforschung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten der Chemie für die Herausbildung eines modernen wissenschaftlichen Weltbildes?
9. Welche Bedeutung hatten Alchimie und Iatrochemie für die Entwicklung der Chemie als Wissenschaft?
10. Schätzen Sie die Phlogistonlehre in ihrer Bedeutung für die Erkenntnis chemischer Gesetzmäßigkeiten ein!
11. Beurteilen Sie die Bedeutung des Periodensystems der Elemente für die Entwicklung des Atombegriffs und des Elementbegriffs!
12. Wie wurde der Säurebegriff vor der Aufstellung der elektrolytischen Dissoziationstheorie bestimmt? Kennzeichnen Sie die Entwicklungsstufen bis zur Ausarbeitung dieser Theorie!
13. Definieren Sie die Begriffe „Säure“ und „Base“ auf der Grundlage der Theorie der elektrolytischen Dissoziation!
14. Belegen Sie durch Beispiele aus der Geschichte der Chemie, daß sich auch hier die Entwicklung der menschlichen Erkenntnis im „Kampf“ der Gegensätze vollzieht!
15. Erklären Sie an Hand der Bildung chemischer Begriffe an Beispielen, daß die Entwicklung vom Niederen zum Höheren verläuft und dabei eine gewisse Wiederholung auftritt!
16. Stellen Sie allgemeine Gesetzmäßigkeiten zusammen, die bei der Entwicklung chemischer Begriffe wirken!

Grundlagen der chemischen Produktion

Auf dem Bild wird ein Teil eines sowjetischen Chemiebetriebes gezeigt, der die bei der Erdölförderung anfallenden Gase verarbeitet. In den Betrieben der chemischen Produktion werden große Stoffmengen umgesetzt. Technische Voraussetzungen dafür sind ein System von Apparaten und Maschinen zur Vorbereitung der Ausgangsstoffe auf die Reaktion, Reaktionsapparate, Transport- und Lagereinrichtungen. Diese Anlagen bestimmen weitgehend erste Eindrücke, die man von einem Betrieb der chemischen Produktion erhält. Außerdem sind bestimmte allgemeine Verfahrensprinzipien anzuwenden. Zu den Grundlagen der chemischen Produktion gehören vor allem die zahlreichen chemisch-technischen Reaktionen. Die chemischen Produktionsprozesse werden von Menschen beherrscht, die gute Allgemeinkenntnisse über die Grundlagen der chemischen Produktion besitzen.



Chemische Produktion in der Deutschen Demokratischen Republik

Chemische Vorgänge spielen in den meisten Industriezweigen bei der Herstellung industrieller Erzeugnisse eine Rolle. Zur **chemischen Produktion** gehören die Industriezweige, deren Produkte vor allem durch chemische Umsetzungen hergestellt werden (Tab. 15).

Tabelle 15 Chemische Produktion in der Deutschen Demokratischen Republik

	Industriezweige	Industrielle Bruttoproduktion ¹ (in Md. MDN)
Chemische Produktion	Chemische Industrie	12,2
	Metallurgie	5,0
	Baumaterialindustrie	1,6
	Glas- und keramische Industrie	1,0
	Zellstoff- und Papierindustrie	1,3
	Teile der Nahrungs- und Genußmittelindustrie	2,9
Insgesamt		24,0

- *Zeigen Sie an Beispielen, daß in den zur chemischen Produktion zählenden Industriezweigen die Erzeugnisse entscheidend durch chemische Reaktionen hergestellt werden! Die industrielle Bruttoproduktion unserer Republik betrug 1962 78,1 Md. MDN. Stellen Sie in einem Diagramm den prozentualen Anteil der in Tabelle 15 erfaßten Industriezweige an der industriellen Bruttoproduktion unserer Republik dar!*

Die chemische Produktion ist mit etwa 30%¹ hervorragend an der industriellen Bruttoproduktion unserer Republik beteiligt. Etwa 20% der gesamten Produktionsanlagen unserer Republik sind chemische Produktionsanlagen. Im Programm der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands, das im Jahre 1963 auf dem VI. Parteitag angenommen wurde, wird über die Bedeutung unserer **chemischen Industrie** richtungswesend gesagt: „Für die Entwicklung der Wirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik sind bestimmend — die chemische Industrie, besonders die Petrochemie, weil ihre Rolle als führender Industriezweig immer bedeutender wird; . . .“ Gerade für die Entwicklung der chemischen Industrie verfügen wir über mehrere Rohstoffe ausreichend im eigenen Lande (Braunkohle, Steinsalz, Kalkstein, Anhydrit), die vor allem durch die Erdöllieferungen aus der Sowjetunion vorteilhaft ergänzt werden.

- *Nennen Sie Beispiele für chemisch-technische Verfahren, bei denen in unseren Chemiebetrieben die oben genannten Rohstoffe verarbeitet werden! Welche Endprodukte werden dabei erzeugt und wozu dienen sie?*

Der Vorrang, der unserer chemischen Industrie gebührt, wird ebenfalls im Programm der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands dargelegt: „Die Güte und

¹ Angabe für das Jahr 1962.

die Menge ihrer Erzeugnisse bestimmen wesentlich das Entwicklungstempo, die Produktivität und die Qualität der Erzeugnisse anderer Zweige der Volkswirtschaft und die Erträge der Landwirtschaft. Die chemische Industrie, insbesondere die Produktion von Plasten und Chemiefasern, bietet eine Fülle von Produkten, die dem technischen Fortschritt dienen und den Wohlstand der Bevölkerung erhöhen.“

- *Erläutern Sie an Hand von Beispielen den Einfluß der chemischen Industrie auf andere Bereiche unserer Volkswirtschaft und auf den Wohlstand der Bevölkerung!*

Zu den führenden Industriezweigen unserer Volkswirtschaft gehört auch die **metallurgische Industrie**, in der ebenfalls chemische Reaktionen verbreitet technisch angewendet werden. Der Entwicklungsstand der metallurgischen Industrie beeinflusst wesentlich den weiteren Aufbau der chemischen Industrie, in der in Form von Reaktionsapparaten, Aufbereitungsanlagen usw. große Mengen an Edel- und Qualitätsstählen installiert sind. Die Erzeugung von Chemieausrüstungen durch den Maschinenbau für unsere eigene chemische Industrie wird besonders gefördert. Hinzu kommt u. a., daß die Anwendung der modernen Meß- und Regelungstechnik bei chemisch-technischen Verfahren die Produktivität steigert. Auch aus diesem Grunde ist es bedeutsam, daß, wie im Programm der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands hervorgehoben wird, die schnelle Entwicklung der Elektrotechnik und der Elektronik zum besonderen Schwerpunkt wird.

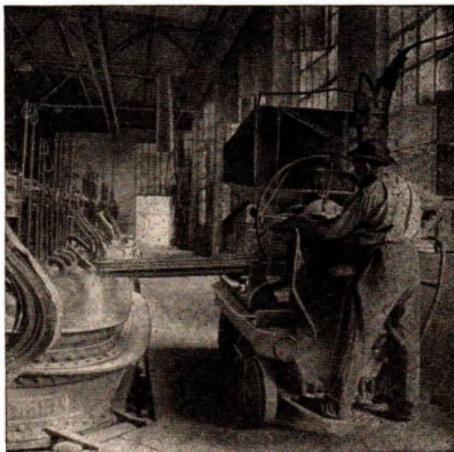
Die vor unserer chemischen Produktion stehenden Aufgaben sind nur dann zu lösen, wenn die Naturwissenschaften und die Technik umfassend gefördert werden. Dabei kommt es darauf an, daß die moderne Wissenschaft zunehmend zu einer Produktivkraft wird. „Besondere Unterstützung gilt den führenden Zweigen der Naturwissenschaft, der Mathematik, der Physik, der Chemie und der Biologie, deren Ergebnisse die Entwicklung der Produktivkräfte maßgeblich beeinflussen“ (Programm der SED).

Abb. 49 Beim Auftragen von Aluminiumoxid mit Schaufel und Eimer (a) wurde von einem Arbeiter in 5 min nur 1 Elektrolysezelle versorgt. Durch den Einsatz eines Auftragerätes (b) werden von einem Arbeiter in der gleichen Zeit 5 Elektrolysezellen bedient.

a



b



Die Arbeiten der Brigaden der sozialistischen Arbeit, der Arbeiterforscher und der sozialistischen Arbeitsgemeinschaften sind anschauliche Beispiele dafür, wie Wissenschaft und Produktion immer stärker zusammenwachsen, und dadurch die Arbeitsproduktivität erhöht wird (Abb. 49).

- *Tragen Sie Pressemitteilungen über die ständige Verbesserung der chemischen Produktion durch die Werktätigen und Wissenschaftler zusammen!
Welche Beispiele dieser Art sind Ihnen aus Ihren Besuchen in sozialistischen Industriebetrieben geläufig?*

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt in unserer chemischen Industrie und in den anderen sozialistischen Ländern wird durch den Austausch von Dokumentationen innerhalb der sozialistischen Wirtschaftsgemeinschaft besonders gefördert. Unsere Republik erhielt von der Sowjetunion zum Beispiel Unterlagen für den Bau des Erdölkombinats in Schwedt/Oder und für die Phenolsynthesanlage des Werkteils II im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“. So werden umfangreiche Entwicklungsarbeiten eingespart, und unsere Industrie erhält schneller neue Rohstoffe. Neue Verfahren spielen für den Ausbau unserer chemischen Industrie ebenfalls eine Rolle. Sie werden in mehreren Etappen entwickelt, wobei Chemiker, Verfahreningenieure, Konstrukteure, Ökonomen und Chemiarbeiter eng zusammenarbeiten. Dabei kommt es darauf an, das Verfahren innerhalb kürzestmöglicher Zeit zur Betriebsreife zu entwickeln.

Einteilung chemisch-technischer Reaktionen

1. Einteilung nach chemischen Gesichtspunkten. Die verschiedenartigen chemisch-technischen Reaktionen, die das Wesen der chemischen Produktionsprozesse ausmachen, lassen sich nach chemischen Gesichtspunkten zu einigen **Reaktionstypen** zusammenfassen.

a) *Oxydation — Reduktion — Hydrierung.* In der chemischen Produktion werden die Begriffe Oxydation und Reduktion häufig im engeren Sinne gebraucht und als Vorgänge aufgefaßt, für die die Aufnahme beziehungsweise die Abgabe von Sauerstoff charakteristisch sind. Somit werden hier nicht alle Vorgänge berücksichtigt, bei denen Elektronen ausgetauscht werden.

Man unterscheidet innerhalb dieses Reaktionstyps die **Anlagerung von elementarem Sauerstoff, den Redoxprozeß und die Hydrierung.**

- *Definieren Sie die Begriffe Oxydation, Reduktion und Hydrierung! Arbeiten Sie Beziehungen zwischen diesen Reaktionen heraus!*

Freier Sauerstoff wird im Verlaufe von Verbrennungen und Röstprozessen angelagert. Die Anlagerung von freiem Sauerstoff erfolgt auch katalytisch.

- *Nennen Sie chemisch-technische Verfahren, bei denen Ausgangsstoffe a) katalytisch und b) nicht katalytisch durch freien Sauerstoff oxydiert werden. Geben Sie Reaktionsgleichungen an!*

Zu den Redoxprozessen zählen alle chemisch-technischen Reaktionen, bei denen sauerstoffhaltige Ausgangsstoffe mit Hilfe von Reduktionsmitteln (Koks, Wasserstoff, Kohlenmonoxid) reduziert werden. Solche Reaktionen sind für die meisten metallurgischen Verfahren und für die Erzeugung technischer Gase (z. B. Wassergas) typisch.

- *Nennen Sie Verfahren, bei denen Redoxprozesse angewendet werden! Geben Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen an, in denen Sie die Oxydationsstufen kennzeichnen!*

Kennzeichnend für die Hydrierung ist die Anlagerung von freiem Wasserstoff. Sie wird im allgemeinen katalytisch vorgenommen (z. B. Ammoniaksynthese). Dabei kann der zu hydrierenden Verbindung auch Sauerstoff entzogen werden (z. B. Hydrierung von Kohlenmonoxid).

- *Nennen Sie chemisch-technische Verfahren aus der anorganischen und organischen chemischen Industrie, für die die Hydrierung die wichtigste Reaktion ist! Geben Sie Reaktionsgleichungen an, und vermerken Sie bei den Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten die Oxydationsstufen!
Fertigen Sie über den Reaktionstyp Oxydation-Reduktion-Hydrierung eine Tabelle mit folgenden Spalten an: Einteilung des Reaktionstyps in Gruppen, Merkmal, Beispiele für chemisch-technische Verfahren, Reaktionsgleichungen!*

b) *Aufspaltung von Verbindungen.* Durch Energiezufuhr werden in einem Ausgangsstoff Bindungen zwischen den am Aufbau von Molekülen beteiligten Stoffen gelöst. Es entstehen dabei mehrere Reaktionsprodukte. An der **Aufspaltung von Verbindungen** sind verschiedentlich auch Katalysatoren beteiligt. Beim Kalkbrennen und bei der Kohleentgasung wird die zur Aufspaltung notwendige Energie durch Verbrennung von Koks beziehungsweise Heizgas erhalten. Die Energie kann auch durch den elektrischen Strom geliefert werden (z. B. Schmelzflußelektrolyse von Natriumchlorid). Ein Beispiel für die Aufspaltung einer Verbindung unter Mitwirkung eines Katalysators ist die alkoholische Gärung.

- *Stellen Sie in einer Tabelle Beispiele für die Aufspaltung von Verbindungen bei chemisch-technischen Verfahren zusammen. Beachten Sie dabei folgende Angaben: Verfahren, Ausgangsstoff, Reaktionsprodukte, Bedingungen für die Aufspaltung (Erzeugung der Energie, Katalysator) und Reaktionsgleichung!*

c) *Austausch von Ionen.* Der **Austausch von Ionen** ist besonders in der anorganisch-chemischen Grundstoffindustrie verbreitet. Er spielt sich in Lösungen oder in Schmelzen ab, in denen die Ionen von Säuren, Basen und Salzen aufeinander einwirken. Dabei vereinigen sich Ionen zu schwerlöslichen Verbindungen und andere Ionen bleiben gelöst zurück. Ein Beispiel dafür ist die Ammonsulfatherstellung, bei der sich Kalzium- und Karbonat-Ionen zu dem schwerlöslichen Kalziumkarbonat vereinigen und Ammonium- und Sulfat-Ionen gelöst bleiben.

- *Stellen Sie in einer Tabelle Beispiele für den Austausch von Ionen bei chemisch-technischen Verfahren zusammen. Beachten Sie folgende Spalten: Verfahren, Ausgangsstoffe, Reaktionsprodukte, Reaktionsgleichungen!*

d) *Polymerisation — Polykondensation.* Der Reaktionstyp **Polymerisation — Polykondensation** wird in der Plast- und Chemiefaserindustrie angetroffen. Charakteristisch für diesen Reaktionstyp ist der Aufbau von Makromolekülen aus kleineren Bausteinen.

- *Definieren Sie die Begriffe Polymerisation und Polykondensation!
Nennen Sie für diesen Reaktionstyp Beispiele, die Sie in einer Tabelle mit folgenden Spalten zusammenstellen: Zugehörigkeit zu einer Gruppe des Reaktionstyps, Verfahren, Bau der Ausgangsstoffe, Bau der Endstoffe!*

e) *Substitution — Addition — Veresterung und Verseifung.* Die Reaktionen **Substitution, Addition, Veresterung und Verseifung** werden ausschließlich in der organisch-chemischen Industrie angewendet. Mit ihrer Hilfe erhält man meist Zwischenprodukte.

- *Fertigen Sie über diese Reaktionen eine Tabelle mit folgenden Angaben an: Reaktion, Definition dieser Reaktion, Beispiele in Form von Reaktionsgleichungen!*

2. Einteilung nach teilnehmenden Phasen. Die chemisch-technischen Reaktionen lassen sich auch nach chemisch-physikalischen Gesichtspunkten einteilen. Dabei kann man zum Beispiel die an einer Reaktion beteiligten Phasen der Systematisierung zugrunde legen. Unter einer **Phase** wird in diesem Zusammenhang der homogene Teil eines Systems verstanden, der von anderen Teilen durch Grenzflächen getrennt ist. Dabei ist der Aggregatzustand der Stoffe nicht entscheidend.

Davon ausgehend kann man homogene und heterogene Reaktionen unterscheiden. **Homogene Reaktionen** laufen in der gleichen Phase ab. Ein Beispiel für eine homogene Reaktion ist die Umsetzung von Wasserstoff und Chlor zu Chlorwasserstoff. Hier befinden sich zwischen den Reaktionsteilnehmern keine Grenzflächen.

Bei **heterogenen Reaktionen** liegen die Reaktionsteilnehmer in unterschiedlichen Phasen vor. Das Abrösten sulfidischer Erze ist ein Beispiel für eine heterogene Reaktion. Zwischen der Luft und dem Röstgut sind Grenzflächen, an denen die chemische Umsetzung abläuft. Die Nitrierung von Benzol ist ein weiteres Beispiel für eine heterogene Reaktion. Zwischen Benzol und der Nitriersäure besteht eine Grenzfläche, obwohl die Reaktionsteilnehmer den gleichen Aggregatzustand besitzen.

- *Fertigen Sie eine Tabelle über die Einteilung chemisch-technischer Reaktionen nach teilnehmenden Phasen an! Beachten Sie folgende Angaben: Art der Reaktion, Beispiele für Verfahren, teilnehmende Phasen (Reaktionsteilnehmer, die zu einer Phase zählen, durch gleiche Farbe ausweisen), Reaktionsgleichung!*

Wichtige allgemeine verfahrenstechnische Prinzipien in der chemischen Produktion

1. Arbeitsweise chemisch-technischer Verfahren. Chemisch-technische Verfahren laufen kontinuierlich oder periodisch ab.

a) *Kontinuierliche Arbeitsweise.* In der chemischen Produktion wird unter anderem das ökonomisch wichtige Ziel verfolgt, die Maschinen und Apparate intensiv zu nutzen

und einen hohen Durchsatz zu erreichen. Diese Forderung erfüllt die **kontinuierliche Arbeitsweise** hervorragend. Hier ist der Reaktionsapparat ständig in Betrieb, und es können in relativ kurzer Zeit große Stoffmengen bewältigt werden. Der Aufwand an manuellen Arbeiten ist gering, die Energieverluste lassen sich in engen Grenzen halten, die Zusammensetzung des Produkts ist sehr einheitlich, und das Verfahren läßt sich leicht automatisieren.

- Erläutern Sie die Vorteile der kontinuierlichen Arbeitsweise an einem Beispiel!

Die kontinuierliche Arbeitsweise ist in den meisten großtechnischen Verfahren eingeführt. Sie wird häufig bei Reaktionen angewendet, die mit einer hohen Reaktionsgeschwindigkeit ablaufen.

Bei der kontinuierlichen Arbeitsweise wird häufig der **Kreislaufprozeß** angewandt. Dadurch ist es bei einem großtechnischen Verfahren möglich, auch den Teil der Ausgangsstoffe umzusetzen, der den Reaktionsapparat infolge ungünstiger Gleichgewichtslage und zu langsamer Gleichgewichtseinstellung unverändert verläßt. Man trennt die Reaktionsprodukte von den nicht umgesetzten Anteilen und führt diese erneut in den Reaktionsapparat (Abb. 50).

- Stellen Sie in einer Tabelle Beispiele für die Anwendung des Kreislaufprozesses bei chemisch-technischen Verfahren zusammen. Richten Sie in der Tabelle folgende Spalten ein: Verfahren, Stoffe, die sich im Kreislauf befinden!

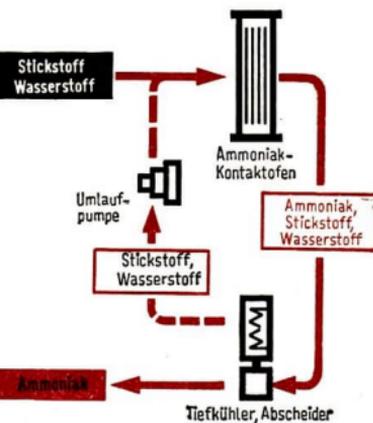


Abb. 50 Bei der Ammoniaksynthese befindet sich ein Stickstoff-Wasserstoff-Gemisch im Kreislauf.

b) **Periodische Arbeitsweise.** Die **periodische Arbeitsweise** ist durch einen immer wiederkehrenden Arbeitsrhythmus der Reaktionsapparate gekennzeichnet. Beschikung mit Ausgangsstoffen, chemische Umsetzung und Entnahme der Reaktionsprodukte werden periodisch vorgenommen. Die periodische Arbeitsweise ist der kontinuierlichen in bezug auf die Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung des gleichen Produktes unterlegen. Sie wird oft bei kleineren und mittleren Verfahren angewendet. Sie ist vorteilhaft für die Herstellung von Produkten, für die ein schwankender Jahresbedarf vorliegt und die nicht längere Zeit gelagert werden können, für den Übergang auf ein anderes Produkt oder bei langer Dauer der chemischen Umsetzungen.

- Stellen Sie in einer Übersicht Verfahren zusammen, bei denen periodisch gearbeitet wird. Berücksichtigen Sie dabei folgende Gesichtspunkte: Verfahren, Reaktionsapparat, Reaktionsprodukt.

2. Gegenstromprinzip. Viele chemisch-technischen Prozesse werden so geführt, daß verschiedene Stoffe in Apparaten einander entgegenströmen. Durch Anwendung des **Gegenstromprinzips** werden Energie und Stoffe unter optimalen Bedingungen ausgetauscht.

In vielen Fällen kann man bedeutende Energiemengen einsparen, wenn man mit einem Teil der in den Reaktionsprodukten gespeicherten Energie Ausgangsstoffe im Gegenstrom vorwärmt. Diesem Ziel dienen zum Beispiel **Wärmeaustauscher** (Abb. 51) und entsprechend gebaute Reaktionsapparate.

- Erläutern Sie am Beispiel des Ammoniak-Kontaktofens, wie ein Reaktionsapparat gebaut sein kann, damit Energie ausgetauscht wird!
Fertigen Sie eine Tabelle über die Anwendung des Gegenstromprinzips zum Zweck des Energieaustausches bei chemisch-technischen Verfahren an. Vermerken Sie folgende Angaben: Verfahren, Apparat, gegeneinanderströmende Stoffe (der Stoff mit höherer Temperatur ist besonders zu kennzeichnen)!

Häufig werden in einer Apparatur im Gegenstrom Wärme und Stoffe gleichzeitig ausgetauscht. Ein Beispiel ist der **Schachtofen** zum Kalkbrennen (Abb. 52). In solchen Fällen ändert sich während des Durchganges durch den Reaktionsapparat das Konzentrationsverhältnis zwischen den Reaktionsteilnehmern ständig. Durch Anwendung des Gegenstromes wird erreicht, daß auf den noch nicht umgesetzten Teil eines Ausgangsstoffes der andere Ausgangsstoff im Überschuß einwirken kann und so die quantitative Umsetzung vollständiger und schneller erfolgt als im Gleichstrom.

- Nennen Sie Verfahren, bei denen die chemische Umsetzung und der Wärmeaustausch im Gegenstrom im gleichen Reaktionsapparat durchgeführt werden. Fertigen Sie dazu der Abbildung 52 entsprechende schematische Darstellungen an!

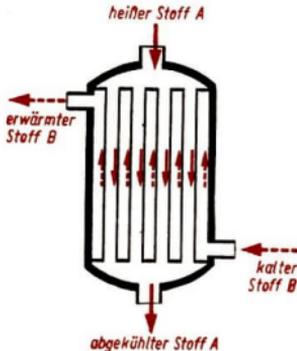


Abb. 51 Im Röhrenwärmeaustauscher wird das Gegenstromprinzip zum Energieaustausch angewendet.

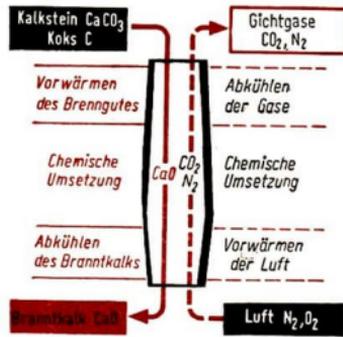


Abb. 52 Im Schachtofen zum Kalkbrennen vollziehen sich Energieaustausch und chemische Umsetzung im Gegenstrom.

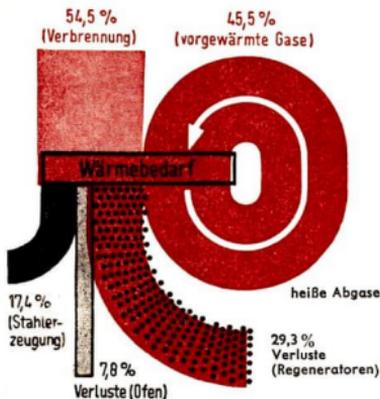


Abb. 53 Durch den Einsatz von Regeneratoren werden bei der Stahlherzeugung nach dem Siemens-Martin-Verfahren beträchtliche Energiemengen eingespart.

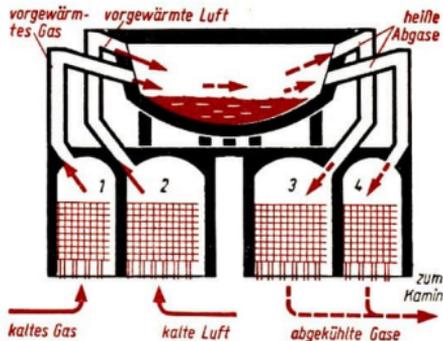


Abb. 54 Regeneratoren beim Siemens-Martin-Ofen.

3. Regenerativprinzip. Das Regenerativprinzip dient ebenfalls dem rationellen Energieverbrauch (Abb. 53). Die Wärme der Abgase von Reaktionsapparaten wird in **Regeneratoren** (Abb. 54) oder in **Winderhitzern** gespeichert; mit ihr wärmt man Verbrennungsluft oder Heizgas vor.

- Erläutern Sie an Hand von Abbildung 54 die Arbeitsweise eines Regenerators! Nennen Sie Verfahren, bei denen das Regenerativprinzip angewendet wird!

Apparaturen zur Vorbereitung der Ausgangsstoffe auf die Reaktion und zur Aufarbeitung der Reaktionsprodukte

Die Maschinen und Apparate zur Vorbereitung der Ausgangsstoffe und zur Aufarbeitung der Reaktionsprodukte dienen dazu, die Rohstoffe in einen solchen Zustand zu bringen, der eine optimale chemische Umsetzung erlaubt, beziehungsweise die Rohprodukte in ein marktfähiges Produkt zu verwandeln. Sie führen in der Hauptsache physikalische Operationen aus wie Zerkleinern, Abtrennen unerwünschter Beimengungen, Erwärmen, Kühlen, Mischen usw. Diese Maschinen und Apparate sind bei jedem chemisch-technischen Verfahren zahlreicher vertreten als die Reaktionsapparate.

1. Zerkleinerungsapparaturen. Die Berührung der Reaktionsteilnehmer ist eine Voraussetzung für jede chemische Reaktion. Für den optimalen Ablauf einer chemisch-technischen Reaktion werden daher die Ausgangsstoffe ausreichend zerteilt. Diese Forderung gilt für alle Verfahren, bei denen heterogene Reaktionen ablaufen. Wenn

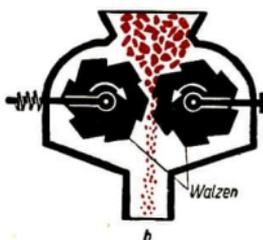
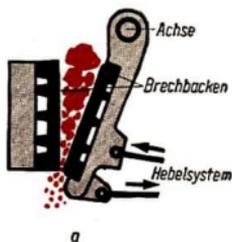


Abb. 55 Backenbrecher (a) und Walzenbrecher (b) erzeugen grobe Korngrößen.

Abb. 56 In Rohrmühlen werden Stoffe fein zermahlen.

eine genügend große Oberfläche vorhanden ist, werden die Reaktionszeit und die quantitative Umsetzung der Ausgangsstoffe günstig beeinflusst.

Der Zerkleinerungsgrad der Ausgangsstoffe ist für die einzelnen Verfahren nicht einheitlich. Er muß so beschaffen sein, daß eine optimale Teilchengröße vorliegt. Für die Glasherstellung werden die Ausgangsstoffe fein zermahlen, für den Hochofenprozeß strebt man dagegen Korngrößen mit einem Durchmesser von 5 bis 10 cm an. Die unterschiedliche Teilchengröße erklärt sich aus den verschiedenartigen technologischen Bedingungen, unter denen beide Verfahren ablaufen. Beim Hochofenprozeß würde zum Beispiel zusammen mit dem Gasstrom, der sich mit großer Geschwindigkeit bewegt, ein großer Teil des feinkörnigen Materials aus dem Ofen herausgetragen. Es träten dann bedeutende Verluste an Ausgangsstoffen und Verstopfungen der Apparaturen auf. Bei der Glasherstellung ist feinkörniges Material angebracht, weil hier die Vorgänge in einer Schmelze ablaufen und kaum Ausgangsstoffe mit dem Gasstrom aus dem Reaktionsapparat entfernt werden. Beim Einsatz grober Teilchen würde hier zum Beispiel die chemische Umsetzung nur unvollständig erfolgen.

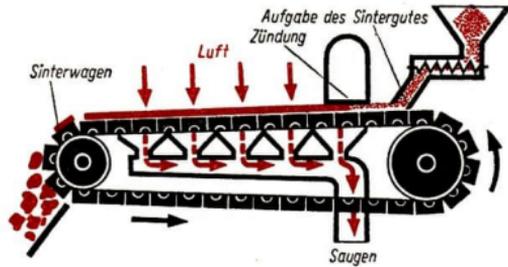
- *Erklären Sie für weitere Verfahren den angestrebten Zerkleinerungsgrad!*

Feste Stoffe werden meist mechanisch zerkleinert, indem man zum Beispiel ihre Druckfestigkeit überschreitet. Nach diesem Prinzip arbeiten **Brecher** (Abb. 55) und **Mühlen** (Abb. 56). Erstere zerkleinern die festen Stoffe grob, letztere fein.

- *Fertigen Sie eine Tabelle über die Anwendung von Zerkleinerungsapparaturen bei chemisch-technischen Verfahren an (Verfahren, zu zerkleinernder Ausgangsstoff, Apparat)!*
Erläutern Sie, wie bei dem jeweiligen Apparat die Zerkleinerung technisch durchgeführt wird!

2. Apparaturen zum Agglomerieren. Wenn die Ausgangsstoffe für die Reaktion oder die Reaktionsprodukte für die weitere Verwendung zu feinkörnig vorliegen, müssen sie agglomeriert werden. Beim **Agglomerieren** kommt es darauf an, die feinen Körner zu Stücken zusammenzubacken. Das kann durch **Sintern**, **Granulieren** oder **Pressen** erreicht werden. In modernen Hüttenwerken zum Beispiel werden feinkörnige Ausgangsstoffe auf einem **Sinterband** (Abb. 57) agglomeriert.

Abb. 57 Auf dem Sinterband wird agglomeriert.



- Fertigen Sie eine Tabelle über Einsatz und Anfall agglomerierter Stoffe bei chemisch-technischen Verfahren an (Verfahren, Stoff, Durchführung des Agglomerierens, Apparatur, Erklärung für die Zweckmäßigkeit des Agglomerierens)!

3. Trennapparaturen. Oft enthalten die Rohstoffe Bestandteile, die beispielsweise den Ablauf der Reaktion verzögern oder Nebenreaktionen verursachen. Dadurch kann das gesamte Verfahren in Frage gestellt werden. Auch in den Rohprodukten werden häufig Stoffe angetroffen, die entfernt werden müssen.

Erze zum Beispiel enthalten meist einen bedeutenden Prozentsatz an taubem Gestein (Gangart). Dadurch würde die Metallherzeugung aus Erzen in zahlreichen metallurgischen Prozessen unwirtschaftlich. Man reichert daher in solchen Fällen die Erze vor der Verhüttung an.

In den Röstgasen der Schwefeldioxidherstellung ist der Prozentsatz an Arsenverbindungen zwar nur gering, diese Verbindungen sind aber bei der Herstellung der Schwefelsäure nach dem Kontaktverfahren starke Katalysatorgifte. Sie müssen aus den Röstgasen abgetrennt werden.

- Nennen Sie weitere Beispiele für Bestandteile, die aus Rohstoffen und Rohprodukten abgetrennt werden!

Für das Trennen von Gemengen gibt es in der chemischen Produktion zahlreiche Operationen. In Tabelle 16 sind einige davon zusammengestellt.

Tabelle 16 Operationen zur Stofftrennung

Aggregatzustand der zu trennenden Stoffe	Trennoperation
fest/fest fest/flüssig	Sieben, Schlämmen, Flotieren, Magnetscheiden Zentrifugieren, Dekantieren, Filtrieren, Auspressen, Trocknen, Extrahieren
fest/gasförmig flüssig/flüssig gasförmig/gasförmig	Waschen, Elektroentstauben Destillieren, Zentrifugieren Adsorbieren, Absorbieren, Kondensieren

- Erläutern Sie die in Tabelle 16 genannten Trennoperationen und nennen Sie Beispiele, wo sie in der chemischen Produktion angewandt werden!

Bei den meisten der in Tabelle 16 erfaßten Operationen werden die Stoffe durch die Wirkung mechanischer, elektrischer oder thermischer Kräfte getrennt.

- *Nennen Sie Beispiele für die Anwendung mechanischer, elektrischer und thermischer Kräfte zur Trennung!*

Daneben werden aus den Rohstoffen und Rohprodukten Bestandteile entfernt, indem man diese chemisch umsetzt oder löst. Beispiele dafür sind bei der Ammoniaksynthese die Entfernung von Kohlendioxid mit Ammoniaklösung und von Kohlenmonoxid aus dem Rohgas.

- *Nennen Sie Beispiele für die Trennung von Gemischen durch chemische Umsetzungen oder durch Lösen!*

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der zu trennenden Bestandteile bedingen die Trennoperation und den Bau des Trennapparates. Einige wichtige Trennapparate sind Wäscher (Abb. 58), Elektrofilter (Abb. 59), Drehfilter und Flotationszelle (Abb. 17, Seite 30).

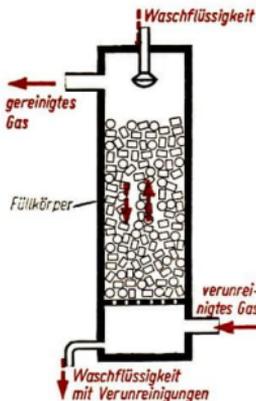


Abb. 58 Im Wäscher werden aus Gasen Stoffe mit Hilfe einer Waschlösung abgetrennt.

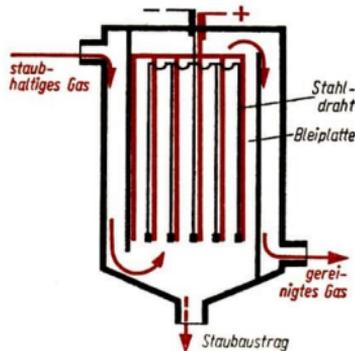


Abb. 59 Im Elektrofilter trennt man aus Gasen Staubteilchen oder Flüssigkeitströpfchen mit Hilfe eines elektrischen Feldes ab.

- *Nennen Sie chemisch-technische Verfahren, bei denen diese Apparate angewendet werden! Erklären Sie die Wahl der jeweiligen Trennoperation und den Bau des Apparates aus Eigenschaften der zu trennenden Bestandteile!
Fertigen Sie eine Tabelle über die Anwendung von Trennapparaten bei chemisch-technischen Verfahren an (Verfahren, Trennapparat, Trennoperation, abgetrennte Bestandteile)!*

4. Mischapparate. Das innige Vermischen der Ausgangsstoffe ist ebenfalls eine weitere wichtige Bedingung für den schnellen und reibungslosen Ablauf der Reaktion.

Verschiedentlich ist das Mischen eine Voraussetzung für die Trennung der Stoffe. Bevor zum Beispiel feingemahlenes Erz flotiert wird, stellt man durch Suspendieren eine sogenannte Erztrübe her. In der Erztrübe sind die Erzteilchen grob verteilt. Die Mischoperationen sowie Art und Aufbau der Mischapparaturen hängen stark vom Aggregatzustand und den Eigenschaften der zum Einsatz kommenden Stoffe ab. In Tabelle 17 sind einige Mischoperationen zusammengestellt.

Tabelle 17 Operationen zum Mischen von Stoffen

Aggregatzustand der zu mischenden Stoffe	Mischoperation
fest/fest	Vermengen, Zusammenschmelzen, Sintern Lösen, Suspendieren, Kneten Lösen Absorbieren
fest/flüssig	
flüssig/flüssig	
flüssig/gasförmig	

Zum Mischen werden vor allem mechanische und thermische Methoden angewendet. Sie verfolgen das Ziel, die Stoffe durch inniges Bewegen der Teilchen zu mischen.

- *Nennen Sie Mischoperationen, bei denen mechanische beziehungsweise thermische Methoden angewendet werden!*

An Mischapparaturen werden in der chemischen Produktion beispielsweise **Knetter** (Abb. 60), **Rührwerke** (Abb. 61), **Trommelmischer** (Abb. 62) und **Wäscher** angetroffen.



Abb. 60 Im Knetter mischt man zähflüssige Stoffe

Abb. 61 Das Rührwerk dient zum Mischen fester und flüssiger Stoffe

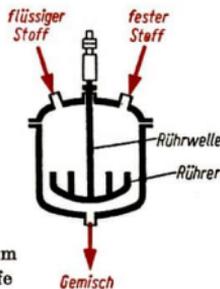


Abb. 62 Der Trommelmischer dient zum Mischen fester, pulverförmiger Stoffe

- *Erläutern Sie Funktion dieser Apparate! Geben Sie in Form einer Tabelle einen Überblick über das Mischen von Stoffen in der chemischen Produktion (Verfahren, Bezeichnung und Aggregatzustand der zu mischenden Stoffe, Mischoperation, Mischapparatur)!*

5. Wärmeaustauscher. Wärmeaustauscher werden eingesetzt, um Ausgangsstoffe vorzuwärmen und Reaktionsprodukte abzukühlen. Dabei wird häufig das Gegen-

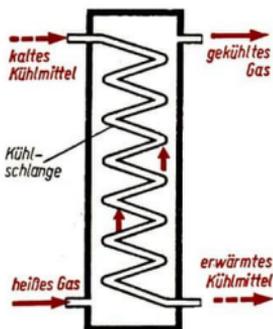


Abb. 63 Im Schlangenkühler wird das Gegenstromprinzip zum Energieaustausch angewendet.

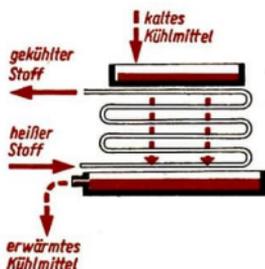
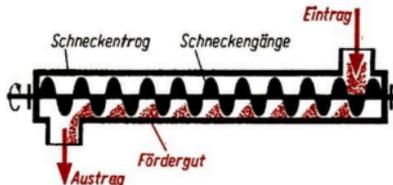


Abb. 64 Berieselungskühler.

Abb. 65 In der Förderschnecke wird das Einsatzgut durch das Drehen von Schnecken­gängen fortbewegt.



7. Lagereinrichtungen. Rohstoffe, Hilfsstoffe und Zwischenprodukte werden in der chemischen Produktion vorrätig gehalten. Damit wird eine wichtige Voraussetzung für den reibungslosen Ablauf der Stoffumsetzungen geschaffen. Lagereinrichtungen sind auch für die rationelle Ausnutzung des inner- und außerbetrieblichen Transportraumes (Waggon, Schiff usw.) notwendig. Häufig angewendete Lagereinrichtungen sind Freilager, Silos, Bunker, Behälter, Tanklager und Gasbehälter.

stromprinzip angewendet (s. Seite 84). In den Apparaten zum Wärmeaustausch berühren sich die Stoffe unterschiedlicher Temperatur nicht. Der Stoff mit der höheren Temperatur gibt Wärme an das ihn umgebende Material ab, die der Stoff mit der niedrigeren Temperatur von dort aufnimmt. Dieses Prinzip wird auch in einigen Reaktionsapparaten angewendet. Apparate zum Wärmeaustausch sind zum Beispiel Röhrenwärmeaustauscher (Abb. 51, Seite 84), Schlangenkühler (Abb. 63), Berieselungskühler (Abb. 64) und Regeneratoren (Abb. 54, Seite 85).

● *Erläutern Sie, daß der Wärmeaustausch dazu dient, chemisch-technische Verfahren rationell durchzuführen!*

6. Fördereinrichtungen. In den Betrieben der chemischen Produktion sind große Stoffmengen zu den Apparaten zu transportieren oder von dort abzuleiten. Die dazu verwendeten Fördereinrichtungen sind weitgehend vom Aggregatzustand der Stoffe abhängig. Gase und Flüssigkeiten fördert man hauptsächlich durch Rohrleitungen. Wenn diese Stoffe nicht durch Auftrieb (Gase) oder Gefälle (Flüssigkeiten) fortbewegt werden können, verwendet man Pumpen, Kompressoren oder Gebläse. Feste Stoffe bewegt man zum Beispiel durch Bandförderer, Becherwerke und Förderschnecken (Abb. 65).

Reaktionsapparate

Die Reaktionsapparate sind die charakteristischen Produktionsinstrumente der chemischen Produktion. Sie sind Behälter, in denen die chemische Umsetzung der Ausgangsstoffe zum Zwischen-, Roh- oder Endprodukt stattfindet. Entsprechend den Maßstäben einer chemischen Großproduktion sind die Reaktionsapparate meist außerordentlich umfangreich und groß dimensioniert.

1. Anforderungen. Chemisch-technische Verfahren werden rationell durchgeführt, wenn auch der Bau der Reaktionsapparate den Bedingungen genügt, unter denen eine Reaktion optimal abläuft.

- Stellen Sie Bedingungen für den optimalen Ablauf einer Reaktion zusammen, die durch den Einsatz von Apparaten zur Vorbereitung der Ausgangsstoffe auf die Reaktion geschaffen werden!

a) **Teilnehmende Phasen.** Der Bau der Reaktionsapparate ist von den an der Reaktion beteiligten Phasen abhängig. In Reaktionsapparaten, in denen homogene Reaktionen ablaufen, erübrigen sich meist Vorrichtungen zum Bewegen der Ausgangsstoffe während der Reaktion. Bei vielen heterogenen Reaktionen werden Reaktionsapparate verwendet, die bewegt werden oder in denen Vorrichtungen zum Bewegen der Reaktionsteilnehmer vorhanden sind.

- Erklären Sie an Hand von Beispielen Beziehungen zwischen dem Bau der Reaktionsapparate und den an der Reaktion beteiligten Phasen!

b) **Chemisches Verhalten der Reaktionsteilnehmer.** Die chemischen Eigenschaften der Reaktionsteilnehmer müssen beim inneren Aufbau des Reaktionsapparates und bei der Wahl der für seine Herstellung zu verwendenden Werkstoffe berücksichtigt werden.

- Erklären Sie am Beispiel der Downs-Zelle zur Natriumchloridelektrolyse Beziehungen zwischen den chemischen Eigenschaften der Reaktionsprodukte und dem Aufbau dieses Reaktionsapparates!

c) **Temperatur.** Von der Reaktionsgeschwindigkeit hängt im wesentlichen die Zeitdauer ab, für die das Stoffgemisch im Reaktionsapparat belassen werden muß. Kurze Verweilzeiten sind deshalb günstig, weil der Reaktionsapparat einen höheren Durchsatz hat.

In vielen Fällen ist die Reaktionsgeschwindigkeit bei Raumtemperatur viel zu gering. Man kann sie durch Temperaturerhöhung steigern. Die Temperaturerhöhung wirkt

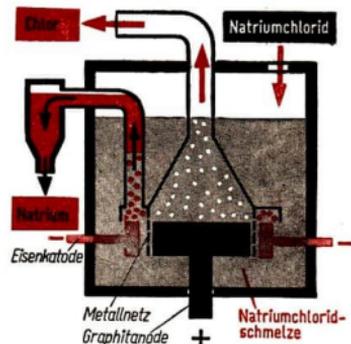


Abb. 66 Downs-Zelle zur Schmelzflußelektrolyse von Natriumchlorid

sich auf die Reaktion jedoch nicht nur beschleunigend aus. Bei Gleichgewichtsreaktionen verändert sich auch die Lage des Gleichgewichts. Deshalb sind der Anwendung dieser Methode in Gleichgewichtsreaktionen oft Grenzen gesetzt.

Ferner ist zu beachten, daß die chemischen Reaktionen erst ausgelöst werden, wenn den Reaktionsteilnehmern eine bestimmte Energiemenge zugeführt wird. Die Aktivierungsenergie kann durch thermische Behandlung der Reaktionsteilnehmer oder durch den Einsatz von Elektroenergie zugeführt werden.

Reaktionsteilnehmer, die sich zum Beispiel erst bei erhöhten Temperaturen mit wirtschaftlich vertretbarer Geschwindigkeit umsetzen oder bei denen die Umsetzung

unter ständiger Wärmezufuhr (endotherme Reaktion) ablaufen, werden in Wärmeaustauschern beziehungsweise im Reaktionsapparat selbst erwärmt. Reaktionsapparate können direkt oder indirekt beheizt werden. Beispiel für direkt beheizte Reaktionsapparate sind der Siemens-Martin-Ofen und der Drehrohfen zur Zementherstellung. Der Kokskammerofen zum Beispiel wird indirekt beheizt.

Umgekehrt müssen Reaktionsapparate, in denen exotherme Reaktionen ablaufen, oft mit Wärmeaustauschern ausgerüstet werden, um die Temperatur im Reaktionsraum konstant zu halten. Der Wassermantel des Generators für die Sauerstoffdruckvergasung ist dafür ein Beispiel.

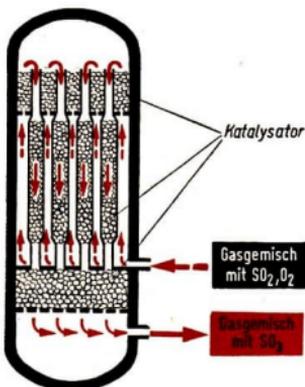


Abb. 67 Kontaktofen zur katalytischen Oxidation von Schwefeldioxid

- Zeigen Sie am Beispiel des Kontaktofens zur Schwefeltrioxidherstellung (Abb. 67), daß zwischen der Temperatur und dem Bau des Reaktionsapparates Beziehungen bestehen!

d) *Druck.* Homogene und heterogene Reaktionen, an denen Gase teilnehmen, werden häufig unter Druck durchgeführt, wenn sie mit einer Volumenminderung verbunden sind. Die Druckerhöhung bewirkt eine Konzentrationserhöhung und damit eine Beschleunigung der Reaktion.

Reaktionsapparate, die unter hohem Druck arbeiten, müssen aus sehr druckfestem und für die Reaktionsteilnehmer gleichzeitig weitgehend undurchlässigen, starkwandigen Material bestehen. Für den Bau solcher Reaktionsapparate verwendet man Spezialstähle. An die Stahlwandungen der Normaldruckapparate werden nicht so hohe Anforderungen gestellt.

- Stellen Sie chemisch-technische Verfahren nach dem bei ihnen angewandten Druck zusammen (Verfahren, Normaldruck bzw. erhöhter Druck, Ausgangsstoffe, Reaktionsapparat, Endprodukte)!

e) *Katalysatoren.* Durch den Einsatz geeigneter Katalysatoren wird die Aktivierungsenergie bedeutend herabgesetzt, und die Reaktionsgeschwindigkeit wird größer. Zahlreiche großtechnische Verfahren wurden überhaupt erst durch die Anwendung von Katalysatoren möglich. Katalysatoren haben keinen Einfluß auf die Lage des

chemischen Gleichgewichts. Man unterscheidet zwischen der heterogenen und der homogenen Katalyse. Im ersten Falle werden Gas- oder Lösungsreaktionen durch feste Katalysatoren, die meist in Röhren oder Horden fest im Reaktionsapparat angeordnet sind, beschleunigt, im zweiten Falle bilden die reagierenden Stoffe und Katalysatoren eine einzige Phase (Gas- oder Lösungsphase).

- Geben Sie eine Übersicht über die Anwendung von Katalysatoren bei chemisch-technischen Verfahren (Verfahren, Ausgangsstoffe, Katalysator, Art der Katalyse, Reaktionsapparat)!

2. Einteilung in Apparatetypen. Der optimale Verlauf chemischer Reaktionen ist stets von mehreren Bedingungen abhängig. Daher genügt auch der Bau eines Reaktionsapparates mehreren Anforderungen gleichzeitig.

- Nennen Sie Bedingungen, unter denen die Ammoniaksynthese optimal verläuft! Welche Forderungen ergeben sich daraus für den Bau des Ammoniak-Kontaktovens? Erläutern Sie, daß der Ammoniak-Kontaktoven (Abb. 68) zweckentsprechend gebaut ist!

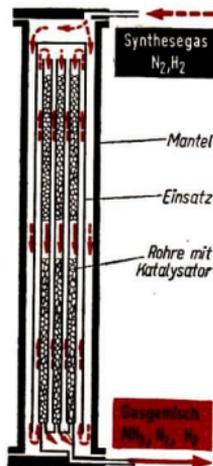


Abb. 68 Im Ammoniak-Kontaktoven werden Stickstoff und Wasserstoff katalytisch zu Ammoniak umgesetzt.

Wenn man als Prinzip für die Einteilung der Reaktionsapparate alle Anforderungen an den Bau gleichermaßen berücksichtigen wollte, ergäben sich große Schwierigkeiten. Daher werden hier nur einige dieser Anforderungen für die Einteilung berücksichtigt. Wesentliche Anforderungen an den Bau aller Reaktionsapparate ergeben sich aus dem Zusammenwirken von Druck und Temperatur. Davon ausgehend kann man die Reaktionsapparate nach folgenden Gesichtspunkten einteilen, wenn als Grenzwerte 1 at und 400 °C gewählt werden:

Typ	Druck in at	Temperatur in C°
A	≤ 1	≤ 400
B	≤ 1	> 400
C	> 1	≤ 400
D	> 1	> 400

Berücksichtigt man die Form der Reaktionsapparate, so lassen sich im wesentlichen zwei Gruppen unterscheiden, die rohrförmigen und die kessel-(wannen)förmigen Reaktionsapparate.

- Nennen Sie Beispiele für kessel-(wannen)förmige und für rohrförmige Reaktionsapparate!

In Tabelle 18 liegen der Einteilung der Reaktionsapparate die Form und die Bedingungen Druck und Temperatur zugrunde. Man erhält, wenn zwischen Hochdruckapparaturen (Druck > 1 at) nicht differenziert wird, sechs Apparatetypen.

Tabelle 18 Charakteristik von Apparatetypen nach Form, Druck und Temperatur

Form	Druck, Temperatur		
	≤ 1 at, ≤ 400 °C	≤ 1 at, > 400 °C	> 1 at, ≤ 400 °C und > 1 at, > 400 °C
rohrförmig	Reaktionsturm	Reaktionsofen	Druckrohr
kessel-(wannen-)förmig	Reaktionsgefäß	Gefäßofen	Autoklav

In dieses System lassen sich die meisten Reaktionsapparate einordnen. Eine Sonderstellung besitzen elektrisch betriebene Reaktionsapparate. Bei ihnen unterscheidet man als Apparatetypen Elektrolysezellen und Elektroöfen. Sie gehören zu den kessel-(wannen)förmigen Reaktionsapparaten.

3. Charakteristik der Apparatetypen. Im folgenden werden weitere Merkmale der Apparatetypen genannt.

a) *Rohrförmige Reaktionsapparate.* Zu den rohrförmigen Reaktionsapparaten gehören die Apparatetypen: Reaktionsofen, Reaktionsturm und Druckrohr.

Die Reaktionsöfen sind meist mit einer verhältnismäßig starken Schicht feuerfesten Materials (z. B. Schamotte) ausgekleidet. Zu diesem Apparatetyp sind außerordentlich viele Reaktionsapparate zusammengefaßt, so daß es zweckmäßig ist, ihn nach dem Bau noch weiter zu untergliedern. Man erhält dann folgende Apparatgruppen: Schachtofen, Drehrohröfen, Etagenöfen und Verbrennungsöfen.

Schachtofen (Abb. 69) sind im allgemeinen aufrecht stehende und von oben her zu beschickende, mit feuerfestem Material ausgekleidete Reaktionsapparate. Sie werden meist direkt beheizt, indem der Brennstoff dem Reaktionsgut beigemischt wird.

● Nennen Sie Reaktionsapparate, die Schachtofen sind!

Drehrohröfen (Abb. 70) werden waagrecht oder leicht geneigt gelagert. Sie rotieren langsam um ihre Längsachse. Dadurch wird das Reaktionsgut durch den Ofen bewegt. Drehrohröfen werden meist beheizt. Je nach Verwendungszweck messen sie in der Länge bis zu 150 m und im Durchmesser bis zu 4 m.

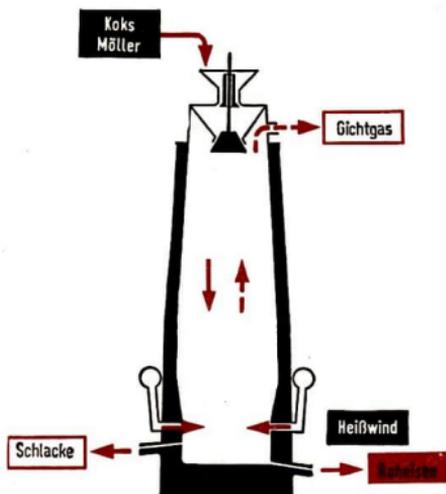


Abb. 69 Hochofen zur Roheisenherstellung

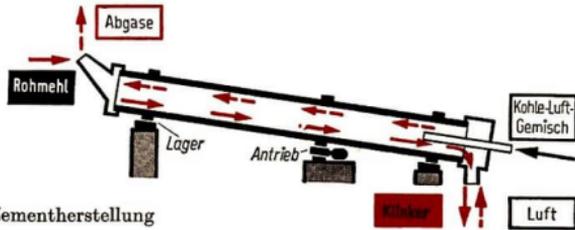


Abb. 70 Drehrohrföfen zur Zementherstellung

● Nennen Sie Beispiele für die Anwendung von Drehrohrföfen!

Verbrennungsföfen (Abb. 67, Seite 92) dienen zur Umsetzung gasförmiger Stoffe. In ihnen werden häufig feste Katalysatoren in Rohren oder auf Horden gelagert. Ein Beispiel für einen Verbrennungsofen ist der Kontaktofen zur Ammoniakverbrennung.

Die **Reaktionstürme** besitzen eine im Unterschied zu den Reaktionsföfen geringere Wandstärke. Ihnen fehlt meist eine Schamotteauskleidung. In vielen Fällen sind die Reaktionstürme als Kontaktofen ausgebildet. Sie werden besonders in organisch-chemischen Verfahren eingesetzt. Ein Beispiel für einen Reaktionsturm ist das Saturationsgefäß (Abb. 71).

● Nennen Sie weitere Beispiele!

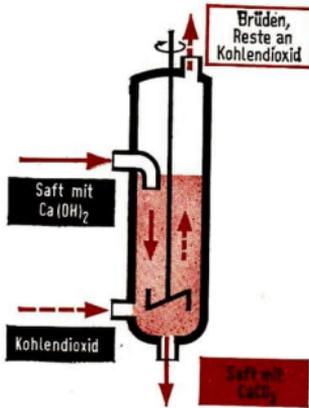


Abb. 71 Saturationsgefäß bei der Zuckergewinnung

Druckrohre (Abb. 68, Seite 93) sind starkwandige, oft 20 m hohe Reaktionsapparate mit verhältnismäßig geringem Durchmesser. Sie sind überwiegend Kontaktapparate.

● Führen Sie Beispiele für diesen Apparatetyp an!

b) **Kessel-(wannen)förmige Reaktionsapparate.** Kessel-(wannen)förmige Apparatetypen sind Gefäßföfen, Reaktionsgefäße, Autoklaven, Elektroöfen und Elektrolysezellen.

Gefäßföfen sind mit feuerfestem Material ausgekleidet. Sie werden direkt oder indirekt beheizt. Die Gefäßföfen werden weiter unterteilt. Den **Konvertern** (Abb. 19, Seite 31) wird keine Energie von außen zugeführt, bei den **Flammföfen** (z. B. Siemens-Martin-Ofen) wird die Wärme durch Verbrennung von Heizgasen im Reaktionsraum erzeugt. **Kokskammerföfen** werden indirekt beheizt.

● Nennen Sie für diese drei Gruppen von Gefäßföfen Beispiele!

Beispiele für **Reaktionsgefäße** sind Gärbottiche und Seifensiedekessel.

Autoklaven sind starkwandige Kessel, die häufig Rührwerke und Heiz- beziehungs-

weise Kühleinrichtungen enthalten. Äußerlich sind sie an den Flanschen und Scheiben, die Kessel und Deckel druckfest miteinander verbinden, zu erkennen.

● *Nennen Sie Produkte, die in Autoklaven hergestellt werden!*

Elektroöfen setzt man ein, wenn es auf hohe Temperaturen im Reaktionsapparat und auf eine neutrale Ofenatmosphäre ankommt.

● *Geben Sie Beispiele an!*

Bei allen elektrochemischen Verfahren werden **Elektrolysezellen** (Abb. 37, Seite 54) als Reaktionsapparate benutzt. Es sind meist flache Wannen. Das Elektrodenmaterial ist stark von dem Verfahren abhängig.

● *Stellen Sie eine Übersicht über die Anwendung von Elektrolysezellen zusammen (Verfahren, Apparat, Produkt)!*

Wiederholungsfragen und Aufgaben

1. Nennen Sie Beispiele für bedeutende chemische Großverfahren, die in der Deutschen Demokratischen Republik entwickelt wurden!
2. Welche Bedeutung hat der Austausch wissenschaftlicher und technischer Dokumentationen im sozialistischen Lager für die weitere Entwicklung der Volkswirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik?
3. Nach welchen Gesichtspunkten lassen sich die chemisch-technischen Reaktionen systematisieren? Nennen Sie Beispiele für Grundtypen chemisch-technischer Reaktionen!
4. Nennen Sie Bedingungen für eine rationelle Durchführung chemischer Produktionsprozesse!
5. Zeigen Sie am Beispiel der Ammoniaksynthese, welche Methoden zur Reaktionsbeschleunigung in der chemischen Produktion angewandt werden!
6. Welche Anforderungen sind an den Bau der Reaktionsapparate zu stellen? Geben Sie dafür Beispiele!
7. Welche Gruppen von Apparaten und Maschinen zur Vorbereitung der Rohstoffe und zur Aufarbeitung der Rohprodukte sind Ihnen bekannt? Nennen Sie Beispiele!
8. Charakterisieren Sie Apparatetypen der chemischen Produktion!
9. Welche Forderungen ergeben sich an andere Industriezweige aus der vorrangigen Entwicklung der chemischen Industrie in der Deutschen Demokratischen Republik?
10. Fertigen Sie über einige chemisch-technische Verfahren Übersichten an, in denen folgende Gesichtspunkte beachtet werden sollen: Ausgangsstoffe, Operationen und Apparaturen zur Aufbereitung, Reaktionsapparat, Zuordnung des Reaktionsapparates zu einer Gruppe, chemische Gleichung, Zuordnung der Reaktionsgleichung zu einer Gruppe (Reaktionstyp, teilnehmende Phasen), Operationen und Apparaturen zur Aufbereitung der Reaktionsprodukte, Produkte des Verfahrens!

Schülerversuche

S 1: Fällungsreihe einiger Metalle

5 Bechergläser (50 ml).

1 m Lösungen von Eisen(II)-sulfat, Kupfersulfat und Silbernitrat; verdünnte Schwefelsäure, jeweils drei Eisen- und Kupferblechstücke, Wasser.

Die 1 m Salzlösungen werden in drei Bechergläser gegeben. Man reinigt die Oberflächen der Metalle durch Eintauchen in verdünnte Schwefelsäure und anschließendes Abspülen mit Wasser. Dann taucht man jeweils ein Stück eines jeden Metalls in eine der drei Lösungen.

- *Beobachten Sie die Metalloberflächen!*
Ordnen Sie die Metalle Eisen, Silber und Kupfer auf Grund ihres Verhaltens in eine Reihe!
Stellen Sie die Redoxgleichungen für die Vorgänge auf!

S 2: Zink-Kupfer-Element

Becherglas (150 ml, hohe Form), Reagenzglas mit durchstoßenem Boden, Filterpapier, Spannungsmeßgerät (Meßbereich etwa 2 bis 5 V), 3 Verbindungsdrähte mit Bananensteckern, 2 Krokodilklemmen, Glühlampenbrett, durchbohrter Stopfen. 1 m Kupfersulfatlösung, 1 m Zinksulfatlösung, Kupferblech, Zinkstab oder Zinkblechstreifen.

Auf den Boden eines durchstoßenen Reagenzglases bringt man einen Filterpapierpfropfen, der durch Rollen eines Filterpapierstreifens hergestellt wurde. Dann füllt man das Glas etwa zur Hälfte mit 1 m Zinksulfatlösung und setzt es sofort in das mit 1 m Kupfersulfatlösung gefüllte Becherglas. Die Flüssigkeitsoberflächen sollen in beiden Gefäßen gleich hoch sein. Man bringt schließlich die Elektroden, der Abbildung 72 entsprechend, in die Gefäße und schließt an jede einen Leitungsdraht an. Die Leitungsdrähte sind kurzzeitig mit den Klemmen eines Spannungsmeßgerätes zu verbinden.

- *Wie ist das Spannungsmeßgerät zu schalten?*
Begründen Sie diese Feststellung!
Lesen Sie die Spannung bei kurzzeitigem Anschluß des Meßgerätes ab. Schalten Sie dann eine Glühlampe an und beobachten Sie die Spannung weiter! Welche Schlußfolgerungen können Sie ziehen?
Wandeln Sie diesen Versuch ab, indem Sie in das Reagenzglas andere 1 m Metallsalzlösungen und die entsprechenden Metalle als Elektroden bringen. Vergleichen Sie die Meßergebnisse!

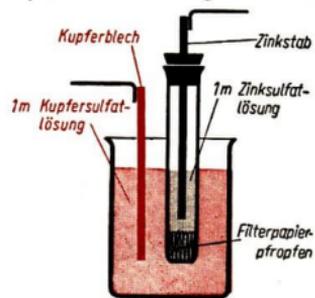


Abb. 72 Zink-Kupfer-Element

S 3: Wirkungsweise des Bleiakкумуляtors

Reagenzglas (30 mm × 200 mm), dreifach durchbohrter Stopfen, Glasrohr, Spannungsquelle (Stromversorgungsgerät), Spannungsmessgerät, Glühlampenbrett (Glühlampe 2V), 2 Krokodilklemmen, Verbindungsdrähte mit Bananensteckern.

2 Bleistäbe als Elektroden, 20%ige Schwefelsäure.

Die Apparatur wird nach der Abbildung 73 zusammengesetzt. Man elektrolysiert mit 4 Volt, bis an der Anode eine kräftige Sauerstoffentwicklung einsetzt.

- *Betrachten Sie die Oberflächen der Elektroden. Erklären Sie die Veränderungen und stellen Sie die Reaktionsgleichung für den Ladevorgang auf!*

Anschließend mißt man die Spannung und schließt die Glühlampe an.

- *Vergleichen Sie das Ergebnis dieses Versuchs mit dem des Schülerversuches S 2!*



Abb. 73 Versuchsanordnung zur Wirkungsweise des Bleiakкумуляtors

S 4: Elektrochemische Korrosion

Tropfpipette, Glasplatte.

Je 1 Streifen Zink- und Eisenblech, 1 Streifen Eisenblech, der zur Hälfte in flüssiges Zink getaucht wurde; verdünnte Salzsäure.

Die drei Metallstreifen werden auf die Glasplatte gelegt. Aus der Pipette gibt man einen Tropfen Salzsäure zunächst auf den teilweise mit Zink überzogenen Streifen und zwar so, daß zugleich das Zink und das unverzinkte Eisen benetzt werden. Zum Vergleich gibt man auch je einen Tropfen Salzsäure auf den Eisen- und den Zinkstreifen. Man läßt etwa 30 min einwirken und spült dann ab.

- *Beobachten Sie die Reaktion und die Veränderungen! Geben Sie eine Erklärung für diese Erscheinungen!*

S 5: Reaktion von Kupfer mit verdünnter und mit konzentrierter Salpetersäure

Kristallisierschale, Becherglas (50 ml), weites Becherglas (400 ml), Reagenzglas, Kupferspäne, verdünnte und konzentrierte Salpetersäure, Wasser.

In einer Apparatur nach Abbildung 74 bringt man im kleinen Becherglas einige Kupferspäne mit 3 bis 4 ml konzentrierter Salpetersäure zusammen. Das große Becherglas ist sofort überzustülpen, damit die giftigen Gase nicht entweichen können. Im Reagenzglas versetzt man anschließend Kupferspäne mit verdünnter Salpetersäure.



Abb. 74 Einwirkung von Salpetersäure auf Kupfer

- *Vergleichen Sie die Ergebnisse beider Teilversuche! Geben Sie eine Erklärung, und stellen Sie die Reaktionsgleichung auf!*

Vorsicht vor Stickoxiden! Die Apparatur ist unter dem Abzug oder im Freien abzubauen!

S 6: Entwässern von Kupfer(II)-sulfat

2 Reagenzgläser, Pipette, Brenner.
Kupfer(II)-sulfatkristalle, Wasser.

Im Reagenzglas wird Kupfer(II)-sulfat kräftig erhitzt.

- *Beobachten Sie die Veränderungen der festen Substanz und an den kälteren Teilen des Reagenzglases!
Geben Sie auf einen Teil des abgekühlten Reaktionsproduktes in einem zweiten Reagenzglas einen Tropfen Wasser!*

S 7: Elektrolyse von Schwefelsäure unter Verwendung einer Kupferanode

U-Rohr mit Seitenrohren, Spannungsquelle, Kohlestab, 2 Zuleitungsdrähte, 2 durchbohrte Gummistopfen, 2 Krokodilklemmen.
Kupferstab, verdünnte Schwefelsäure.

In der Apparatur, die nach Abbildung 75 zusammengestellt wird, elektrolysiert man verdünnte Schwefelsäure mit einer Gleichspannung von 4 Volt.

- *Beobachten Sie die Vorgänge im Anoden- und Katodenraum!
Geben Sie die Vorgänge in Gleichungen wieder!*



Abb. 75 Elektrolyse von Schwefelsäure unter Verwendung einer Kupferanode

S 8: Nachweis von Kupfer durch Flammenfärbung

Brenner, Magnesiastäbchen, 2 Uhrglasschalen, Spatel, Kupferdraht, Reagenzglashalter, Brenner.
Verschiedene Kupfersalze, konzentrierte Salzsäure.

Auf eine Uhrglasschale gibt man einige Tropfen konzentrierte Salzsäure, auf eine zweite je eine Spatelspitze verschiedener Kupfersalze. Zunächst wird der Kupferdraht mit dem Reagenzglashalter gefaßt und in der Flamme längere Zeit geglüht. Dann taucht man ihn in Salzsäure und glüht nochmals.

- *Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie aus dem Ergebnis?*

Ein Magnesiastäbchen wird ausgeglüht und noch heiß zunächst in konzentrierte Salzsäure und anschließend in eines der Kupfersalze getaucht. Dann hält man das Stäbchen in die Flamme des Brenners.

- *Untersuchen Sie weitere Kupfersalze in der gleichen Weise!
Vergleichen Sie die Ergebnisse bei den einzelnen Proben!
Warum muß das Magnesiastäbchen in Salzsäure getaucht werden?
Welche Anwendung dieser Reaktion ist Ihnen aus der organischen Chemie bekannt?*

S 9: Lichtempfindlichkeit der Silberhalogenide

2 Reagenzgläser, Glastrichter, Rundfilter, schwarzes Papier, Glasplatte, Filtrierstativ.
Kaliumbromid, Silbernitratlösung, Wasser.

Im Reagenzglas ist Silberbromid auszufällen. Der Niederschlag wird anschließend möglichst schnell abfiltriert. Das Filter nimmt man aus dem Trichter heraus und breitet es auf der Glasplatte aus. Ein Teil des Niederschlages auf dem Filter wird mit schwarzem Papier abgedeckt.

- *Stellen Sie das Ergebnis nach etwa 15 min fest!
Führen Sie entsprechende Versuche mit Silberchlorid und Silberjodid aus!*

S 10: Reaktion von Kupfersalzlösungen mit Ammoniak

2 Reagenzgläser, Reagenzglashalter, Tropfpipette.
Kupfersulfat, Natronlauge, Ammoniaklösung, Wasser.

Man stellt etwa 6 ml Kupfersulfatlösung her und verteilt diese auf zwei Reagenzgläser. Einem Teil der Lösung setzt man Natronlauge zu. Zum anderen Teil der Lösung wird tropfenweise Ammoniaklösung gegeben; dabei ist ständig zu schütteln.

- *Vergleichen Sie das Ergebnis beider Teilversuche!
Versetzen Sie auch den Niederschlag des ersten Teilversuches mit Ammoniaklösung!
Stellen Sie die Reaktionsgleichungen auf!*

S 11: Verhalten des Silberthiosulfato-Komplexes

2 Reagenzgläser.
Silbernitratlösung, Natriumthiosulfatlösung und Natriumchloridlösung in Pipettenflaschen.

In einem Reagenzglas ist eine Fällung von Silberchlorid herzustellen, die man anschließend tropfenweise mit Natriumthiosulfatlösung versetzt und kräftig schüttelt. Im zweiten Reagenzglas sind 2 ml Silbernitratlösung mit 3 ml Thiosulfatlösung zu versetzen. Dann gibt man tropfenweise Natriumchloridlösung dazu.

- *Formulieren Sie das Ergebnis des ersten Teilversuches in Reaktionsgleichungen!
Begründen Sie das Ergebnis des zweiten Teilversuches!*

S 12: Reaktion von Silber-Ionen mit Eisen(II)-salzlösungen

Reagenzglas, Reagenzglashalter, Brenner.
Eisen(II)-sulfat, Silbernitratlösung, Wasser.

Eine Eisen(II)-sulfatlösung wird im Reagenzglas frisch bereitet. Man versetzt mit Silbernitratlösung und erhitzt bis zum Sieden.

- *Welche Veränderungen treten auf? Formulieren Sie die Redoxgleichung!*

S 13: Reduktion von Kaliumdichromat

3 Reagenzgläser.

Kaliumdichromat, Kaliumpermanganat, schweflige Säure, Äthanol, Wasser, verdünnte Schwefelsäure.

Kaliumdichromatlösung wird im Reagenzglas mit schwefliger Säure versetzt.

- *Beobachten Sie die Farbänderungen, und stellen Sie die Redoxgleichung für den Vorgang auf!*

Anschließend säuert man eine Kaliumdichromatlösung mit einigen Tropfen verdünnter Schwefelsäure an und versetzt mit etwas Äthanol.

- *Beobachten Sie die Veränderungen, und prüfen Sie nach der Reaktion den Geruch der Lösung!
Stellen Sie auch hierfür die Redoxgleichung auf!
Welche praktische Bedeutung hat diese Reaktion?
Wiederholen Sie diese Versuche mit einer Kaliumpermanganatlösung an Stelle der Kaliumdichromatlösung!*

- Abscheidungsverfahren** 17
Addition 82
Akkumulatoren 18—25
Aktiniden 10
Aktivierungsenergie 92
Alchimie 67, 72
Ammoniaksynthese 83
Anionenkomplex 39
Anlagerungskomplex 38, 39
Anodenschlamm 32, 34, 35
Apparatentypen 93—96
Äquivalentgewicht 51
Arbeitsweise, kontinuierliche 82—83
 —, periodische 83
ARRHENIUS, SVANTE 64, 73
Atom-bau 6, 64
 —, der Nebengruppenelemente 6—13
 —-begriff 60—66
 —-kern 64, 65
 —-modell von RUTHERFORD und BOHR 63—65
 —, wellenmechanisches 65
 —-radius 25
 —-theorie DALTONS 62—63
Außenelektronen 10, 11
Autoklav 94, 95
- Backenbrecher** 86
Bandförderer 90
Basebegriff 72—76
 —, BOYLES 72
 —, BRÖNSTEDTS 74—75
Becherwerk 90
Behälter 90
Berieselungskühler 90
Bleilakkumulator 21—22, 98
BOHR, NIELS 64
Bondern 24
Brecher 86
Brünieren 24
Bunker 90
Buntmetallschrott 35
BUTLEROW, ALEXANDER MICHAILO-WITSCH 63
- CHADWICK, JAMES** 65
chemische Energie 20, 21
 — Industrie 78
- Produktion 78
 — — in der DDR 78—80
Chrom 47—50
 —, Eigenschaften 47—48
 —, Herstellung 47—48
 —, Oxydationsstufen 48—51
 —-verbindungen 48—50
 —, Verwendung 47—48
- DALTON, JOHN** 62, 63
Diamminsilber-hydroxid 40
Dithiosulfatoargentat-komplex 39
Drehfilter 88
Drehrohren 53, 57, 94
Druck 92
 —-rohr 94, 95
Durchdringungskomplex 38, 39
- Edelmetall** 26, 32
Eigenpotential 14, 15, 16
elektrische Doppelschicht 14
elektrische Energie 20, 21
elektrochemische Vorgänge 13—25
Elektrodenreaktionen 21
Elektrofilter 88
Elektrolyse, von Schwefelsäure 90
 —-zelle 34, 54, 55, 96
Elektrolyt 21, 23, 32
 —-kupfer 32, 34, 35
elektrolytische Dissoziation 73
 — Raffination 32, 35
Elektronen 64
 —, Abgabe von 13
 —-anordnung 7, 8, 12
 —-hülle 6
 —, Bau 11
 —-schalen 6, 12
 —, äußere 10
 —-wolke 65
 —-zahl 6
Elektroöfen 96
elektrostatische Anziehung 15
Elementbegriff 60—66
Emulsion, fotografische 42
ENGELS, FRIEDRICH 66, 69
Entwickeln 44, 46
Entwickler, fotografischer 44
Erzaufbereitung 28—29
Erze, sulfidische 28
Etagenröstofen 29, 34
- Fällungsreihe, einiger Metalle** 97
Ferronickel 57
Fixieren 45, 46
Flammenfärbung, durch Kupfer 99
Flammöfen 95
Flotation 29
Flotations-Gl 29, 30
 —-zelle 29, 30, 34, 88
Förder-einrichtungen 90
 —-schnecken 90
fotochemische Industrie 47
 — Reaktion 43
Fotografie 41
 —, Grundlagen 41—47
fotografischer Prozeß 41—46
fotografische Schicht 43, 45
Fotomaterial 47
 —, Herstellung 41—42
 —, Verarbeitung 42—46
Fotopapier 43
Freilager 90
- GALVANI, LUIGI** 18
galvanische Elemente 18—25
galvanisches Bad 5
Gas-behälter 90
 —-blaseperiode 31
Gebläse 90
Gefäßöfen, 94, 95
Gegenstromprinzip 84, 90
Gesetz, der konstanten Proportionen 70
 —, der multiplen Proportionen 62
 —, der Periodizität 6, 63, 70, 71
 —, von der Erhaltung der Masse 69—70
Gitterstörungen 43
Gleichgewicht 15
Gleichgewichtsreaktion 92
Gold 25, 26
Grünspan 26
- Halbedelmetall** 26
HEISENBERG, WERNER 65
Höllenstein 36
Hydrierung 80, 81
Hydrochlorin 44
Hydronium-Ion 75
Hydroxid-Ion 73, 75

- Iatrochemie** 67–68
Ionen-austausch 81
 –, **Bildung farbiger** 12
 – **-zustand** 13, 14, 15
Isotopie 64
IWANENKO, DMITRIJ DIMITRIJEWITSCH
 65
Katalysator 11, 81, 92–93
Katalyse, heterogene 93
 –, **homogene** 93
Kernladungszahl 6, 64
Knetter 89
Kokskammeröfen 95
Komplexbildner 41
Komplexe, Bau 38–39
 –, **Eigenschaften** 40–41
 –, **Nomenklatur** 38–39
Komplex-Ionen 37, 40
 –, **Bezeichnung** 39–40
 – **-salze** 40, 41
 – **-verbindungen** 37–41
 –, **Entstehung** 37–38
 – **-zerfallskonstante** 40
Kompressor 90
Kontaktöfen 92, 93
Konverter 95
Konzentrationsperiode 30
Koordinationszahl 38
Korrosion 23, 25
 –, **elektrochemische** 22–25, 96
Korrosionsschutz 23–25
Kupfer 12, 15, 25–36
 –, **(I)-chlorid** 28
 –, **Eigenschaften** 26
 – **-erz** 28, 29, 30, 34, 35
 – **-gehalt der Erze** 28
 –, **(II)-hydroxid** 37
 – **-industrie in der DDR** 33
 –, **(II)-Ionen** 15, 37
 – **-kies** 28
 –, **Leitfähigkeit** 26
 –, **(I)-oxid** 28, 31
 –, **(II)-oxid** 27
 –, **(II)-salze, Färbung** 27
 – **-schiefer** 28, 33, 35, 36
 – **-stein** 30
 –, **Stellung im PSE** 25–26
 –, **(II)-sulfat** 27, 28, 37
 –, **Entwässern** 99
 –, **(I)-sulfid** 30, 31
 –, **technische Herstellung** 28–33
 – **-verbindungen** 27–28
 –, **Verwendung** 26, 27
Lagerreinrichtungen 90
Lanthaniden 10
latentes Bild 44, 45
LAVOISIER, ANTOINE LAURENT 68, 69, 72
Lecianchë-Element 21
LENIN, WLADIMIR ILJITSCH 66, 76
lichtempfindliche Schicht 41, 42
LIEBIG, JUSTUS VON 73
Liganden 38, 39
Lokalelement 22–25
LOMONOSSOW, MICHAEL WASSILIJEWITSCH 61, 62, 69, 70
Lösungsdruck 14, 15
 – **-elektrode** 11, 20, 22, 23
Luppen 57
Mangan 47–51
 –, **Eigenschaften** 48
 –, **Herstellung** 48
 –, **(II)-Ionen** 11
 –, **Oxydationsstufen**
 – **-verbindungen** 48–51
 –, **Verwendung** 48
Manganometrie 51
Massenwirkungsgesetz 40
MENDELEJEW, DMITRI IWANOWITSCH 6,
 63, 70, 71
Metall-atom 15
 – **-Ion** 15
Metalle der Nebengruppen des PSE
 5–58
metallurgische Industrie 79
MEYER, LOTHAR 70, 71
Mischapparate 88–89
Nasses Verfahren 33, 53–55
Nebengruppenelemente 5–58
 –, **Eigenschaften** 10–13
 –, **Stellung im PSE** 6–13
NERNST, WALTER 13, 14
Neutron 65
Nickel 56–57
 –, **Eigenschaften** 56
 – **-erze** 56, 57
 – **-feinstein** 56
 – **-rohstein** 56
 –, **technische Gewinnung** 56–57
 –, **Verwendung** 56
Niederschlagslektrode 19, 20, 23
Normal-elektrode s. Standard-elektrode
 – **-lösung** 51
 – **-potential s. Standardpotential**
 – **-Wasserstoffelektrode s. Standard-Wasserstoffelektrode**
Oberflächenschutz 52, 56
Ordnungszahl 6
Oxydation 20, 80
Oxydations-mittel 18, 48
 – **-stufe** 11, 13
PARACELUS 67, 68
Patina 26
Periodensystem der Elemente 70–71
 –, **Metalle der Nebengruppen** 5–56
 –, **I. Nebengruppe** 25, 26
Phase 82, 93
Phlogiston 68, 69
 – **-lehre** 68, 69
PLANCK, MAX 65
Polykondensation 82
Polymerisation 82
Potentialdifferenz 15–16
Programm der SED 78, 79, 80
Protonen 65
 – **-akzeptor** 74
 – **-donator** 74
PROUST, JOSÈPHE-LOUIS 70
PROUT, WILLIAM 63
Pumpen 90
Radioaktivität, Entdeckung 24
Reaktionen, chemisch-technische
 80–82
 –, **heterogene** 82
 –, **homogene** 82
Reaktionsapparate 91–96
 –, **Anforderungen** 91–93
 –, **kessel-(wannen)förmige** 93–96
 –, **rohrförmige** 93–95
 – **-gefäß** 94, 95
 – **-geschwindigkeit** 91, 92
 – **-ofen** 94, 95
 – **-teilnehmer** 91, 92
 – **-turm** 94, 95
 – **-typen** 80–82
Redox-gleichung 49
 – **-titration** 51
 – **-vorgang** 17, 20, 49, 51, 80, 81
Reduktion 20, 80
Reduktionsmittel 18
 –, **organische** 44, 45
Regenerativprinzip 85
Regenerator 85, 90
Rennverfahren 57
Rhenium 85
Rohkupfer 31, 32
Röhrenwärmeaustauscher 90
Rohr-leitungen 90
 – **-mühlen** 86
Rührwerke 89
RUTHERFORD, ERNEST 64
Sauerstoff, Anlagerung 80
Säure-Base-Reaktion 75
Säurebegriff 72–76
 –, **BOYLES** 72
 –, **BRÖNSTEDS** 74–75
 –, **LIEBIGS** 72–73
Schachtofen 30, 34, 84, 94
Schalenaufbau der Elemente in der
 4. Periode 8, 9
SCHEELE, KARL WILHELM 68
Scheidewasser 36
Schlangenkühler 90
Schwerkraftaufbereitung 29

- Selen 35
 Silber 25, 26, 36-37, 44, 45
 - -bromidkristalle 42, 43
 - -halogenide 36, 44, 45, 100
 - -Ion 38
 - -keime 44
 - -nitrat 36
 Silo 90
 Sinterband 86-87
 Spannungsreihe 15-18, 19, 20
 Spannungsunterschied 14
 Spurstein 30
 STAHL, GEORG ERNST 68
 Stahlveredler 48, 56
 Standard-elektrode 13, 15, 17
 - -potential 16, 17, 18, 20, 26, 54
 - -Wasserstoffelektrode 16
 Stein der Weisen 67
 Substitution 82
 Sulfid 44
- Tanklager 90
 Temperatur 91-92
 Tetramminkupfer(II)-komplex 39
 - -zink-komplex 39
 Thiosulfat-Ion 38, 45
 Trägermaterial 41, 42
 Trennapparaturen 87-88
 Trinatrium-dithiosulfatoargentat 40
- Trockenelement 21
 trockenes Verfahren 29-31, 33, 52, 55
 Trommelkonverter 30, 31, 34
 Trommelmischer 89
- Übergangselemente 9, 10, 12
 Ursäure 72
 USSANOWITSCH 75
- Valenzelektronen 26
 VEB Bergbau- und Hüttenkombinat
 „Albert Funk“ 53, 54
 VEB Filmfabrik Wolfen 47
 VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“
 80
 VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm
 Pieck“ 33, 35, 54
 VEB Nickelhütte St. Egidien 57
 Verbindungen, Aufspaltung 81
 Verblaseprozeß 30, 31
 Verbrennungsöfen 95
 Veresterung 82
 Verselfung 82
 Verzögerer 44
 VOLTA, ALESSANDRO 18
- Walzenbrecher 86
 Wärmeaustauscher 84, 89-90
 Wäscher 88, 89
 Wässern 45, 46
 Wasserstoff-Ionen 18, 75
 Wertigkeit, maximale stöchiometrische
 11, 12
 Winderhitzer 85
 Wirbelschichtrosten 53, 55, 57
- Zementation 53, 54
 Zentralion 38, 39, 41
 Zerkleinerungsapparaturen 85-86
 Zink 14, 15, 51-55
 - -atome 14, 15
 - -blende 52, 53, 54, 55
 - -, Eigenschaften 51-52
 - -erz 52, 53
 - -Ionen 14, 15
 - -Kupfer-Element 18-20, 97
 - -oxid 52
 - -salzlösung 14, 15
 - -sulfid 52
 - -, technische Herstellung 52-55
 - -, Verwendung 51-52

Abbildungen

Bauernbild, Berlin (47), VEB Fachbuchverlag, Leipzig (17, 20), VEB Filmfabrik Wolfen (30), Fotozirkel Feinznk Freiberg, Freiberg/Sa. (36, 37), Richard Grüneberg, Babelsberg (43), Louis Held, Weimar (14), Humboldt-Universität Berlin, Institut für Geschichte der Medizin und Naturwissenschaften (39), VEB Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“, Eisleben (16), Meusemann, Berlin (2. Kapitelbild), Maximilian Seifert, Berlin (1. Kapitelbild, 11, 31), Volk und Wissen, Volkseigener Verlag Berlin, Bildstelle (42), Zentralbild Berlin (3, 24, 35, 40, 41, 44, 45, 46, 48, 3. Kapitelbild, 49).

	I. GRUPPE		II. GRUPPE		III. GRUPPE		IV. GRUPPE	
	Haupt- gruppe	Neben- gruppe	Haupt- gruppe	Neben- gruppe	Haupt- gruppe	Neben- gruppe	Haupt- gruppe	Neben- gruppe
1. Periode	1 H 1,0080							
2. Periode	3 Li 6,940		4 Be 9,013		5 B 10,82		6 C 12,011	
3. Periode	11 Na 22,991		12 Mg 24,32		13 Al 26,98		14 Si 28,09	
4. Periode	19 K 39,100		20 Ca 40,08			21 Sc 44,96		22 Ti 47,90
		29 Cu 63,54		30 Zn 65,38	31 Ga 69,72		32 Ge 72,60	
5. Periode	37 Rb 85,48		38 Sr 87,63			39 Y 88,92		40 Zr 91,22
		47 Ag 107,880		48 Cd 112,41	49 In 114,82		50 Sn 118,70	
6. Periode	55 Cs 132,91		56 Ba 137,36			57* La 138,92		72 Hf 178,50
		79 Au 197,0		80 Hg 200,61	81 Tl 204,39		82 Pb 207,21	
7. Periode	87 Fr (223)		88 Ra (226)			89** Ac (227)		

* Lanthaniden

58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm (147)	62 Sm 150,35	63 Eu 152,0	64 Gd 157,26
--------------------	--------------------	--------------------	-------------------	--------------------	-------------------	--------------------

** Aktiniden

90 Th 232,05	91 Pa (231)	92 U 238,07	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)
--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

V. GRUPPE		VI. GRUPPE		VII. GRUPPE		VIII. GRUPPE			
Hauptgruppe	Nebengruppe	Hauptgruppe	Nebengruppe	Hauptgruppe	Nebengruppe	Hauptgruppe	Nebengruppe		
						2 He 4,003			
7 N 14,008		8 O 16		9 F 19,00		10 Ne 20,183			
15 P 30,975		16 S 32,066		17 Cl 35,457		18 Ar 39,944			
	23 V 50,95		24 Cr 52,01		25 Mn 54,94		26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,71
33 As 74,91		34 Se 78,96		35 Br 79,916		36 Kr 83,80			
	41 Nb 92,91		42 Mo 95,95		43 Tc (99)		44 Ru 101,1	45 Rh 102,91	46 Pd 106,4
51 Sb 121,76		52 Te 127,61		53 J 126,91		54 Xe 131,30			
	73 Ta 180,95		74 W 183,86		75 Re 186,22		76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09
83 Bi 209,00		84 Po (210)		85 At (210)		86 Rn (222)			

65 Tb 158,93	66 Dy 162,51	67 Ho 164,94	68 Er 167,27	69 Tm 168,94	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

97 Bk (249)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No	103 Lw
-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	-----------	-----------

Die Zahlen in Klammern
beziehen sich jeweils
auf ein Isotop
dieses Elementes.

031257-7
3,30