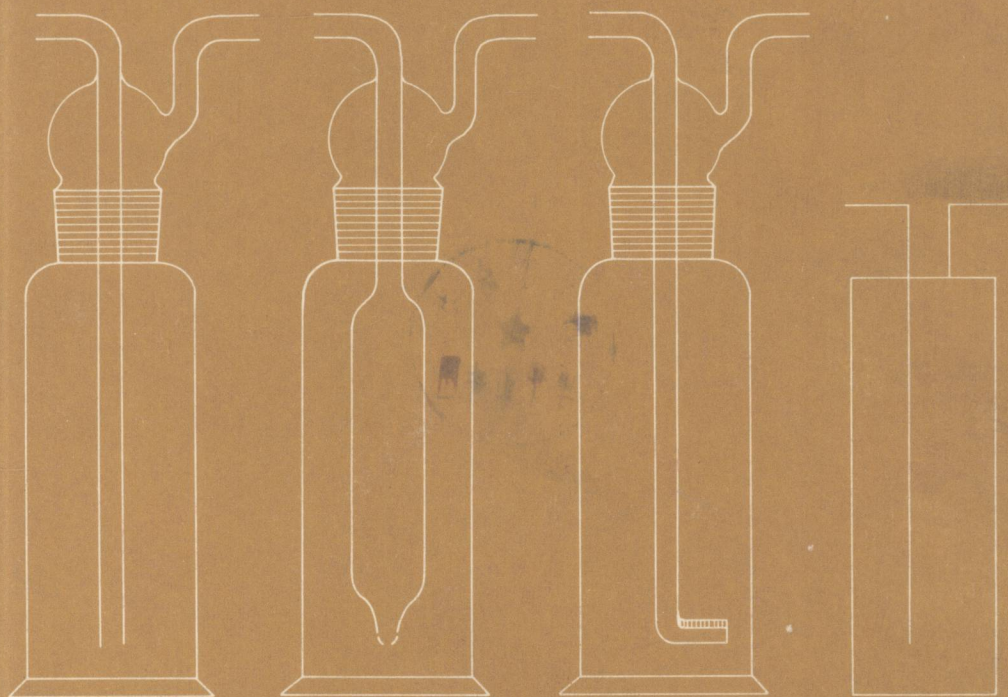


P. Habitz · H. Puff ·
O. Schmitz-DuMont

Chemische Unterrichtsversuche

6., völlig neu bearbeitete Auflage



Steinkopff · Darmstadt

H1
E6

8161465

CHEMISCHE UNTERRICHTSVERSUCHE

6. völlig neu bearbeitete
Auflage des von Heinrich Rheinboldt
begründeten Lehrbuches

von
PROF. DR. P. HABITZ
PROF. DR. H. PUFF
PROF. DR. O. SCHMITZ-DUMONT
Bonn

Mit 167 Abbildungen und 3 Tabellen



E8161465



DR. DIETRICH STEINKOPFF VERLAG
DARMSTADT 1979

Prof. Dr. P. Habitz, Telemannstr. 24, 5300 Bonn-Bad Godesberg
Prof. Dr. H. Puff, Anorganisch-Chemisches Institut der Universität Bonn, Gerhard-Domagk-
Straße 1, 5300 Bonn
Prof. Dr. O. Schmitz-DuMont, Malteserstraße 4, 5300 Bonn

Alle Rechte vorbehalten

Kein Teil dieses Buches darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Xerographie, Mikrofilm, unter Verwendung elektronischer Systeme oder anderer Reproduktionsverfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert werden. Bei Herstellung einzelner Vervielfältigungsstücke dieses Werkes oder von Teilen davon ist nach § 54, Abs. 2 URG eine Vergütung an den Verlag zu entrichten, über deren Höhe der Verlag Auskunft erteilt.

Copyright 1979 by Dr. Dietrich Steinkopff Verlag GmbH & Co. KG, Darmstadt

Printed in Germany

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Habitz, Peter:

Chemische Unterrichtsversuche / von P. Habitz ; H. Puff ; O. Schmitz-DuMont. – 6., völlig neu bearb. Aufl. d. von Heinrich Rheinboldt begr. Lehrbuches. – Darmstadt : Steinkopff, 1979.

1. – 5. Aufl. u.d.T.: Rheinboldt, Heinrich: Chemische Unterrichtsversuche.

ISBN 3-7985-0493-8

NE: Puff, Heinrich.; Schmitz-DuMont, Otto.; Rheinboldt, Heinrich: Chemische Unterrichtsversuche

Herstellung: Druckerei Triltsch, Würzburg

Vorwort zur 6. Auflage

Seit der etwa 17 Jahre zurückliegenden letzten Auflage der „Chemischen Unterrichtsversuche“ von H. Rheinboldt und O. Schmitz-DuMont haben sich die Auffassungen über die Ziele des Chemieunterrichts stark geändert. Nicht mehr die Kenntnis möglichst vieler Stoffe und Reaktionen wird als wesentlich angesehen; im Vordergrund stehen vielmehr die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten. Dieser Wandel machte eine völlige Neufassung des Werkes von Rheinboldt und Schmitz-DuMont notwendig.

So sind viele Versuche neu aufgenommen worden, die allgemeine Beziehungen innerhalb der Chemie – einschließlich der organischen – deutlich machen. Vor allem wurde die Zahl der Versuche, die quantitativ ausgewertet werden, erheblich vermehrt. Ausführliche, den einzelnen Kapiteln vorangestellte Querverweise sollen den Überblick über Zusammenhänge erleichtern.

Um den Umfang des Buches in Grenzen zu halten, wurden andererseits rein präparative Versuche, die keine allgemeinen Beziehungen verdeutlichen, nicht mehr aufgenommen. Aus dem gleichen Grunde mußten wir, wenn auch mit Bedauern, viele historische Fußnoten wesentlich kürzen, vor allem Hinweise auf Originalliteratur.

Das Buch ist in mit römischen Ziffern bezeichnete Abschnitte gegliedert, die jeweils nach der Dezimalklassifikation weiter unterteilt sind. Abschnitt I enthält neben allgemeinen Bemerkungen vor allem Hinweise zur Handhabung wichtiger Gase und gefährlicher Substanzen. Im Abschnitt II sind Versuche zur allgemeinen Chemie zusammengefaßt. Die Experimente zur anorganischen Chemie (Abschnitt III) sind in üblicher Weise nach dem Periodensystem geordnet. Abschnitt IV enthält die Versuche zur organischen Chemie, Abschnitt V eine Zusammenstellung von Reagenzien. Die Beschreibung der Versuche folgt einem festen Schema: Zunächst wird im Lapidarstil die Versuchsanordnung, meist anhand einer weitgehend schematisierten Zeichnung, angegeben. Dann sind die Geräte und Chemikalien aufgeführt, die zusätzlich als Hilfsmittel benötigt werden. Wenn erforderlich, werden darauf Maßnahmen zur Vorbereitung des Versuches geschildert. Anschließend wird die Versuchsausführung im einzelnen beschrieben. In besonderen Fällen werden noch Hinweise zur Beendigung des Versuches gegeben. Bei vielen quantitativen Versuchen wird das Prinzip der Auswertung erläutert; allerdings sind theoretische Erörterungen auf kurze Hinweise beschränkt worden.

Es sei auch an dieser Stelle eindringlich darauf aufmerksam gemacht, daß alle Angaben bezüglich Gefahrenquellen und Schutzmaßnahmen genauestens beachtet werden müssen.

Das vorliegende Buch soll dazu beitragen, eine zu weitgehende Theoretisierung des Chemieunterrichts („Kreidechemie“) zu vermeiden und dem Experiment seine Bedeutung als Grundlage des Chemieunterrichts und als Ausgangspunkt für die Ableitung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten zu erhalten. Um dieses Ziel zu erreichen, erfordern die meisten Versuche einen gewissen Aufwand, obwohl wir uns nach Möglichkeit um eine Vereinfachung bemüht haben; sie sind daher im wesentlichen für die Vorführung durch den Lehrer gedacht. Jedoch eignen sich viele davon, vor allem die zahlreichen Experimente zu den Eigenschaften der behandelten Stoffe, auch zum Einsatz bei Schülerübungen.

Wir glauben jedoch, daß die vorliegende Neufassung ebenso wie die früheren Auflagen der „Chemischen Unterrichtsversuche“ nicht nur in den Schulen, sondern auch bei der Ausbildung der Lehramtsstudenten und bei der Vorbereitung von Experimentalvorlesungen an den Hochschulen Verwendung finden kann.

Alle neuen und die meisten der übernommenen Versuche wurden sorgfältig erprobt. Für die dabei geleistete wertvolle Hilfe danken wir zahlreichen Mitarbeitern, vor allem den Herren *Erwin Daub*, *Albrecht Roloff* und Dr. *Peter Volz* sehr herzlich.

Bonn, März 1979

Peter Habitz
Heinrich Puff
Otto Schmitz-DuMont

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		V
I	Allgemeines	1
I-1	Abbildungen	1
I-2	Aufbau von Apparaturen	1
I-3	Rohre aus Glas und keramischem Material	2
I-3.1	Glasrohre als Reaktionsrohre	2
I-3.2	Glasrohre zur Verbindung von Apparateteilen	2
I-3.3	Rohre aus keramischem Material	2
I-4	Hähne	2
I-4.1	Quetschhähne	2
I-4.2	Glashähne	3
I-5	Schliffgeräte	4
I-5.1	Allgemeines über Schliffe	4
I-5.2	Schliffstopfen	5
I-5.3	Dichten von Schliffen	5
I-6	Bearbeitung von Glas	5
I-6.1	Biegen von Glasrohren	5
I-6.2	Abschneiden von Glasrohren	5
I-7	Platingeräte	6
I-8	Stopfen	6
I-8.1	Gummistopfen	6
I-8.2	Korkstopfen	7
I-8.3	Asbeststopfen	7
I-8.4	Das Einführen von Glasrohren in durchbohrte Stopfen	7
I-9	Schläuche	8
I-9.1	Gummischläuche	8
I-9.2	Schläuche aus Kunststoffen	8
I-10	Verbinden von Apparateteilen	8
I-11	Reinigen und Trocknen von Gefäßen	8
I-12	Reinigen und Trocknen von Gasen	9
I-12.1	Allgemeines	9
I-12.2	Trocknen mit flüssigen Reagenzien	9
I-12.3	Trocknen mit festen Reagenzien	10

I - 12.4	Trockenmittel für Gase	11
I - 13	Behandlung von Flüssigkeiten	11
I - 13.1	Aufbewahrung	11
I - 13.2	Das Abmessen von Flüssigkeiten	11
I - 13.3	Trocknen von Flüssigkeiten	11
I - 14	Stromquellen, elektrische Geräte und Schaltungen	12
I - 14.1	Stromquellen.	12
I - 14.2	Meßgeräte.	12
I - 14.3	Elektrische Schaltungen	13
I - 15	Brenner und Öfen.	13
I - 15.1	Gasbeheizte Geräte	13
I - 15.2	Elektrisch beheizte Öfen	14
I - 16	Temperaturmessung	15
I - 16.1	Flüssigkeitsthermometer.	15
I - 16.2	Elektrische Thermometer	15
I - 17	Spezielle Geräte.	17
I - 17.1	Thermoskop	17
I - 17.2	Waagen.	17
I - 17.3	Tropftrichter	17
I - 17.4	Vakuumpumpen	17
I - 17.5	Apparatur zur Vakuumdestillation	19
I - 17.6	Kolbenprobergerät.	20
I - 17.6.1	Beschreibung.	20
I - 17.6.2	Benutzung und Pflege	20
I - 17.6.3	Füllen des Kolbenprobers	21
I - 17.6.4	Zusatzgeräte	22
I - 17.6.5	Fehlerquellen bei der Benutzung	22
I - 17.7	Leitfähigkeitsprüfer	24
I - 17.8	Bezugsquellen	25
I - 18	Darstellung, Behandlung und Analyse von Gasen	27
I - 18.1	Geräte zum Entwickeln von Gasen.	27
I - 18.2	Auffangen von Gasen	31
I - 18.3	Aufbewahren von Gasen	32
I - 18.4	Stahlflaschen und Druckdosen	33
I - 18.5	Abmessen von Gasen	35
I - 18.6	Gasanalyse	37
I - 18.7	Reduktion von Gasvolumen auf Normalbedingungen.	37
I - 18.8	Verflüssigen von Gasen	40
I - 18.8.1	Kältemischungen	40
I - 18.8.2	Geräte zur Gasverflüssigung	42
I - 18.9	Knallgasprobe	42
I - 19	Gase für Unterrichtsversuche	43
I - 19.1	Wasserstoff	43
I - 19.2	Chlor	43

I - 19.3	Chlorwasserstoff	44
I - 19.4	Sauerstoff	44
I - 19.5	Schwefelwasserstoff	44
I - 19.6	Schwefeldioxid	45
I - 19.7	Stickstoff	45
I - 19.8	Ammoniak	46
I - 19.9	Distickstoffmonoxid	46
I - 19.10	Stickstoffmonoxid	46
I - 19.11	Methan	47
I - 19.12	Äthan	47
I - 19.13	Äthylen (Äthen)	47
I - 19.14	Acetylen (Äthin)	48
I - 19.15	Kohlenmonoxid	48
I - 19.16	Kohlendioxid	48
I - 20	Handhabung gefährlicher Substanzen	49
I - 20.1	Quecksilber	49
I - 20.2	Natrium	50
I - 20.3	Kalium	50
I - 20.4	Phosphor	50
I - 20.5	Brom	51
I - 20.6	Diäthyläther	51
I - 20.7	Schwefelkohlenstoff	52
II	Allgemeine Chemie	53
II - 1	Stöchiometrie	53
II - 1.1	Quantitative Wassersynthese bei Überschuß von Wasserstoff oder Sauerstoff	53
II - 1.2	Quantitative Wassersynthese in stöchiometrischem Volumen- verhältnis	54
II - 1.3	Thermische Dissoziation von Schwefelwasserstoff	59
II - 1.4	Quantitative Zersetzung von Ammoniak	60
	a) Durch elektrische Funken	60
	b) Katalytische Zersetzung	61
II - 1.5	Quantitative Synthese von Chlorwasserstoff	62
II - 1.6	Quantitative Oxidation von Kohlenmonoxid zu Kohlendi- oxid (Formelbestimmung von Kohlenmonoxid)	64
II - 1.7	Quantitative Oxidation von Kohlenstoff zu Kohlendioxid (Formelbestimmung von Kohlendioxid)	66
II - 1.8	Quantitative Oxidation von Schwefel zu Schwefeldioxid (Formelbestimmung von Schwefeldioxid)	67
II - 1.9	Quantitative Reduktion von Schwefeldioxid	68
II - 1.10	Quantitative Reduktion von Stickstoffmonoxid	69
II - 1.11	Bestimmung der Äquivalentmassen von Metallen durch Reak- tion mit Chlor	70
II - 1.12	Bestimmung der Äquivalentmassen von Kupfer und Sauer- stoff	71
	a) Reduktion von Kupferoxid durch Wasserstoff (Indirekte Syn- these des Wassers)	71
	b) Oxidation des bei der Reduktion erhaltenen Kupfers	73

II - 1.13	Sauerstoffentwicklung aus Wasserstoffperoxid und Kaliumpermanganat	74
II - 1.14	Kristallwasserbestimmung von Natriumcarbonat	75
II - 1.15	Thermische Zersetzung von Kohlenwasserstoffen	76
II - 1.16	Quantitative Analyse organischer Verbindungen	77
II - 1.16.1	Bestimmung von Kohlenstoff nach Schöniger	77
II - 1.16.2	Bestimmung von Kohlenstoff und Wasserstoff	78
II - 1.16.3	Bestimmung von Chlor nach Schöniger	80
II - 2	Molmassenbestimmung	81
II - 2.1	Bestimmung der Molmasse von Gasen durch Wägung (Molmasse von Methylnitrit)	81
II - 2.2	Bestimmung der Molmasse von Gasen aus der Ausströmungszeit	83
II - 2.3	Bestimmung der Molmasse durch Gefrierpunktserniedrigung	84
	a) Lösungsmittel bei Zimmertemperatur fest	84
	b) Lösungsmittel bei Zimmertemperatur flüssig	84
II - 2.4	Bestimmung der Molmasse durch Siedepunkterhöhung	85
II - 3	Bestimmung der Loschmidtschen Konstante	87
II - 4	Diffusion und Osmose	89
II - 4.1	Diffusion von Wasserstoff durch eine Tonzelle	89
II - 4.2	Nachweis des osmotischen Druckes	90
II - 5	Kalorimetrie	92
II - 5.1	Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters	92
II - 5.2	Bestimmung der spezifischen Wärme von Metallen	94
II - 5.3	Bestimmung von molaren Lösungsenthalpien	95
	a) Lösungsenthalpien von Salzen	95
	b) Lösungsenthalpie von Naphthalin in Benzol	96
II - 5.4	Bestimmung einer Hydratbildungsenthalpie	97
II - 5.5	Bestimmung von Neutralisationsenthalpien	97
II - 5.6	Reaktionsenthalpie bei der Bildung eines Niederschlags	98
II - 6	Chemisches Gleichgewicht	98
II - 6.1	Heterogenes Gleichgewicht: Thermische Zersetzung von Carbonaten	98
II - 6.2	Heterogenes Gleichgewicht: Thermische Zersetzung eines Amminkomplexes	100
II - 6.3	Boudouard-Gleichgewicht	102
	a) Gleichgewicht bei einer bestimmten Temperatur	102
	b) Temperaturabhängigkeit des Gleichgewichts	103
II - 6.4	Estergleichgewicht (Bildung und Verseifung von Essigsäureäthylester)	104
II - 6.5	Verschiebung eines Estergleichgewichts durch azeotrope Destillation (Darstellung von Essigsäurebutylester)	107
II - 7	Reaktionskinetik	108
II - 7.1	Zersetzung von Ameisensäure	108
II - 7.2	Entfärbung von Kristallviolett	110

II - 7.3	Inversion von Saccharose (Rohrzucker)	111
II - 8	Adsorption	113
II - 8.1	Adsorption von Gasen durch Aktivkohle	113
II - 8.2	Selektive Adsorption von Stickstoffdioxid	114
II - 8.3	Adsorption von Wasserdampf durch Kieselgel	115
II - 8.4	Adsorption flüchtiger Lösungsmittel durch Aktivkohle	115
	a) Adsorption von Benzol	115
	b) Wiedergewinnung des Benzols	117
II - 8.5	Adsorption gelöster Farbstoffe durch Aktivkohle	118
II - 8.6	Entfärbung von Rohrzuckerlösung durch Aktivkohle	118
II - 9	Chromatographie und Ionenaustausch	119
II - 9.1	Säulenchromatographie	119
	a) Trennung anorganischer Kationen	119
	b) Trennung organischer Farbstoffe	120
II - 9.2	Papierchromatographie	120
II - 9.2.1	Rundfiltermethode (Trennung der Farbstoffkomponenten einer Tinte)	120
II - 9.2.2	Streifenmethode (Trennung von Aminosäuren)	122
II - 9.2.3	Zylindermethode (Trennung der Farbstoffkomponenten eines Universalindikators)	123
II - 9.3	Dünnschichtchromatographie	124
	a) Trennung von Farbstoffgemischen	124
	b) Trennung der Blattfarbstoffe	124
	c) Trennung der Hydrolyseprodukte von Rohrzucker	125
	d) Trennung von Aminosäuren (zweidimensional)	126
II - 9.4	Ionenaustauscher (Enthärtung von Wasser).	128
II - 10	Elektrochemie	129
II - 10.1	Ionenleitung	129
II - 10.1.1	Elektrolyte und Nichtelektrolyte	129
	a) Organische Lösungsmittel und wäßrige Lösungen	129
	b) Leitfähigkeit und Ionenkonzentration	130
	c) Leitfähigkeit von Salzsäuren	130
	d) Erweichendes und schmelzendes Glas als Elektrolyt	130
II - 10.1.2	Ionenwanderung im elektrischen Feld.	131
II - 10.1.3	Konduktometrische Titration (Leitfähigkeitstitration)	133
	a) Titration von Salzsäure bzw. Essigsäure mit Natronlauge	133
	b) Titration eines Gemisches von Salzsäure und Essigsäure	133
	c) Titration von Oxalsäure mit Natronlauge	133
	d) Titration einer Bariumhydroxidlösung mit Schwefelsäure	133
II - 10.2	Elektrodenpotentiale	134
II - 10.2.1	Elektrochemische Spannungsreihe (qualitativ).	134
	a) Nachweis der Reaktionswärme	134
	b) Einordnung einiger Metalle	134
II - 10.2.2	Messung von Elektrodenpotentialen	135
II - 10.2.3	Konzentrationsabhängigkeit der EMK	137
	a) Silberelektrode (Elektroden I. Art)	137
	b) Silber-Silberchloridelektroden (Elektroden II. Art)	139
II - 10.2.4	Konzentrationsabhängigkeit des Redoxpotentials $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	139

II - 10.2.5	Bestimmung des Löslichkeitsproduktes von Silberchlorid . . .	141
II - 10.2.6	Bestimmung des Ionenproduktes von Wasser	142
II - 10.2.7	Elektrochemische Spannungsquellen	143
	a) Daniell-Element.	143
	b) Bleiakкумулятор	144
II - 10.2.8	Potentiometrische Titration	145
II - 10.3	Elektrolytische Vorgänge	146
II - 10.3.1	Gleichzeitige elektrolytische Abscheidung von Kupfer und Silber (Faradaysche Gesetze)	146
II - 10.3.2	Bestimmung der Faradaykonstante durch Elektrolyse einer Kaliumjodidlösung.	148
II - 10.3.3	Bestimmung des Ladungsverhältnisses $\text{Cu}^+/\text{Cu}^{2+}$	149
II - 10.3.4	Zersetzungsspannung einer Kupfersulfatlösung	151
II - 10.3.5	Schmelzflußelektrolyse von Lithiumchlorid	151
II - 10.3.6	Elektrolyse von Wasser	153
II - 10.3.7	Elektrolyse einer Zinksulfatlösung	155
II - 10.3.8	Kathodische Reduktion von Sauerstoff zu Wasserstoffperoxid.	156
II - 10.3.9	Elektrolytische Trennung von Kupfer und Nickel	157
	a) Qualitative Trennung.	157
	b) Quantitative Trennung	158
II - 11	Kolloidchemie	158
II - 11.1	Silbersol durch elektrische Zerstäubung	158
II - 11.2	Silbersol durch Reduktion von Silbernitrat	159
II - 11.3	Eisen(III)-hydroxid-Sol	159
II - 11.4	Antimon(III)-sulfid-Sol	159
II - 11.5	Elektrophorese	160
II - 11.6	Kieselsäure-Sol und -Gel	160
II - 12	Wasserähnliche Lösungsmittel	161
II - 12.1	Reaktionen in flüssigem Ammoniak	161
II - 12.2	Titration von Aminen mit Perchlorsäure in Eisessig	164
III	Anorganische Chemie	166
III - 1	Wasserstoff	166
III - 1.1	Wasserstoff aus Wasserdampf und Eisen.	166
	Eigenschaften von Wasserstoff	168
III - 1.2	Wasserstoff aus Wasserdampf und Magnesium	169
III - 1.3	Wasser als Verbrennungsprodukt von Wasserstoff	170
III - 1.4	Thermische Dissoziation von Wasserdampf	172
III - 2	Siebte Hauptgruppe	173
III - 2.1	Chlor	173
III - 2.1.1	Chlor aus Salzsäure und Kaliumpermanganat	173
	Eigenschaften von Chlor	174
III - 2.1.2	Chlor aus Salzsäure und Mangan(IV)-oxid	175
III - 2.1.3	Chloralkali-Elektrolyse	176
	a) Amalgamverfahren.	176
	b) Glocken- und Diaphragmaverfahren	178

III - 2.1.4	Chlor durch Oxidation von Chlorwasserstoff (Deacon-Prozeß)	179
III - 2.1.5	Reduktion von Chlor durch Wasserdampf (Umkehrung des Deaconprozesses)	180
III - 2.1.6	Chlorwasserstoff aus den Elementen (Chlorknallgas – Photochemische Reaktion)	181
	a) Zündung durch Flamme.	181
	b) Zündung durch Licht	182
III - 2.1.7	Chlorwasserstoff aus Natriumchlorid und Schwefelsäure	182
	Eigenschaften von Chlorwasserstoff	183
III - 2.1.8	Kaliumhypochlorit aus Kaliumcarbonatlösung und Chlor	185
	Eigenschaften von Hypochlorit	185
III - 2.1.9	Chlorkalk aus Calciumhydroxid und Chlor	186
	Eigenschaften von Chlorkalk	186
III - 2.1.10	Katalytische Zersetzung von Chlorkalk	187
III - 2.1.11	Kaliumchlorat durch Elektrolyse einer Kaliumchloridlösung	188
	Eigenschaften von Chlorat.	189
III - 2.1.12	Kaliumperchlorat durch anodische Oxidation einer Kaliumchloratlösung.	190
	Eigenschaften von Perchlorat	191
III - 2.2	Brom	192
III - 2.2.1	Bromwasserstoff aus den Elementen	192
	Eigenschaften von Bromwasserstoffsäure.	193
III - 2.2.2	Bromwasserstoff aus Phosphor, Brom und Wasser	194
	Eigenschaften von Bromwasserstoff	195
III - 2.2.3	Bromwasserstoff aus Brom und Kohlenwasserstoffen	196
III - 2.3	Jod	196
III - 2.3.1	Synthese und thermische Dissoziation von Jodwasserstoff	196
	Eigenschaften von Jodwasserstoffsäure	198
III - 2.3.2	Jodwasserstoff aus Phosphor, Jod und Wasser.	198
	Eigenschaften von Jodwasserstoff	199
III - 3	Sechste Hauptgruppe.	201
III - 3.1	Sauerstoff	201
III - 3.1.1	Sauerstoff durch thermische Zersetzung von Quecksilberoxid	201
III - 3.1.2	Sauerstoff aus Kaliumchlorat	202
	a) Katalysatorwirkung von Mangan(IV)-oxid	202
	b) Darstellung größerer Mengen Sauerstoff.	204
	Eigenschaften von Sauerstoff	205
III - 3.1.3	Sauerstoff aus Bariumperoxid.	206
III - 3.1.4	Ozon aus Sauerstoff durch elektrische Funken	207
III - 3.1.5	Ozon aus Sauerstoff durch stille elektrische Entladung	207
	Eigenschaften von Ozon	209
III - 3.1.6	Wasserstoffperoxid als primäres Verbrennungsprodukt von Wasserstoff	210
III - 3.1.7	Wasserstoffperoxid aus Bariumperoxid und Schwefelsäure	211
	Eigenschaften von Wasserstoffperoxid	211
III - 3.2	Schwefel	215
III - 3.2.1	Polymorphie von Schwefel.	215
	a) Monokliner Schwefel aus der Schmelze	215

	b) Rhombischer Schwefel aus monoklinem durch Umkristallisieren	215
	c) Plastischer Schwefel aus der Schmelze	215
III - 3.2.2	Synthese und thermische Dissoziation von Schwefelwasserstoff	216
III - 3.2.3	Schwefelwasserstoff aus Schwefeleisen und Salzsäure	217
	Eigenschaften von Schwefelwasserstoff	218
III - 3.2.4	Schwefelwasserstoff aus Schwefel und Kohlenwasserstoffen	219
III - 3.2.5	Katalytische Oxidation von Schwefelwasserstoff	219
III - 3.2.6	Natriumsulfid aus Natriumsulfat und Kohlenstoff	220
III - 3.2.7	Dischwefeldichlorid aus Schwefel und Chlor	221
	Eigenschaften von Dischwefeldichlorid	222
III - 3.2.8	Schwefeldioxid aus Natriumhydrogensulfit und Schwefelsäure.	223
	Eigenschaften von flüssigem und gasförmigem Schwefeldioxid	224
III - 3.2.9	Reduktion von Schwefeldioxid durch Magnesium	226
III - 3.2.10	Sulfurylchlorid aus Schwefeldioxid und Chlor	226
	Eigenschaften von Sulfurylchlorid	227
III - 3.2.11	Katalytische Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid (Kontaktverfahren).	228
III - 3.2.12	Schwefelsäure nach dem Bleikammerverfahren	229
	Eigenschaften von Schwefelsäure	231
III - 3.2.13	Reduktion von Schwefelsäure durch Kohlenstoff	232
III - 3.2.14	Kaliumperoxodisulfat durch anodische Oxidation	232
	Eigenschaften von Peroxodisulfat	234
III - 4	Fünfte Hauptgruppe	235
III - 4.1	Stickstoff	235
III - 4.1.1	Stickstoff aus Luft durch Bindung des Sauerstoffs an Kupfer	235
III - 4.1.2	Stickstoff aus Luft durch Bindung des Sauerstoffs an Phosphor	237
III - 4.1.3	Bildung und Zersetzung von Ammoniak (Ammoniak-Synthese)	238
III - 4.1.4	Ammoniak aus Ammoniaklösung und Kaliumhydroxid	240
	Eigenschaften von Ammoniak und Ammoniumsalzen	241
III - 4.1.5	Katalytische Oxidation von Ammoniak zu Stickstoffoxiden („Ammoniakverbrennung“)	242
III - 4.1.6	Oxidation von Ammoniak durch Chrom(VI)-oxid	243
III - 4.1.7	Stickstofftrichlorid durch Elektrolyse einer Ammoniumchloridlösung	244
III - 4.1.8	Distickstoffmonoxid aus Ammoniumsulfat und Natriumnitrat	245
	Eigenschaften von Distickstoffmonoxid	245
III - 4.1.9	Synthese von Stickstoffoxiden aus Luft	246
III - 4.1.10	Stickstoffmonoxid aus Salpetersäure und Kupfer.	248
	Eigenschaften von Stickstoffmonoxid.	248
III - 4.1.11	Distickstofftrioxid aus Salpetersäure und Arsen(III)-oxid.	250
	Eigenschaften von Distickstofftrioxid.	251
III - 4.1.12	Stickstoffdioxid (Distickstofftetroxid) durch thermische Zersetzung von Bleinitrat	251

	Eigenschaften von Stickstoffdioxid und Distickstoff- tetroxid	252
III - 4.1.13	Salpetersäure aus Kaliumnitrat und Schwefelsäure	253
	Eigenschaften von Salpetersäure	254
III - 4.1.14	Kaliumnitrit aus Kaliumnitrat	256
	Eigenschaften von Nitrit und salpetriger Säure	256
III - 4.2	Phosphor	257
III - 4.2.1	Darstellung von Phosphor	257
	Eigenschaften von Phosphor	260
III - 4.2.2	Phosphornachweis nach Mitscherlich	260
III - 4.2.3	Umwandlung von rotem in weißen Phosphor	261
III - 4.2.4	Umwandlung von weißem in roten Phosphor	262
III - 4.2.5	Verbrennung von Phosphor unter Wasser	263
III - 4.2.6	Phosphorwasserstoffe (Mono- und Diphosphan) aus Phosphor und Kalilauge	264
III - 4.2.7	Phosphortrichlorid aus Phosphor und Chlor	266
	Eigenschaften von Phosphortrichlorid	267
III - 4.2.8	Phosphorpentoxid	268
III - 4.3	Arsen und Antimon	269
III - 4.3.1	Bildung und thermische Zersetzung von Arsenwasserstoff	269
III - 4.3.2	Antimon aus Antimonsulfid und Eisen	270
	Eigenschaften von Antimon	271
III - 4.3.3	Bildung und thermische Zersetzung von Antimonwasserstoff	272
III - 5	Vierte Hauptgruppe	273
III - 5.1	Kohlenstoff	273
III - 5.1.1	Kohlenmonoxid und Kohlendioxid als Verbrennungsprodukte von Kohlenstoff	273
III - 5.1.2	Kohlenmonoxid durch Dehydratisierung von Ameisensäure	274
III - 5.1.3	Oxidation von Kohlenmonoxid durch Wasserdampf	275
III - 5.1.4	Reduktion von Kohlendioxid durch Kohlenstoff	276
III - 5.1.5	Reduktion von Kohlendioxid durch Magnesium	277
III - 5.1.6	Kohlendioxid in der Atemluft	278
	a) Beim Menschen	278
	b) Bei Pflanzen	278
III - 5.2	Silicium	279
III - 5.2.1	Monosilan aus Magnesiumsilicid und Salzsäure	279
III - 5.2.2	Siliciumtetrafluorid und Hexafluorokieselsäure	280
	Eigenschaften von Hexafluorokieselsäure	281
III - 5.3	Zinn und Blei	281
III - 5.3.1	Blei aus Blei(II)-oxid und Kohlenstoff	282
	Eigenschaften von Blei	282
III - 6	Dritte Hauptgruppe	283
III - 6.1	Aluminium	283
III - 6.1.1	Aluminiumchlorid aus Aluminium und Chlor	283
III - 6.1.2	Aluminothermie (Darstellung von Metallen durch Reduktion von Oxiden mit Aluminium)	284
III - 6.1.3	Thermischer Effekt bei der Reaktion von Eisenthermit	285
III - 6.1.4	Reaktion von Aluminium mit Natronlauge	286

III - 7	Zweite Hauptgruppe	287
III - 7.1	Magnesium	287
III - 7.1.1	Magnesiumnitrid aus Magnesium und Ammoniak	287
III - 7.1.2	Magnesiumnitrid aus Magnesium und Luftstickstoff	288
III - 7.2	Calcium	288
III - 7.2.1	Calciumhydrid aus Calcium und Wasserstoff	288
	Eigenschaften von Calciumhydrid	289
III - 7.2.2	Thermische Dissoziation von Calciumcarbonat	290
III - 7.2.3	Calciumcarbonat aus Calciumoxid und Kohlendioxid (Umkehrung des Kalkbrennens)	290
III - 7.2.4	Einwirkung von Kohlendioxid auf Calciumhydroxid (Erhärten von Luftmörtel).	291
III - 7.2.5	Calciumcarbid aus Calciumoxid und Kohlenstoff	292
III - 7.2.6	Calciumcyanamid („Kalkstickstoff“) aus Calciumcarbid und Stickstoff	295
III - 7.3	Strontium und Barium	296
III - 7.3.1	Bariumsulfid aus Bariumsulfat und Kohlenstoff	297
III - 8	Erste Hauptgruppe	297
III - 8.1	Lithium	297
III - 8.1.1	Lithiumhydrid aus Lithium und Wasserstoff	297
III - 8.1.2	Lithiumnitrid aus den Elementen	298
III - 8.2	Natrium und Kalium.	299
III - 8.2.1	Natriumperoxid aus Natrium und Sauerstoff	299
	Eigenschaften von Natriumperoxid.	300
III - 8.2.2	Natriumamid aus Natrium und Ammoniak	300
III - 8.2.3	Natriumcarbonat nach dem Ammoniaksoda-Verfahren	301
III - 9	Nebengruppen	303
III - 9.1	Kupfer und Silber	303
III - 9.1.1	Reduktion von Kupfer(II)-oxid durch Kohlenstoff	303
III - 9.1.2	Kupfer(I)-sulfid aus Kupfer und Schwefeldampf	304
III - 9.2	Zink, Cadmium, Quecksilber.	305
III - 9.2.1	Oxidation von Zinksulfid (Zinkblende)	305
III - 9.3	Chrom	305
III - 9.3.1	Chrom(III)-chlorid aus Chrom(III)-oxid und Tetrachlorkohlenstoff	305
	Eigenschaften von Chrom(III)-chlorid.	307
III - 9.3.2	Chrom(II)-chlorid durch Reduktion von Chrom(III)-chlorid	307
	Eigenschaften von Chrom(II)-Verbindungen	308
III - 9.3.3	Alkalische Oxidationsschmelze von Chrom(III)-Verbindungen	308
III - 9.4	Mangan	309
III - 9.4.1	Alkalische Oxidationsschmelze von Mangan(IV)-oxid.	309
	Oxidationsstufen des Mangans	309
III - 9.4.2	Anodische Oxidation von Mangan zu Permanganat	310
III - 9.5	Eisen.	312
III - 9.5.1	Reduktion von Eisen(III)-oxid durch Kohlenmonoxid	312
III - 9.5.2	Reduktion von Eisen(III)-oxid durch Wasserstoff	313
III - 9.5.3	Langsame Oxidation von feuchtem Eisen	314
III - 9.5.4	Eisen(II)-chlorid aus Eisen und Chlorwasserstoff.	315

III - 9.5.5	Eisen(II)-hydrogencarbonat	316
III - 9.5.6	Magnetische Eigenschaften von Eisenverbindungen	317
III - 9.6	Nickel	318
III - 9.6.1	Nickeltetracarbonyl aus Nickel und Kohlenmonoxid	318
IV	Organische Chemie	321
IV - 1	Kohlenwasserstoffe	321
IV - 1.1	Alkane aus Alkylhalogeniden (Synthese nach Wurtz)	321
IV - 1.2	Methan aus Natriumacetat und Natronkalk	322
	Eigenschaften von Methan.	323
IV - 1.3	Explosion von Methan-Luftgemischen	324
IV - 1.4	Entstehung von Methan bei der Zersetzung pflanzlicher Stoffe	325
IV - 1.5	Äthan durch Elektrolyse einer Natriumacetat-Lösung	326
IV - 1.6	Äthan durch Hydrolyse von Äthylmagnesiumbromid	327
IV - 1.7	Äthylen (Äthen) aus Äthanol.	329
	Eigenschaften von Äthylen.	329
	a) Dehydratisierung durch konz. Schwefelsäure	329
	b) Katalytische Dehydratisierung	330
IV - 1.8	Acetylen (Äthin) aus den Elementen	331
IV - 1.9	Acetylen (Äthin) aus Methan.	332
	a) Bei unvollständiger Verbrennung	332
	b) Bei thermischer Zersetzung	333
IV - 1.10	Acetylen (Äthin) aus Calciumcarbid und Wasser.	333
	Eigenschaften von Acetylen	334
IV - 1.11	Katalytische Hydrierung von Äthylen (Äthen)	335
IV - 1.12	Trockene Destillation von Steinkohle.	336
IV - 1.13	Trockene Destillation von Holz.	337
IV - 1.14	Cracking von Paraffinöl	339
IV - 2	Halogenkohlenwasserstoffe	340
IV - 2.1	Chlorierung von Methan	341
IV - 2.2	Dichloräthan aus Äthylen (Äthen) und Chlor.	341
IV - 2.3	Quantitative Bromierung von Acetylen (Äthin)	343
IV - 2.4	Bromierung von Toluol.	344
	a) Bromierung am Ring	344
	b) Bromierung der Seitenkette	344
IV - 2.5	Monochloräthan (Äthylchlorid) aus Äthanol und Salzsäure.	345
IV - 2.6	Jodoform durch Elektrolyse	346
IV - 3	Alkohole, Ester, Äther	347
IV - 3.1	Alkoholische Gärung.	347
	Eigenschaften von Äthanol	348
IV - 3.2	Quantitative Umsetzung von Äthanol mit Natrium	349
IV - 3.3	Ester aus Carbonsäure und Alkohol	350
IV - 3.4	Salpetrigsäure-äthylester (Äthylnitrit)	351
	Eigenschaften von Äthylnitrit.	352
IV - 3.5	Cellulosenitrat („Nitrocellulose“) aus Cellulose und Salpeter- säure	353
IV - 3.6	Diäthyläther aus Äthanol	353

IV - 4	Aldehyde und Ketone	355
IV - 4.1	Formaldehyd durch katalytische Oxidation von Methanol	355
	Eigenschaften von Formaldehyd	356
IV - 4.2	Acetaldehyd durch Anlagerung von Wasser an Acetylen	357
	Eigenschaften von Acetaldehyd	358
IV - 4.3	Quantitative Oxidation von Acetaldehyd	359
IV - 4.4	Aceton aus Essigsäure	359
IV - 4.5	Aceton durch thermische Spaltung von Calciumacetat	361
	Eigenschaften von Aceton	361
IV - 4.6	Aceton durch Oxidation von Isopropanol	362
	a) Oxidation durch Dichromat	362
	b) Oxidation durch Sauerstoff	363
IV - 5	Carbonsäuren und Säurederivate	363
IV - 5.1	Natriumformiat aus Kohlenmonoxid und Natriumhydroxid	364
IV - 5.2	Essigsäure aus Natriumacetat und Schwefelsäure	365
	Eigenschaften von konz. Essigsäure	366
IV - 5.3	Carbonsäuren durch Oxidation von primären Alkoholen	366
IV - 5.4	Natriumoxalat durch thermische Spaltung von Natriumformiat	367
IV - 5.5	Acetylchlorid aus Essigsäure und Phosphortrichlorid	367
IV - 5.6	Acetanilid aus Acetylchlorid und Anilin	369
IV - 5.7	Verseifung eines Fettes	369
IV - 5.8	Katalytische Hydrierung eines ungesättigten Fettes	370
IV - 5.9	Bestimmung der Jodzahl von Fetten	371
IV - 6	Organische Stickstoffverbindungen	372
IV - 6.1	Nitrierung aromatischer Kohlenwasserstoffe	372
IV - 6.2	Anilin durch kathodische Reduktion von Nitrobenzol	373
IV - 6.3	Anilin durch Reduktion von Nitrobenzol mit Wasserstoff	373
IV - 6.4	Diazotierung und Kupplung	375
	a) Diazotierung von Anilin	375
	b) Kupplung zu Azofarbstoffen	375
IV - 6.5	Quantitative Bestimmung von Amino-Gruppen mit salpetriger Säure	376
IV - 6.6	Harnstoff	377
IV - 6.6.1	Harnstoff aus Ammoniumcyanat (Harnstoffsynthese nach Wöhler).	377
	Eigenschaften von Harnstoff	378
IV - 6.6.2	Quantitative Zersetzung von Harnstoff mit Hypobromit	379
IV - 6.6.3	Zersetzung von Harnstoff durch Urease	379
IV - 6.7	Titration von Aminosäuren mit Kalilauge	380
IV - 7	Polymere Verbindungen (Kunststoffe)	381
IV - 7.1	Polyamid (Nylon) aus Sebacinsäuredichlorid und Hexamethylen-diamin	381
	a) Sebacinsäuredichlorid aus Sebacinsäure und Phosphor-trichlorid	381
	b) Polykondensation	382
IV - 7.2	Thioplast (kautschukähnlicher Kunststoff) aus Dichloräthan und Natriumpolysulfid	383
IV - 7.3	Polykondensation von Phenol mit Formaldehyd (Bakelit)	384