

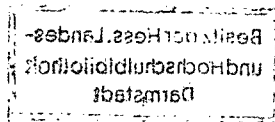
Holleman-Wiberg

# Lehrbuch der Anorganischen Chemie

begründet von A. F. Holleman

81.–90., sorgfältig revidierte, verbesserte und stark  
erweiterte Auflage von

Egon Wiberg



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1976

# Inhalt

Einleitung .....	1
<b>A. Atom und Molekül</b>	
Kapitel I. Der reine Stoff .....	5
1. Homogene und heterogene Systeme .....	5
2. Zerlegung heterogener Systeme .....	6
a) Zerlegung auf Grund verschiedener Dichten .....	6
b) Zerlegung auf Grund verschiedener Teilchengrößen .....	8
3. Zerlegung homogener Systeme .....	9
a) Zerlegung auf physikalischem Wege .....	9
a) Phasenscheidung durch Temperaturänderung .....	9
aa) Verdampfen und Verdichten .....	9
bb) Schmelzen und Erstarren .....	10
β) Phasenscheidung durch Lösungsmittel .....	11
γ) Phasenscheidung durch Chromatographie .....	11
b) Zerlegung auf chemischem Wege .....	13
4. Element und Verbindung .....	13
Kapitel II. Atom- und Molekularlehre .....	17
1. Gewichtsverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Atombegriff .....	17
a) Experimentalbefunde .....	17
a) Gesetz von der Erhaltung der Masse .....	17
β) Stöchiometrische Gesetze .....	19
aa) Gesetz der konstanten Proportionen .....	19
bb) Gesetz der multiplen Proportionen .....	21
cc) Gesetz der äquivalenten Proportionen .....	21
b) Daltonsche Atomhypothese .....	22
2. Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Molekülbegriff .....	23
a) Experimentalbefunde .....	23
b) Avogadrosche Molekularhypothese .....	24
3. Wahl einer Bezugsgröße für die relativen Atom- und Molekulargewichte .....	27
Kapitel III. Atom- und Molekulargewichtsbestimmung .....	29
1. Relative Atom- und Molekulargewichte .....	29
a) Bestimmung relativer Molekulargewichte .....	29
a) Zustandsgleichung idealer Gase .....	29
β) Methoden der Molekulargewichtsbestimmung .....	33
b) Bestimmung relativer Atomgewichte .....	34
c) Stöchiometrische Berechnungen .....	37
2. Absolute Atom- und Molekulargewichte .....	38

<b>Kapitel IV. Das Wasser und seine Bestandteile</b>	<b>41</b>
1. Der Sauerstoff	41
a) Vorkommen	41
b) Darstellung	41
a) Aus Luft	41
β) Aus Wasser	45
γ) Aus festen Sauerstoffverbindungen	45
c) Physikalische Eigenschaften	47
d) Chemische Eigenschaften	47
2. Der Wasserstoff	49
a) Vorkommen	49
b) Darstellung	50
a) Aus Wasser	50
β) Aus Säuren	51
c) Physikalische Eigenschaften	52
d) Chemische Eigenschaften	56
e) Die chemische Reaktionswärme	58
f) Atomarer Wasserstoff	62
3. Das Wasser	64
a) Vorkommen	64
b) Reinigung	65
c) Physikalische Eigenschaften	66
a) Aggregatzustände des Wassers	66
β) Zustandsdiagramm des Wassers	68
γ) Osmotischer Druck wässriger Lösungen	71
δ) Molekulargewichtsbestimmung in Lösungen	74
d) Chemische Eigenschaften	76
<b>Kapitel V. Die Luft und ihre Bestandteile</b>	<b>77</b>
1. Der Stickstoff	77
a) Vorkommen	77
b) Darstellung	77
a) Aus Luft	77
β) Aus Ammoniak	78
c) Physikalische Eigenschaften	79
d) Chemische Eigenschaften	79
2. Die Luft	81
a) Zusammensetzung der Luft	81
b) Kreislauf des Sauerstoffs	82
c) Kreislauf des Stickstoffs	82
d) Flüssige Luft	83
<b>B. Hauptgruppen des Periodensystems</b>	
<b>Kapitel VI. Das Periodensystem der Elemente (Teil I)</b>	<b>87</b>
1. Gekürztes Periodensystem	88
2. Verbreitung der Elemente	90
<b>Kapitel VII. Die chemische Bindung (Teil I)</b>	<b>93</b>
1. Der Bau der Atome	93
a) Das Bohr'sche Atommodell	93
b) Die Elektronenhülle	95

c) Die Atomspektren	100
a) Die optischen Spektren	101
β) Die Röntgen-Spektren	106
2. Die Elektronentheorie der Valenz	109
a) Verbindungen erster Ordnung	109
a) Die Ionenbindung	110
aa) Das Ionengitter	110
bb) Die Ionenwertigkeit	113
cc) Die Mischkristallbildung	114
β) Die Atombindung	115
aa) Die Atomwertigkeit	115
bb) Die Ionenbildung	117
cc) Das Tetraedermodell	119
dd) Das Dipolmoment	120
ee) Die Elektronegativität	122
ff) Der Bindungsgrad	124
gg) Die formale Ladungszahl	125
hh) Die Mesomerie (Resonanz)	126
ii) Die Bindungslänge	128
kk) Die Molekülgestalt	130
γ) Die Metallbindung	135
aa) Das Metallgitter	135
bb) Die kubisch- und hexagonal-dichteste Kugelpackung	136
cc) Die Legierungen	138
δ) Übergänge zwischen den verschiedenen Bindungsarten	139
e) Übergänge zwischen den verschiedenen Bindungsgraden	141
b) Verbindungen höherer Ordnung	143
a) Allgemeines	143
aa) Komplexbildung am Elektronen-donator	144
bb) Komplexbildung am Elektronen-acceptor	145
cc) Komplexbildung am Elektronen-donator-acceptor	147
β) Polarität der koordinativen Bindung	148
aa) Koordinative Bindung und formale Ladungszahl	148
bb) Anlagerungs- und Durchdringungskomplexe	150
γ) Molekülgestalt der Koordinationsverbindungen	151
aa) Tetraeder und Dreieck	152
bb) Trigonale, tetragonale und pentagonale Bipyramide	153
cc) Bindungswinkel	155
dd) Bindungslängen	156
c) Das Äquivalentgewicht	156
Kapitel VIII. Die chemische Reaktion	159
1. Die elektrolytische Dissoziation	159
a) Qualitative Beziehungen	159
b) Quantitative Beziehungen	162
a) Ionenladung	162
β) Dissoziationsgrad	164
c) Ionenreaktionen	165
2. Das chemische Gleichgewicht	167
a) Die Reaktionsgeschwindigkeit	167
a) Die „Hin“-Reaktion	167
β) Die „Rück“-Reaktion	170
γ) Die Gesamt-Reaktion	171
δ) Die Kinetik der Halogenwasserstoffbildung	173

b) Der Gleichgewichtszustand	174
a) Das Massenwirkungsgesetz	174
β) Sonderanwendungen des Massenwirkungsgesetzes	177
aa) Das Verteilungsgesetz	177
bb) Die elektrolytische Dissoziation	178
aa) Allgemeines	178
ββ) Dissoziation schwacher Elektrolyte	180
c) Die Beschleunigung der Gleichgewichtseinstellung	183
a) Beschleunigung durch Katalysatoren	183
β) Beschleunigung durch Temperaturerhöhung	185
d) Die Verschiebung von Gleichgewichten	185
a) Qualitative Beziehungen	185
aa) Das Prinzip von Le Chatelier	185
bb) Folgerungen des Prinzips von Le Chatelier	186
β) Quantitative Anwendungsbeispiele	188
aa) Die Hydrolyse	188
bb) Die Neutralisation	190
e) Heterogene Gleichgewichte	193
a) Fest-gasförmige Systeme	193
β) Fest-flüssige Systeme	195
3. Die Oxydation und Reduktion	196
a) Ableitung eines neuen Oxydations- und Reduktionsbegriffs	196
b) Die elektrochemische Spannungsreihe	198
a) Das Normalpotential	198
aa) Allgemeines	198
bb) Normalpotentiale in saurer Lösung	201
cc) Normalpotentiale in basischer Lösung	205
dd) Relative Stärke gebräuchlicher Oxydations- und Reduktionsmittel	207
β) Die Oxydationsstufe	208
γ) Die Konzentrationsabhängigkeit des Einzelpotentials	210
c) Die elektrolytische Zersetzung	213
d) Die Acidität und Basisität	215
Kapitel IX. Die Gruppe der Edelgase	221
1. Geschichtliches	221
2. Vorkommen	222
3. Gewinnung	223
a) Aus Luft	223
b) Aus Erdgasen	224
c) Aus Mineralien	224
4. Physikalische Eigenschaften	224
5. Chemische Eigenschaften	226
a) Edelgas-halogenide	227
b) Edelgas-oxide und -oxidfluoride	231
6. Anwendung	233
7. Spezifische Wärme chemischer Stoffe	235
a) Gasförmige Stoffe	235
b) Feste Stoffe	237
Kapitel X. Die Gruppe der Halogene	239
1. Freie Halogene	239
a) Das Chlor	239

a) Vorkommen	239
β) Darstellung	240
aa) Aus Chlorwasserstoff (Salzsäure)	240
bb) Aus Natriumchlorid	241
γ) Physikalische Eigenschaften	242
δ) Chemische Eigenschaften	242
b) Photochemische Reaktionen	245
c) Das Fluor	246
d) Das Brom	248
e) Das Jod	250
f) Das Astat	253
g) Pseudohalogene	254
2. Wasserstoffverbindungen der Halogene	256
a) Chlorwasserstoff	256
a) Darstellung	256
β) Eigenschaften	257
b) Fluorwasserstoff	258
c) Bromwasserstoff	260
d) Jodwasserstoff	262
3. Sauerstoffverbindungen der Halogene	263
a) Sauerstoffsäuren des Chlors	263
a) Übersicht und Nomenklatur	263
β) Hypochlorige Säure $\text{HClO}$	264
aa) Darstellung	264
bb) Eigenschaften	265
cc) Salze	266
γ) Chlorige Säure $\text{HClO}_2$	267
δ) Chlorsäure $\text{HClO}_3$	268
aa) Darstellung	268
bb) Eigenschaften	268
cc) Salze	269
e) Perchlorsäure $\text{HClO}_4$	269
b) Oxide des Chlors	271
a) Dichloroxid $\text{Cl}_2\text{O}$	271
β) Chlordioxid $\text{ClO}_2$	272
γ) Dichlortrioxid $\text{Cl}_2\text{O}_3$ und Dichlortetroxid $\text{Cl}_2\text{O}_4$	274
δ) Dichlorhexoxid $\text{Cl}_2\text{O}_6$	274
e) Dichlorheptoxid $\text{Cl}_2\text{O}_7$	274
c) Sauerstoffsäuren und Oxide des Fluors	275
d) Sauerstoffsäuren und Oxide des Broms	277
e) Sauerstoffsäuren und Oxide des Jods	280
4. Verbindungen der Halogene untereinander	282
5. Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Halogene	287

## Kapitel XI. Die Gruppe der Chalkogene. . . . . 291

1. Der Sauerstoff	291
a) Ozon	291
a) Darstellung	292
β) Physikalische Eigenschaften	293
γ) Chemische Eigenschaften	294
b) Wasserstoffperoxid	295
a) Darstellung	295
β) Physikalische Eigenschaften	296

γ) Chemische Eigenschaften . . . . .	297
δ) Salze . . . . .	299
aa) Natriumperoxid . . . . .	299
bb) Bariumperoxid . . . . .	300
2. Der Schwefel . . . . .	300
a) Elementarer Schwefel . . . . .	301
α) Vorkommen . . . . .	301
β) Gewinnung . . . . .	301
aa) Aus natürlichen Vorkommen . . . . .	302
bb) Aus Schwefelwasserstoff . . . . .	302
cc) Aus Schwefeldioxid . . . . .	303
γ) Physikalische Eigenschaften . . . . .	304
δ) Das Zustandsdiagramm des Schwefels . . . . .	307
e) Chemische Eigenschaften . . . . .	311
b) Wasserstoffverbindungen des Schwefels . . . . .	311
α) Schwefelwasserstoff (Sulfan) . . . . .	311
β) Polyschwefelwasserstoffe (Polysulfane) . . . . .	315
c) Halogenverbindungen des Schwefels . . . . .	317
d) Oxide des Schwefels . . . . .	322
α) Schwefeldioxid . . . . .	323
β) Schwefeltrioxid . . . . .	325
γ) Sonstige Schwefeloxide . . . . .	326
e) Sauerstoffsäuren des Schwefels . . . . .	328
α) Systematik und Konstitution . . . . .	328
β) Schweflige Säure $\text{H}_2\text{SO}_3$ . . . . .	330
γ) Schwefelsäure $\text{H}_2\text{SO}_4$ und Dischwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ . . . . .	333
aa) Darstellung . . . . .	333
αα) Kontaktverfahren . . . . .	333
ββ) Bleikammervorgang . . . . .	335
bb) Physikalische Eigenschaften . . . . .	337
cc) Chemische Eigenschaften . . . . .	337
dd) Halogenderivate . . . . .	340
δ) Sulfoxylsäure $\text{H}_2\text{SO}_2$ , Dithionige Säure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$ , Dithionsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$ . . . . .	343
e) Peroxomonoschwefelsäure $\text{H}_2\text{SO}_5$ , Peroxo-dischwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ . . . . .	345
ς) Thioschwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . . . . .	347
η) Polythionsäuren $\text{H}_2\text{S}_n\text{O}_6$ . . . . .	348
3. Das Selen . . . . .	350
a) Elementares Selen . . . . .	350
b) Verbindungen des Selens . . . . .	352
4. Das Tellur . . . . .	356
5. Das Polonium . . . . .	357
6. Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Chalkogene . . . . .	358
Kapitel XII. Die Stickstoffgruppe . . . . .	363
1. Der Stickstoff . . . . .	363
a) Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs . . . . .	364
α) Systematik und Konstitution . . . . .	364
aa) Stöchiometrie und Struktur . . . . .	364
bb) Struktur und Isomerie . . . . .	365
β) Ammoniak $\text{NH}_3$ . . . . .	366
aa) Darstellung . . . . .	366
αα) Aus den Elementen . . . . .	366
ββ) Aus Gaswasser . . . . .	370

bb) Physikalische Eigenschaften	371
cc) Chemische Eigenschaften	372
γ) Hydrazin $N_2H_4$	375
δ) Triazan $N_3H_5$ und Tetrazaan $N_4H_6$	378
e) Nitren $NH$	379
ς) Diimin $N_2H_2$	380
η) Triazen $N_3H_3$ - und Tetrazen $N_4H_4$	382
θ) Stickstoffwasserstoffsäure	382
i) Hydroxylamin $NH_2(OH)$	385
b) Halogenverbindungen des Stickstoffs	388
c) Oxide des Stickstoffs	392
a) Distickstoffmonoxid $N_2O$	393
β) Distickstoffmonoxid $NO$ . Distickstoffdioxid $N_2O_2$	394
γ) Distickstofftrioxid $N_2O_3$	397
δ) Distickstoffdioxid $NO_2$ . Distickstofftetroxid $N_2O_4$	398
e) Distickstoffpentoxid $N_2O_5$	400
ς) Distickstofftrioxid $NO_3$ . Distickstoffhexoxid $N_2O_6$	401
d) Sauerstoffsäuren des Stickstoffs	401
a) Salpetersäure $HNO_3$	402
aa) Darstellung	402
bb) Physikalische Eigenschaften	402
cc) Chemische Eigenschaften	404
dd) Nitrylverbindungen	406
β) Salpetrige Säure $HNO_2$	407
γ) Hyposalpetrige Säure $HNO$ . Hypodisalpetrige Säure $H_2N_2O_2$	412
δ) Nitroxylsäure $H_4N_2O_4$	413
e) Peroxosalpetersäure $HNO_4$	413
e) Schwefelverbindungen des Stickstoffs	414
a) Schwefelnitride	414
β) Stickstoffsulfonsäuren	419
2. Der Phosphor	422
a) Elementarer Phosphor	423
a) Vorkommen	423
β) Darstellung	424
γ) Modifikationen	425
aa) Der weiße Phosphor	426
bb) Der violette (rote) Phosphor	427
cc) Der schwarze Phosphor	427
dd) „Mischpolymerisate“ des Phosphors	428
δ) Chemische Eigenschaften	429
aa) Weißer Phosphor	429
bb) Violetter (roter) Phosphor	430
cc) Schwarzer Phosphor	431
e) Verwendung	431
b) Wasserstoffverbindungen des Phosphors	431
a) Monophosphan $PH_3$	432
β) Diphosphan $P_2H_4$	435
γ) Triphosphan $P_3H_5$	435
c) Halogenverbindungen des Phosphors	436
d) Oxide des Phosphors	440
e) Sauerstoffsäuren des Phosphors	444
a) Systematik und Konstitution	444
β) Phosphorsäure	449
aa) Orthophosphorsäure $H_3PO_4$	449
bb) Diphosphorsäure $H_4P_2O_7$	453



cc) Polyphosphorsäuren $H_{n+2}P_nO_{3n+1}$ und Metapolyphosphorsäuren $H_nP_nO_{3n}$	453
dd) Phosphathaltige Düngemittel	457
γ) Phosphorige Säure $H_3PO_3$ . Diphosphorige Säure $H_4P_2O_5$	458
δ) Hypophosphorige Säure $H_3PO_2$ . Hypo-diphosphorsäure $H_4P_2O_6$	459
e) Peroxo-monophosphorsäure $H_3PO_5$ . Peroxo-diphosphorsäure $H_4P_2O_8$	460
f) Schwefelverbindungen des Phosphors	461
a) Binäre Phosphorsulfide	461
β) Thiophosphorsäuren	462
γ) Phosphorsulfidhalogenide	462
g) Stickstoffverbindungen des Phosphors	463
3. Das Arsen	465
a) Elementares Arsen	465
b) Arsenwasserstoff	468
c) Halogenverbindungen des Arsens	470
d) Sauerstoffverbindungen des Arsens	471
a) Arsentrioxid $As_2O_3$ . Arsenige Säure $H_3AsO_3$	471
β) Arsenpentoxid $As_2O_5$ . Arsensäure $H_3AsO_4$	474
e) Schwefelverbindungen des Arsens	475
4. Das Antimon	477
a) Elementares Antimon	477
b) Antimonwasserstoff	479
c) Halogenverbindungen des Antimons	480
d) Sauerstoffverbindungen des Antimons	482
e) Schwefelverbindungen des Antimons	484
5. Das Wismut	485
a) Elementares Wismut	485
b) Verbindungen des Wismuts	487
6. Vergleichende Übersicht über die Stickstoffgruppe	489
Kapitel XIII. Die Kohlenstoffgruppe	493
1. Der Kohlenstoff	494
a) Elementarer Kohlenstoff	494
a) Vorkommen	494
β) Physikalische Eigenschaften	496
aa) Diamant	499
bb) Graphit	500
γ) Adsorption an Aktivkohle	504
aa) Die Langmuirsche Adsorptionsisotherme	504
bb) Aktivkohlen	506
δ) Chemische Eigenschaften	506
b) Wasserstoffverbindungen des Kohlenstoffs	507
c) Halogenverbindungen des Kohlenstoffs	510
d) Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffs	510
a) Kohlendioxid $CO_2$	511
β) Kohlenmonoxid $CO$	515
aa) Darstellung	515
bb) Eigenschaften	518
γ) Kohlensuboxid $C_3O_2$	521
e) Stickstoffverbindungen des Kohlenstoffs	521
f) Carbide	522
2. Molekülspektroskopie	523
a) Schwingungsspektren	524

a) Allgemeines	524
aa) Experimentalbefunde	524
bb) Deutung	525
cc) Molekülschwingungen	526
β) Anwendung der Schwingungsspektroskopie	526
aa) Kraftkonstanten	527
bb) Frequenzlagen der Grundschwingungen	527
cc) Zahl und Intensität der Grundschwingungen	528
b) Rotationsspektren	530
c) Elektronenspektren	531
3. Das Silicium	531
a) Elementares Silicium	533
b) Wasserstoffverbindungen des Siliciums	536
c) Halogenverbindungen des Siliciums	539
d) Sauerstoffverbindungen des Siliciums	545
α) Siliciumdioxid	545
β) Kieselsäuren, Silicate	548
γ) Natürliche Silicate	553
δ) Silicone	555
e) Sonstige Siliciumverbindungen	557
f) Kolloiddisperse Systeme	561
α) Vergleich grob-, kolloid- und molekulardisperser Lösungen	562
β) Beständigkeit kolloider Lösungen	565
γ) Kieselgele	567
g) Technische Silicate	568
α) Glas	568
aa) Zusammensetzung von Gläsern	569
bb) Darstellung und Verarbeitung von Gläsern	570
cc) Färbung und Trübung von Gläsern	571
β) Tonwaren	572
aa) Tongut	572
bb) Tonzeug	574
γ) Zement	575
4. Das Germanium	576
a) Elementares Germanium	576
b) Germanium(IV)-Verbindungen	579
c) Germanium(II)-Verbindungen	581
5. Das Zinn	582
a) Elementares Zinn	582
b) Zinn(II)-Verbindungen	584
c) Zinn(IV)-Verbindungen	586
6. Das Blei	589
a) Elementares Blei	589
b) Blei(II)-Verbindungen	591
c) Blei(IV)-Verbindungen	593
d) Der Bleiakкумуляtor	596
7. Vergleichende Übersicht über die Kohlenstoffgruppe	597
Kapitel XIV. Die Borgruppe	601
1. Das Bor	601
a) Elementares Bor	604
b) Wasserstoffverbindungen des Bors	607

c) Halogenverbindungen des Bors	622
d) Sauerstoffverbindungen des Bors	626
e) Stickstoffverbindungen des Bors	632
f) Phosphor- und Kohlenstoffverbindungen des Bors	636
g) Metallboride	637
2. Das Aluminium	638
a) Elementares Aluminium	640
α) Vorkommen	640
β) Darstellung	641
aa) Gewinnung von reinem Aluminiumoxid aus Bauxit	641
bb) Schmelzelektrolyse des Aluminiumoxids	643
γ) Physikalische Eigenschaften	644
δ) Chemische Eigenschaften	645
e) Anwendungen	646
b) Sauerstoffverbindungen des Aluminiums	647
c) Sonstige Aluminiumverbindungen	650
3. Der aktive Zustand der festen Materie	660
a) Energieinhalt und Oberflächenentwicklung	660
α) Zerteilungsgrad	660
β) Oberflächenbeschaffenheit	664
b) Energieinhalt und Gitterstörungen	665
c) Energieinhalt und Gleichgewichtskonstante	666
4. Das Gallium, Indium und Thallium	667
5. Vergleichende Übersicht über die Borgruppe	670
Kapitel XV. Die Gruppe der Erdalkalimetalle	673
1. Das Beryllium	673
a) Elementares Beryllium	676
b) Verbindungen des Berylliums	678
2. Das Magnesium	681
a) Elementares Magnesium	682
b) Verbindungen des Magnesiums	684
3. Das Calcium	689
a) Elementares Calcium	689
b) Verbindungen des Calciums	690
c) Mörtel	699
α) Luftmörtel	699
β) Wassermörtel	700
4. Das Strontium	701
5. Das Barium	701
6. Das Radium	703
7. Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Erdalkalimetalle	704
Kapitel XVI. Die Gruppe der Alkalimetalle	707
1. Das Lithium	707
2. Das Natrium	710
a) Elementares Natrium	712
b) Verbindungen des Natriums	716
α) Natriumchlorid (Kochsalz)	716
β) Natriumhydroxid (Ätznatron)	718
γ) Natriumsulfat (Glaubersalz)	721
δ) Natriumnitrat (Chilesalpeter)	722
e) Natriumcarbonat (Soda)	722

3. Das Kalium	725
a) Elementares Kalium	725
b) Verbindungen des Kaliums	726
α) Kalisalz-Lagerstätten	726
β) Kaliumchlorid	727
γ) Kaliumhydroxid (Ätzkali)	727
δ) Kaliumsulfat	727
e) Kaliumnitrat (Salpeter)	728
ζ) Kaliumcarbonat (Pottasche)	729
η) Kalihaltige Düngemittel	729
4. Das Rubidium, Cäsium und Francium	730
5. Die Ammoniumverbindungen	731
a) Freies Ammonium	731
b) Ammoniumsalze	731
6. Die Oxoniumverbindungen	734
7. Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Alkalimetalle	736
8. Vergleichende Übersicht über alle Hauptgruppenelemente	737

## C. Nebengruppen des Periodensystems

Kapitel XVII. Das Periodensystem der Elemente (Teil II)	743
1. Die Elektronenhüllen der Übergangselemente	744
2. Einordnung der Übergangselemente in das Periodensystem	748
Kapitel XVIII. Die chemische Bindung (Teil II)	755
1. Die Atomorbitale	755
2. Die Hybridisierung der Atomorbitale	761
Kapitel XIX. Die Komplexbildung der Übergangsmetalle	767
1. Die Valence-Bond-Theorie	767
a) Komplexliganden	767
b) Zusammensetzung der Komplexe	769
c) Beständigkeit der Komplexe	773
d) Räumliche Konfiguration der Komplexe	775
2. Die Ligandenfeldtheorie	777
Kapitel XX. Die Kupfergruppe	783
1. Das Kupfer	784
a) Elementares Kupfer	784
b) Kupfer(I)-Verbindungen	788
c) Kupfer(II)-Verbindungen	791
d) Kupfer(III)- und Kupfer(IV)-Verbindungen	796
2. Das Silber	796
a) Elementares Silber	796
α) Vorkommen	796
β) Darstellung von Rohsilber	797
aa) Aus Silbererzen	797
bb) Aus Werkblei	798
aa) Anreicherung des Silbers	798
ββ) Isolierung des angereicherten Silbers	798

γ) Reinigung von Rohsilber .....	799
δ) Physikalische Eigenschaften .....	799
e) Chemische Eigenschaften .....	799
ζ) Verwendung .....	800
b) Silber(I)-Verbindungen .....	801
c) Silber(II)-Verbindungen .....	803
d) Silber(III)-Verbindungen .....	805
e) Der photographische Prozeß .....	805
3. Das Gold .....	807
a) Elementares Gold .....	807
b) Verbindungen des Golds .....	809
4. Schmelz- und Erstarrungsdiagramme binärer Systeme .....	812
a) Abscheidung reiner Stoffe .....	813
α) Keine Verbindungsbildung .....	813
β) Bildung einer Verbindung .....	814
b) Abscheidung von Mischkristallen .....	815
α) Lückenlose Mischungsreihe .....	815
β) Vorhandensein einer Mischungslücke .....	817
5. Vergleichende Übersicht über die Kupfergruppe .....	817
Kapitel XXI. Die Zinkgruppe .....	819
1. Das Zink .....	821
a) Elementares Zink .....	821
α) Vorkommen .....	821
β) Gewinnung .....	821
γ) Physikalische Eigenschaften .....	823
δ) Chemische Eigenschaften .....	823
b) Verbindungen des Zinks .....	824
2. Das Cadmium .....	828
3. Das Quecksilber .....	830
a) Elementares Quecksilber .....	830
b) Quecksilber(I)-Verbindungen .....	832
c) Quecksilber(II)-Verbindungen .....	835
4. Vergleichende Übersicht über die Zinkgruppe .....	841
Kapitel XXII. Die Scandiumgruppe .....	843
1. Das Scandium .....	843
2. Das Yttrium .....	844
3. Das Lanthan .....	845
4. Das Actinium .....	846
5. Vergleichende Übersicht über die Scandiumgruppe .....	847
Kapitel XXIII. Die Titangruppe .....	849
1. Das Titan .....	849
2. Das Zirkonium .....	854
3. Das Hafnium .....	855
4. Das Eka-Hafnium .....	855
5. Vergleichende Übersicht über die Titangruppe .....	856
Kapitel XXIV. Die Vanadgruppe .....	859
1. Das Vanadin .....	859
2. Das Niob und Tantal .....	862

3. Das Eka-Tantal	864
4. Vergleichende Übersicht über die Vanadingruppe	865
<b>Kapitel XXV. Die Chromgruppe</b>	867
1. Das Chrom	867
a) Elementares Chrom	867
b) Chrom(VI)-Verbindungen	869
a) Chromate, Dichromate	869
β) Peroxochromate	873
c) Chrom(V)-Verbindungen	875
d) Chrom(IV)-Verbindungen	875
e) Chrom(III)-Verbindungen	876
f) Chrom(II)-Verbindungen	879
g) Isomerie komplexer Verbindungen	880
2. Das Molybdän	882
3. Das Wolfram	885
a) Elementares Wolfram	885
b) Verbindungen des Wolframs	887
4. Das Eka-Wolfram	890
5. Magnetochemie	891
a) Magnetische Grundbegriffe	891
b) Die magnetische Suszeptibilität	893
c) Der Diamagnetismus	896
d) Der Paramagnetismus	897
a) Allgemeines	897
β) Anwendungsbeispiele	898
6. Vergleichende Übersicht über die Chromgruppe	900
<b>Kapitel XXVI. Die Mangangruppe</b>	903
1. Das Mangan	904
a) Elementares Mangan	904
b) Verbindungen des Mangans	905
2. Das Technetium	910
3. Das Rhenium	911
a) Elementares Rhenium	911
b) Verbindungen des Rheniums	912
4. Vergleichende Übersicht über die Mangangruppe	915
<b>Kapitel XXVII. Die Eisengruppe</b>	917
1. Das Eisen	917
a) Elementares Eisen	917
a) Vorkommen	917
β) Darstellung	919
aa) Erzeugung von Roheisen	919
bb) Gewinnung von Stahl	922
cc) Stahllegierungen	924
γ) Physikalische Eigenschaften	925
δ) Chemische Eigenschaften	925
b) Eisen(II)-Verbindungen	927
c) Eisen(III)-Verbindungen	929
d) Komplexe Eisen(II)- und Eisen(III)-Verbindungen	933
e) Eisen(VI)-, (V)- und (IV)-Verbindungen	935

2. Das Kobalt .....	936
3. Das Nickel .....	940
4. Die Metallcarbonyle .....	943
a) Systematik und Konstitution .....	944
a) Einkernige Metallcarbonyle .....	944
β) Höherkernige Metallcarbonyle .....	946
b) Darstellung .....	949
a) Aus Metall und Kohlenoxid .....	949
β) Durch Reduktion von Metallsalzen in Anwesenheit von Kohlenoxid .....	950
γ) Durch Oxydation von Carbonylmetallaten .....	951
δ) Durch energetische Zersetzung von Metallcarbonylen .....	951
ε) Darstellung gemischter Metallcarbonyle .....	951
c) Eigenschaften .....	951
a) Substitutionsreaktionen .....	952
β) Oxydationsreaktionen .....	958
aa) Metallcarbonylhalogenide .....	958
bb) Metallcarbonyl-kationen .....	959
γ) Reduktionsreaktionen .....	960
δ) Additionsreaktionen .....	965
d) Trifluorphosphin-Metallkomplexe .....	966
e) Metall- $\pi$ -Komplexe .....	969
5. Vergleichende Übersicht über die Eisengruppe .....	973
<b>Kapitel XXVIII. Die Gruppe der Platinmetalle .....</b>	<b>975</b>
1. Vorkommen .....	975
2. Gewinnung .....	976
3. Physikalische Eigenschaften .....	976
4. Chemische Eigenschaften .....	977
a) Osmiumgruppe .....	977
b) Iridiumgruppe .....	980
c) Platingruppe .....	981
5. Verwendung .....	985
6. Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Platinmetalle .....	986
7. Vergleichende Übersicht über alle Nebengruppenelemente .....	988
 <b>D. Lanthaniden und Actiniden</b>	
<b>Kapitel XXIX. Das Periodensystem der Elemente (Teil III) .....</b>	<b>993</b>
1. Die Elektronenhüllen der Lanthaniden und Actiniden .....	993
2. Einordnung der Lanthaniden und Actiniden in das Periodensystem der Elemente .....	995
<b>Kapitel XXX. Die natürliche Elementumwandlung .....</b>	<b>997</b>
1. Der Atomkern .....	997
a) Bau der Atomkerne .....	997
a) Urbausteine der Materie .....	997
aa) Proton und Neutron .....	997
bb) Negatron und Positron .....	1005
β) Präparative Isolierung von Isotopen .....	1008
γ) Leichter, schwerer und superschwerer Wasserstoff .....	1010
b) Drall der Atomkerne .....	1014
a) Ortho- und Para-Wasserstoff .....	1014
β) Kernmagnetische Resonanz .....	1016

2. Die natürliche Radioaktivität . . . . .	1017
a) Radioaktive Elemente . . . . .	1017
$\alpha$ ) Verschiebungssatz . . . . .	1017
$\beta$ ) Zerfallsreihen . . . . .	1018
b) Radioaktive Strahlung . . . . .	1021
$\alpha$ ) Geschichtliches . . . . .	1021
$\beta$ ) Energieinhalt . . . . .	1023
$\gamma$ ) Wechselwirkung mit Materie . . . . .	1025
$\delta$ ) Radioaktive Indikatoren . . . . .	1027
c) Radioaktive Zerfallsgeschwindigkeit . . . . .	1028
a) Halbwertszeit . . . . .	1028
$\beta$ ) Radioaktives Gleichgewicht . . . . .	1031
$\gamma$ ) Altersbestimmung von Mineralien . . . . .	1032
d) Radioaktiver Energieumsatz . . . . .	1034
$\alpha$ ) Massenverlust durch Strahlung . . . . .	1034
$\beta$ ) Kernbindungsenergie . . . . .	1035
 Kapitel XXXI. Die künstliche Elementumwandlung . . . . .	1039
1. Die Kern-Einzelreaktion . . . . .	1039
a) Die einfache Kernreaktion . . . . .	1042
a) Methoden der Kernumwandlung . . . . .	1042
aa) Kernumwandlung mit Heliumkernen . . . . .	1042
bb) Kernumwandlung mit Wasserstoffkernen . . . . .	1045
cc) Kernumwandlung mit Neutronen . . . . .	1047
dd) Kernumwandlung mit schwereren Atomkernen . . . . .	1049
ee) Kernumwandlung mit $\gamma$ -Strahlen . . . . .	1050
$\beta$ ) Die Elemente 43, 61, 85 und 87 . . . . .	1051
$\gamma$ ) Die künstliche Radioaktivität . . . . .	1053
b) Die Kernzersplitterung . . . . .	1056
c) Die Kernspaltung . . . . .	1056
d) Die Kernverschmelzung . . . . .	1059
2. Die Kern-Kettenreaktion . . . . .	1061
a) Die gesteuerte Kern-Kettenreaktion . . . . .	1061
b) Die ungesteuerte Kern-Kettenreaktion . . . . .	1066
 Kapitel XXXII. Die Lanthaniden . . . . .	1069
1. Geschichtliches . . . . .	1070
2. Vorkommen . . . . .	1071
a) Allgemeines . . . . .	1071
b) Wichtige Mineralien . . . . .	1072
c) Häufigkeit . . . . .	1072
3. Trennung . . . . .	1073
a) Trennung durch Fraktionierung . . . . .	1073
b) Trennung durch Wertigkeitsänderung . . . . .	1076
4. Physikalische Eigenschaften . . . . .	1076
5. Chemische Eigenschaften . . . . .	1079
6. Das Promethium . . . . .	1082
7. Vergleichende Übersicht über die Lanthanidengruppe . . . . .	1083
 Kapitel XXXIII. Die Actiniden . . . . .	1085
1. Allgemeiner Überblick . . . . .	1085
a) Analogie zwischen Lanthaniden und Actiniden . . . . .	1088



b) Darstellung der Actiniden	1090
c) Physikalische Eigenschaften der Actiniden	1091
d) Chemisches Verhalten der Actiniden	1092
2. Die einzelnen Actinidenelemente	1095
a) Das Thorium	1095
b) Das Protactinium	1096
c) Das Uran	1097
d) Das Neptunium	1101
e) Das Plutonium	1103
f) Das Americium	1105
g) Das Curium	1106
h) Das Berkelium	1108
i) Das Californium	1108
k) Das Einsteinium	1109
l) Das Fermium	1110
m) Das Mendelevium	1110
n) Das Nobelium	1111
o) Das Lawrencium	1111
3. Vergleichende Übersicht über die Actinidengruppe	1112
Schlußwort: Die gegenseitige Umwandlung von Masse und Energie	1113
<b>E. Anhang</b>	
1. Kurzbiographien der im Lehrbuch erwähnten Chemiker, Physiker und Techniker	1119
2. Zeittabelle zur Chemiegeschichte (Anorganische und Allgemeine Chemie)	1167
3. Die Laureaten des Nobelpreises für Chemie	1179
4. Die Laureaten des Nobelpreises für Physik	1182
5. Zahlentabellen	1186
Personenregister I	1195
Personenregister II	1203
Sachregister I	1207
Sachregister II	1299