

Holleman-Wiberg

Lehrbuch der Anorganischen Chemie

begründet von A. F. Holleman
fortgeführt von Egon Wiberg

91.–100., verbesserte und
stark erweiterte Auflage von

Nils Wiberg



Walter de Gruyter
Berlin · New York 1985

Inhalt

Einleitung.....	1
A. Grundlagen der Chemie. Der Wasserstoff	
Kapitel I. Element und Verbindung	5
1 <u>Der reine Stoff</u>	5
1.1 <i>Homogene und heterogene Systeme</i>	5
1.2 <i>Zerlegung heterogener Systeme</i>	6
1.2.1 Zerlegung auf Grund verschiedener Dichten	6
1.2.2 Zerlegung auf Grund verschiedener Teilchengrößen	7
1.3 <i>Zerlegung homogener Systeme</i>	8
1.3.1 Zerlegung auf physikalischem Wege	8
1.3.1.1 Phasenscheidung durch Temperaturveränderung.....	8
1.3.1.2 Phasenscheidung durch Lösungsmittel	10
1.3.1.3 Phasenscheidung durch Chromatographie	10
1.3.2 Zerlegung auf chemischem Wege	11
1.4 <i>Zerlegung der Luft in ihre Bestandteile</i>	12
1.4.1 Flüssige Luft	12
1.4.1.1 Gewinnung.....	12
1.4.1.2 Eigenschaften	13
1.4.2 Fraktionierung flüssiger Luft	15
2 <u>Der Element- und Verbindungsbegriff</u>	16
Kapitel II. Atom und Molekül	19
1 <u>Atom- und Molekularlehre</u>	19
1.1 <i>Massenverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Atombegriff</i>	19
1.1.1 Experimentalbefunde	19
1.1.1.1 Gesetz von der Erhaltung der Masse	19
1.1.1.2 Stöchiometrische Gesetze	21
1.1.2 Daltonsche Atomhypothese	23
1.2 <i>Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen. Der Molekülbegriff</i>	24
1.2.1 Experimentalbefunde	24
1.2.2 Avogadrosche Molekülhypothese.....	25
1.3 <i>Wahl einer Bezugsgröße für die relativen Atom- und Molekülmassen</i>	28
2 <u>Atom- und Molekülmassenbestimmung</u>	31
2.1 <u>Bestimmung relativer Molekülmassen</u>	31
2.1.1 Gasförmige Stoffe.....	31
2.1.1.1 Zustandsgleichung idealer Gase	31
2.1.1.2 Methoden der Molekülmassenbestimmung.....	35
2.1.2 Gelöste Stoffe	35
2.1.2.1 Aggregatzustände der Materie	35
2.1.2.2 Zustandsdiagramme von Stoffen	36
2.1.2.3 Zustandsgleichung gelöster Stoffe.....	38
2.1.2.4 Methoden der Molekülmassenbestimmung.....	40

XII	Inhalt	
2.2	<i>Bestimmung relativer Atommassen</i>	42
2.2.1	Bestimmung über eine Massenanalyse von Verbindungen	42
2.2.2	Bestimmung über die spezifische Wärmekapazität von Verbindungen	43
2.2.2.1	Gasförmige Stoffe	44
2.2.2.2	Feste Stoffe	45
2.3	<i>Absolute Atom- und Molekülmassen</i>	46
3	<u>Die chemische Reaktion (Teil I)</u>	48
3.1	<i>Der Materie-Umsatz bei chemischen Reaktionen</i>	48
3.1.1	Chemische Reaktionsgleichungen	48
3.1.2	Einteilung chemischer Reaktionen	49
3.2	<i>Der Energie-Umsatz bei chemischen Reaktionen</i>	51
3.2.1	Gesamtumsatz an Energie	51
3.2.2	Umsatz an freier und gebundener Energie	53
Kapitel III.	Das Periodensystem der Elemente (Teil I)	56
1	<u>Gekürztes Periodensystem</u>	57
2	<u>Ungekürztes Periodensystem</u>	59
3	<u>Verbreitung der Elemente</u>	62
Kapitel IV.	Atom- und Moleküleon	64
1	<u>Ionenlehre</u>	64
1.1	<i>Die elektrolytische Dissoziation. Der Ionenbegriff</i>	64
1.1.1	Experimentalbefunde: Mengenverhältnisse bei der elektrolytischen Stoffauflösung	64
1.1.2	Arrheniussche Ionenhypothese	65
1.1.2.1	Einteilung der Elektrolyte	66
1.1.2.2	Stärke der Elektrolyte	67
1.1.2.3	Reaktionen der Elektrolyte	68
1.2	<i>Die elektrolytische Zersetzung. Der Elektronen- und Protonenbegriff</i>	69
1.2.1	Experimentalbefunde: Massenverhältnisse bei der elektrolytischen Stoffabscheidung	69
1.2.2	Stoneysche Elektronen- und Rutherfordsche Protonenhypothese	71
2	<u>Ionenmassenbestimmung</u>	73
2.1	<i>Die Massenspektrometrie</i>	73
2.1.1	Wirkungsweise eines Massenspektrometers	73
2.1.2	Anwendungsbereich eines Massenspektrometers	76
2.2	<i>Bestimmung relativer Ionenmassen. Der Isotopenbegriff</i>	76
2.2.1	Qualitative Untersuchungen	76
2.2.2	Quantitative Untersuchungen	79
3	<u>Ionisierungsenergie und Dissoziationsenergie</u>	80
Kapitel V.	Der Atombau	84
1	<u>Das Schalenmodell der Atome</u>	84
1.1	<i>Die Bausteine der Materie. Der Elementarteilchenbegriff</i>	84
1.2	<i>Der Atomkern</i>	88
1.2.1	Bauprinzip	88
1.2.2	Nukleonenkonfiguration und Stabilität	90
1.2.3	Durchmesser und Dichte der Atomkerne	92
1.3	<i>Die Elektronenhülle</i>	92
1.3.1	Bauprinzip	92

1.3.2	Elektronenkonfiguration und Stabilität	96
1.3.3	Durchmesser von Atomen und Atomionen	101
2	<u>Atomspektren</u>	102
2.1	<i>Die Bausteine des Lichts. Der Photonenbegriff</i>	102
2.2	<i>Elektronenspektren</i>	106
2.2.1	Die optischen Spektren	107
2.2.2	Die Röntgen-Spektren	111
2.3	<i>Photoelektronenspektren</i>	113
Kapitel VI. Der Molekülbau (Die chemische Bindung, Teil I)		116
1	<u>Die Elektronentheorie der Valenz</u>	116
1.1	<i>Verbindungen erster Ordnung</i>	117
1.1.1	Die Ionenbindung	117
1.1.1.1	Die Ionenwertigkeit	118
1.1.1.2	Die Gitterenergie von Ionenkristallen	119
1.1.1.3	Die Strukturen einiger Ionenkristalle	121
1.1.1.4	Die Mischkristallbildung	126
1.1.2	Die Atombindung	128
1.1.2.1	Die Atomwertigkeit und die Ladungszahl	128
1.1.2.2	Der Bindungsgrad und die Bindungslänge	131
1.1.2.3	Die Molekülgestalt und der Bindungswinkel	134
1.1.2.4	Die Bindungsenergie	138
1.1.2.5	Die Isomerie	140
1.1.3	Die Metallbindung	141
1.1.3.1	Die Metallwertigkeit, die Metallgitterenergie, die Metallatomradien	142
1.1.3.2	Die Strukturen der Metalle	143
1.1.3.3	Die Legierungen	148
1.1.4	Übergänge zwischen den verschiedenen Bindungsarten	149
1.1.4.1	Übersicht	149
1.1.4.2	Das Dipolmoment	150
1.1.4.3	Die Elektronegativität	152
1.1.5	Nomenklatur anorganischer Verbindungen erster Ordnung	154
1.2	<i>Verbindungen höherer Ordnung</i>	155
1.2.1	Bildung von Koordinationsverbindungen	156
1.2.1.1	Komplexbildung am Elektronendonator	156
1.2.1.2	Komplexbildung am Elektronenakzeptor	157
1.2.1.3	Komplexbildung am Elektronendonatorakzeptor	158
1.2.2	Polarität der koordinativen Bindung	159
1.2.2.1	Koordinative Bindung und formale Ladungszahl	159
1.2.2.2	Anlagerungs- und Durchdringungskomplexe	160
1.2.3	Molekülgestalt der Koordinationsverbindungen	162
1.2.3.1	Tetraeder und Dreieck	162
1.2.3.2	Trigonale, tetragonale und pentagonale Bipyramide	163
1.2.3.3	Bindungswinkel	166
1.2.3.4	Bindungslängen	166
1.2.4	Nomenklatur anorganischer Verbindungen höherer Ordnung	167
1.3	<i>Das Äquivalent</i>	168
2	<u>Molekülspektren</u>	169
2.1	<i>Überblick</i>	169
2.2	<i>Schwingungsspektren</i>	171
2.2.1	Allgemeines	172

2.2.1.1	Infrarotspektren	172
2.2.1.2	Ramanspektren	173
2.2.2	Anwendungen der Schwingungsspektroskopie	175
2.2.2.1	Kraftkonstanten	175
2.2.2.2	Frequenzlagen der Grundschnwingungen	175
2.2.2.3	Zahl und Intensität der Grundschnwingungen	177
2.3	<i>Kernresonanzspektren</i>	178
2.3.1	Allgemeines	178
2.3.2	Anwendungen der Kernresonanzspektroskopie	179
2.3.2.1	Chemische Verschiebung	179
2.3.2.2	Spin-Spin-Kopplung	180

Kapitel VII. Die Molekülumwandlung (Die chemische Reaktion, Teil II) 183

1	<u>Das chemische Gleichgewicht</u>	183
1.1	<i>Die Reaktionsgeschwindigkeit</i>	183
1.1.1	Die „Hin“-Reaktion	183
1.1.2	Die „Rück“-Reaktion	185
1.1.3	Die Gesamt-Reaktion	189
1.2	<i>Der Gleichgewichtszustand</i>	190
1.2.1	Das Massenwirkungsgesetz	190
1.2.2	Sonderanwendungen des Massenwirkungsgesetzes	192
1.2.2.1	Das Verteilungsgesetz	193
1.2.2.2	Die elektrolytische Dissoziation	193
1.3	<i>Beschleunigung der Gleichgewichtseinstellung</i>	200
1.3.1	Beschleunigung durch Katalysatoren	200
1.3.2	Beschleunigung durch Temperaturerhöhung	202
1.4	<i>Die Verschiebung von Gleichgewichten</i>	202
1.4.1	Qualitative Beziehungen	202
1.4.1.1	Das Prinzip von Le Chatelier	202
1.4.1.2	Folgerungen des Prinzips von Le Chatelier	203
1.4.2	Quantitative Anwendungsbeispiele	205
1.4.2.1	Die Hydrolyse	205
1.4.2.2	Die Neutralisation	207
1.5	<i>Heterogene Gleichgewichte</i>	210
1.5.1	Fest-gasförmige Systeme	210
1.5.2	Fest-flüssige Systeme	212
2	<u>Die Oxidation und Reduktion</u>	215
2.1	<i>Ableitung eines neuen Oxidations- und Reduktionsbegriffs</i>	215
2.1.1	Das Redoxsystem	215
2.1.2	Die Oxidationsstufe	217
2.2	<i>Die elektrochemische Spannungsreihe</i>	218
2.2.1	Das Normalpotential	218
2.2.1.1	Allgemeines	218
2.2.1.2	Normalpotentiale in saurer und basischer Lösung	221
2.2.1.3	Relative Stärke gebräuchlicher Oxidations- und Reduktionsmittel	225
2.2.2	Die Konzentrationsabhängigkeit des Einzelpotentials	227
2.2.2.1	Allgemeines	227
2.2.2.2	Redoxkraft in saurer, neutraler und basischer Lösung	231
2.3	<i>Die elektrolytische Zersetzung</i>	233
3	<u>Die Acidität und Basizität</u>	235

3.1	<i>Ableitung neuer Säure- und Basebegriffe</i>	235
3.1.1	Brönsted-Säuren und -Basen	235
3.1.2	Lewis-Säuren und -Basen	239
3.2	<i>Stärke von Brönsted-Säuren und -Basen</i>	240
3.2.1	Die protochemische Spannungsreihe	240
3.2.2	Die Konzentrationsabhängigkeit der Brönstedschen Acidität und Basizität	243
3.2.2.1	Allgemeines	243
3.2.2.2	Sehr starke Säuren und Supersäuren	246
3.3	<i>Stärke und Weichheit von Lewis-Säuren und -Basen</i>	248
Kapitel VIII.	Der Wasserstoff und seine Verbindungen	252
1	<u>Der natürliche Wasserstoff</u>	252
1.1	<i>Vorkommen</i>	252
1.2	<i>Darstellung</i>	253
1.2.1	Aus Wasser	253
1.2.2	Aus Kohlenwasserstoffen	257
1.3	<i>Physikalische Eigenschaften</i>	258
1.4	<i>Chemische Eigenschaften</i>	260
1.5	<i>Atomarer Wasserstoff</i>	264
2	<u>Leichter, schwerer und superschwerer Wasserstoff</u>	267
2.1	<i>Darstellung</i>	267
2.2	<i>Eigenschaften</i>	269
3	<u>Ortho- und Parawasserstoff</u>	270
4	<u>Verbindungen des Wasserstoffs</u>	272
4.1	<i>Systematik und Konstitution</i>	272
4.1.1	Stöchiometrie	273
4.1.2	Struktur und Bindung	276
4.1.2.1	Salzartige Wasserstoffverbindungen	276
4.1.2.2	Metallartige Wasserstoffverbindungen	279
4.1.2.3	Kovalente Wasserstoffverbindungen	280
4.2	<i>Darstellung</i>	286
4.2.1	Durch Hydrogenolyse	286
4.2.2	Durch Protolyse	288
4.2.3	Durch Hydridolyse	289
4.3	<i>Physikalische Eigenschaften</i>	289
4.4	<i>Chemische Eigenschaften</i>	292
4.4.1	Thermisches Verhalten	292
4.4.2	Säure-Base-Verhalten	294
4.4.3	Redox-Verhalten	295
4.4.4	Verwendung von Elementwasserstoffen	297

B. Hauptgruppen des Periodensystems

Kapitel IX.	Das Periodensystem der Elemente (Teil II): Hauptgruppenelemente	301
--------------------	--	-----

Kapitel X.	Die chemische Bindung (Teil II)	305
1	<u>Die Atomorbitale</u>	305
1.1	<i>Das Wasserstoffatom</i>	306
1.1.1	Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Wasserstoffelektrons	307

1.1.2	Wellenfunktionen des Wasserstoffelektrons	312
1.2	Atome mit mehreren Elektronen	315
2	<u>Die Molekülorbitale</u>	317
2.1	<u>Zweiatomige Moleküle</u>	318
2.1.1	Allgemeines	318
2.1.2	Lineare Kombination von Atomorbitalen zu Molekülorbitalen	320
2.1.2.1	Das Wasserstoffmolekül	321
2.1.2.2	Andere zweiatomige Moleküle	324
2.2	<u>Mehratomige Moleküle</u>	329
3	<u>Die Hybridorbitale</u>	331
3.1	<u>Allgemeines</u>	331
3.2	<u>Struktur von Molekülen mit Einfachbindungen</u>	333
3.3	<u>Struktur von Molekülen mit Mehrfachbindungen</u>	336
Kapitel XI.	Die chemische Reaktion (Teil III)	339
1	<u>Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen</u>	339
1.1	<u>Chemische Geschwindigkeitsgesetze</u>	339
1.2	<u>Geschwindigkeiten chemischer Reaktionen</u>	342
1.2.1	Halbwertszeit chemischer Vorgänge	343
1.2.2	Der Zeitmaßstab physikalischer und chemischer Vorgänge	345
1.2.2.1	Physikalische Molekylvorgänge	345
1.2.2.2	Chemische Molekylvorgänge	347
2	<u>Der Mechanismus chemischer Reaktionen</u>	350
2.1	<u>Isomerisierungen</u>	352
2.2	<u>Dissoziationen und Assoziationen</u>	354
2.2.1	Dissoziationen und Rekombinationen	354
2.2.2	Eliminierungen und Additionen	357
2.3	<u>Substitutionen</u>	359
2.3.1	Homolytische Substitutionsreaktionen	359
2.3.1.1	Allgemeines	359
2.3.1.2	Radikalkettenreaktionen	360
2.3.2	Heterolytische Substitutionsreaktionen	363
2.3.2.1	Allgemeines	363
2.3.2.2	Nucleophile Substitutionsreaktionen	364
2.4	<u>Die Erhaltung der Orbitalsymmetrie</u>	367
Kapitel XII.	Die Gruppe der Edelgase	372
1	<u>Geschichtliches</u>	372
2	<u>Vorkommen</u>	373
3	<u>Gewinnung</u>	374
4	<u>Physikalische Eigenschaften</u>	375
5	<u>Chemische Eigenschaften</u>	377
5.1	<u>Edelgashalogenide</u>	377
5.2	<u>Edelgasoxide und -fluoride</u>	383
6	<u>Verwendung</u>	385
Kapitel XIII.	Die Gruppe der Halogene	387
1	<u>Freie Halogene</u>	387
1.1	<u>Das Fluor</u>	387
1.2	<u>Das Chlor</u>	390

1.2.1	Vorkommen	390
1.2.2	Darstellung	390
1.2.2.1	Aus Natriumchlorid	390
1.2.2.2	Aus Chlorwasserstoff (Salzsäure)	393
1.2.3	Physikalische Eigenschaften	394
1.2.4	Chemische Eigenschaften	394
1.3	<i>Das Brom</i>	397
1.4	<i>Das Iod</i>	399
1.4.1	Vorkommen	399
1.4.2	Darstellung	400
1.4.3	Physikalische Eigenschaften	400
1.4.4	Chemische Eigenschaften	403
1.5	<i>Das Astat</i>	406
2	<u>Wasserstoffverbindungen der Halogene</u>	407
2.1	<i>Fluorwasserstoff</i>	407
2.2	<i>Chlorwasserstoff</i>	410
2.2.1	Darstellung	410
2.2.2	Eigenschaften	411
2.3	<i>Bromwasserstoff</i>	412
2.4	<i>Iodwasserstoff</i>	413
3	<u>Verbindungen der Halogene untereinander</u>	414
3.1	<i>Zweiatomige Interhalogene</i>	414
3.2	<i>Mehratomige Interhalogene</i>	416
4	<u>Sauerstoffsäuren der Halogene</u>	419
4.1	<i>Systematik und Konstitution</i>	419
4.2	<i>Sauerstoffsäure des Fluors</i>	421
4.3	<i>Sauerstoffsäuren des Chlors</i>	422
4.3.1	Hypochlorige Säure HClO	422
4.3.1.1	Darstellung	422
4.3.1.2	Eigenschaften	422
4.3.1.3	Salze	424
4.3.2	Chlorige Säure HClO_2	425
4.3.3	Chlorsäure	425
4.3.3.1	Darstellung	425
4.3.3.2	Eigenschaften	426
4.3.3.3	Salze	427
4.3.4	Perchlorsäure HClO_4	427
4.4	<i>Sauerstoffsäuren des Broms</i>	429
4.5	<i>Sauerstoffsäuren des Iods</i>	431
5	<u>Oxide und Fluoridoxide der Halogene</u>	434
5.1	<i>Systematik und Konstitution</i>	434
5.2	<i>Sauerstoffverbindungen des Fluors</i>	436
5.3	<i>Oxide des Chlors</i>	438
5.3.1	Dichloroxid Cl_2O	438
5.3.2	Chlordioxid ClO_2	438
5.3.3	Dichlorhexaoxid Cl_2O_6 und Chlortrioxid ClO_3	440
5.3.4	Dichlorheptaoxid Cl_2O_7	441
5.4	<i>Oxide des Broms</i>	441
5.5	<i>Oxide des Iods</i>	442
5.6	<i>Fluoridoxide des Chlors, Broms und Iods</i>	443
6	<u>Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Halogene</u>	445

Kapitel XIV. Die Gruppe der Chalkogene	449
1 <u>Der Sauerstoff</u>	449
1.1 <i>Sauerstoff</i>	449
1.1.1 Vorkommen	449
1.1.2 Darstellung	450
1.1.3 Physikalische Eigenschaften	451
1.1.4 Chemische Eigenschaften	451
1.1.5 Singulett-Sauerstoff	455
1.2 <i>Ozon</i>	457
1.2.1 Darstellung	458
1.2.1.1 Aus Sauerstoff	458
1.2.1.2 Aus Sauerstoffverbindungen	460
1.2.2 Physikalische Eigenschaften	460
1.2.3 Chemische Eigenschaften	461
1.3 <i>Wasser</i>	462
1.3.1 Vorkommen	462
1.3.2 Reinigung	462
1.3.3 Physikalische Eigenschaften	463
1.3.4 Chemische Eigenschaften	464
1.4 <i>Wasserstoffperoxid</i>	464
1.4.1 Darstellung	465
1.4.2 Physikalische Eigenschaften	466
1.4.3 Chemische Eigenschaften	467
1.4.4 Salze	470
2 <u>Der Schwefel</u>	471
2.1 <i>Elementarer Schwefel</i>	471
2.1.1 Vorkommen	471
2.1.2 Gewinnung	472
2.1.3 Physikalische Eigenschaften	474
2.1.3.1 Fester Schwefel	474
2.1.3.2 Flüssiger Schwefel	475
2.1.3.3 Gasförmiger Schwefel	479
2.1.3.4 Das Zustandsdiagramm des Schwefels	479
2.1.4 Chemische Eigenschaften	481
2.2 <i>Wasserstoffverbindungen des Schwefels</i>	485
2.2.1 Schwefelwasserstoff (Sulfan) H_2S	485
2.2.2 Polyschwefelwasserstoffe (Polysulfane) H_2S_n	489
2.3 <i>Halogenverbindungen des Schwefels</i>	490
2.4 <i>Oxide des Schwefels</i>	495
2.4.1 Schwefeldioxid SO_2	495
2.4.2 Schwefeltrioxid SO_3	498
2.4.3 Niedere Schwefeloxide	500
2.5 <i>Sauerstoffsäuren des Schwefels</i>	501
2.5.1 Systematik und Konstitution	501
2.5.2 Schweflige Säure H_2SO_3 und Dischweflige Säure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_5$	504
2.5.3 Schwefelsäure H_2SO_4 und Dischwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$	507
2.5.3.1 Darstellung	507
2.5.3.2 Physikalische Eigenschaften	511
2.5.3.3 Chemische Eigenschaften	511
2.5.3.4 Halogenderivate	514
2.5.4 Sulfoxylsäure H_2SO_2 . Thioschweflige Säure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_2$	516

2.5.5	Dithionige Säure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4$. Dithionsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$	517
2.5.6	Thioschwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ und Polysulfan-monosulfonsäuren $\text{H}_2\text{S}_n\text{O}_3$	519
2.5.7	Polythionsäuren (Polysulfan-disulfonsäuren) $\text{H}_2\text{S}_n\text{O}_6$	520
2.5.8	Peroxomonoschwefelsäure H_2SO_5 . Peroxodischwefelsäure $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$	523
3	<u>Das Selen</u>	524
3.1	<i>Elementares Selen</i>	524
3.2	<i>Verbindungen des Selens</i>	527
4	<u>Das Tellur</u>	531
5	<u>Das Polonium</u>	533
6	<u>Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Chalkogene</u>	534

α α	Kapitel XV. Die Stickstoffgruppe	537
1	<u>Der Stickstoff</u>	537
1.1	<i>Elementarer Stickstoff</i>	537
1.1.1	Vorkommen	537
1.1.2	Darstellung	537
1.1.3	Physikalische Eigenschaften	538
1.1.4	Chemische Eigenschaften	539
1.2	<i>Wasserstoffverbindungen des Stickstoffs</i>	542
1.2.1	Systematik und Konstitution	542
1.2.2	Ammoniak NH_3	544
1.2.2.1	Darstellung	544
1.2.2.2	Physikalische Eigenschaften	548
1.2.2.3	Chemische Eigenschaften	549
1.2.2.4	Inversion von Ammoniak und anderen Molekülen	551
1.2.3	Hydrazin N_2H_4	553
1.2.3.1	Darstellung	553
1.2.3.2	Eigenschaften	555
1.2.3.3	Innere Rotation des Hydrazins und anderer Moleküle	557
1.2.4	<u>Triazan N_3H_5, Tetrazan N_4H_6, und Triazen N_3H_3</u>	560
1.2.5	Nitren NH	561
1.2.6	<u>Diimin N_2H_2</u>	561
1.2.7	<u>Tetrazen N_4H_4</u>	566
1.2.8	Stickstoffwasserstoffsäure HN_3	568
1.3	<i>Halogenverbindungen des Stickstoffs</i>	570
1.3.1	Stickstoffchloride, -bromide und -iodide	572
1.3.2	Stickstoff-fluoride	576
1.4	<i>Oxide des Stickstoffs</i>	579
1.4.1	Distickstoffmonoxid N_2O	579
1.4.2	Stickstoffmonoxid NO . Distickstoffdioxid N_2O_2	580
1.4.3	Distickstofftrioxid N_2O_3	583
1.4.4	Stickstoffdioxid NO_2 . Distickstofftetraoxid N_2O_4	584
1.4.5	Distickstoffpentaoxid N_2O_5	586
1.4.6	Stickstofftrioxid NO_3 . Distickstoffhexaoxid N_2O_6	587
1.5	<i>Sauerstoffsäuren des Stickstoffs</i>	587
1.5.1	Systematik und Konstitution	587
1.5.2	Hydroxylamin NH_2OH	589
1.5.3	Hyposalpetrige Säure $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$. Nitrosowasserstoff HNO	592
1.5.4	Oxohyposalpetrige Säure $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_3$	593
1.5.5	Salpetrige Säure HNO_2	594
1.5.5.1	Darstellung	594

1.5.5.2	Eigenschaften	594
1.5.5.3	Nitrosylverbindungen	596
1.5.6	Salpetersäure HNO_3	600
1.5.6.1	Darstellung	600
1.5.6.2	Physikalische Eigenschaften	602
1.5.6.3	Chemische Eigenschaften	603
1.5.6.4	Nitrylverbindungen	604
1.6	<i>Schwefelverbindungen des Stickstoffs</i>	607
1.6.1	Schwefelnitride	608
1.6.2	Schwefelnitrid-Kationen und -Anionen	613
1.6.3	Sulfonsäuren der Stickstoffwasserstoffe	615
2	<u>Der Phosphor</u>	618
2.1	<i>Elementarer Phosphor</i>	618
2.1.1	Vorkommen	618
2.1.2	Darstellung	619
2.1.3	Physikalische Eigenschaften	621
2.1.3.1	Der weiße Phosphor	621
2.1.3.2	Der schwarze Phosphor	622
2.1.3.3	Der violette Phosphor	623
2.1.3.4	Der rote Phosphor sowie „Mischpolymerisate“ des Phosphors	624
2.1.4	Chemische Eigenschaften	624
2.2	<i>Wasserstoffverbindungen des Phosphors</i>	629
2.2.1	Systematik und Konstitution	629
2.2.2	Monophosphan PH_3	632
2.2.3	Höhere Phosphane	634
2.3	<i>Halogenverbindungen des Phosphors</i>	635
2.3.1	Phosphortrihalogenide und Diphosphortetrahalogenide	637
2.3.2	Phosphorpentahalogenide	638
2.3.3	Pseudorotation und andere Ligandenaustauschprozesse	640
2.3.3.1	Allgemeines	640
2.3.3.2	Zeitabhängige NMR-Phänomene	641
2.4	<i>Oxide des Phosphors</i>	643
2.5	<i>Sauerstoffsäuren des Phosphors</i>	646
2.5.1	Systematik und Konstitution	646
2.5.2	Phosphinsäure H_3PO_2	650
2.5.3	Phosphonsäure H_3PO_3	651
2.5.4	Phosphorsäure H_3PO_4	652
2.5.4.1	Darstellung und Eigenschaften	652
2.5.4.2	Salze	654
2.5.4.3	Derivate	656
2.5.5	Kondensierte Phosphorsäuren	659
2.5.6	Niedere Phosphorsäuren	663
2.5.7	Peroxophosphorsäuren	664
2.6	<i>Schwefelverbindungen des Phosphors</i>	664
2.7	<i>Stickstoffverbindungen des Phosphors</i>	666
3	<u>Das Arsen</u>	669
3.1	<i>Elementares Arsen</i>	669
3.2	<i>Arsenwasserstoff</i>	672
3.3	<i>Halogenverbindungen des Arsens</i>	674
3.4	<i>Sauerstoffverbindungen des Arsens</i>	675
3.4.1	Arsentrioxid As_2O_3 , Arsenige Säure H_3AsO_3	675

3.4.2	Arsenpentaoxid As_2O_5 . Arsensäure H_3AsO_4	678
3.5	Schwefelverbindungen des Arsens.....	679
4	<u>Das Antimon</u>	681
4.1	Elementares Antimon.....	681
4.2	Antimonwasserstoff.....	684
4.3	Halogenverbindungen des Antimons.....	685
4.4	Sauerstoffverbindungen des Antimons.....	687
4.5	Schwefelverbindungen des Antimons.....	689
5	<u>Das Bismut</u>	690
5.1	Elementares Bismut.....	690
5.2	Verbindungen des Bismuts.....	692
6	<u>Vergleichende Übersicht über die Stickstoffgruppe</u>	695

✓	Kapitel XVI. Die Kohlenstoffgruppe	699
1	<u>Der Kohlenstoff</u>	699
1.1	Elementarer Kohlenstoff.....	700
1.1.1	Vorkommen.....	700
1.1.2	Gewinnung.....	701
1.1.3	Physikalische Eigenschaften.....	701
1.1.3.1	Diamant.....	704
1.1.3.2	Graphit.....	705
1.1.3.3	Langmuirsche Adsorptionsisotherme.....	708
1.1.4	Chemische Eigenschaften.....	709
1.1.4.1	Allgemeines.....	709
1.1.4.2	Graphitverbindungen.....	711
1.2	Wasserstoffverbindungen des Kohlenstoffs.....	713
1.3	Halogenverbindungen des Kohlenstoffs.....	716
1.4	Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffs.....	716
1.4.1	Kohlendioxid CO_2	716
1.4.2	Kohlenmonoxid CO	720
1.4.3	Kohlensuboxid C_3O_2	724
1.5	Schwefelverbindungen des Kohlenstoffs.....	725
1.6	Stickstoffverbindungen des Kohlenstoffs.....	725
1.7	Carbide.....	726
2	<u>Das Silicium</u>	728
2.1	Elementares Silicium.....	728
2.1.1	Vorkommen.....	728
2.1.2	Darstellung.....	729
2.1.3	Physikalische Eigenschaften.....	730
2.1.4	Leiter, Nichtleiter, Halbleiter.....	731
2.1.5	Chemische Eigenschaften.....	734
2.1.6	Zintl-Phasen.....	737
2.2	Wasserstoffverbindungen des Siliciums.....	740
2.2.1	Monosilan SiH_4	741
2.2.2	Höhere Silane.....	743
2.3	Halogenverbindungen des Siliciums.....	745
2.4	Oxide des Siliciums.....	750
2.5	Sonstige binäre Siliciumverbindungen.....	755
2.6	Sauerstoffsäuren des Siliciums. Silicate und Silicone.....	757
2.6.1	Systematik und Konstitution.....	757

2.6.2	Kieselsäuren.....	760
2.6.2.1	Monokieselsäure H_4SiO_4	760
2.6.2.2	Polykieselsäuren.....	762
2.6.2.3	Kolloiddisperse Systeme.....	764
2.6.3	Natürliche Silicate.....	768
2.6.3.1	Insel-, Gruppen- und Ringsilicate.....	768
2.6.3.2	Ketten- und Bandsilicate („Inosilicate“).....	769
2.6.3.3	Schichtsilicate („Phyllosilicate“).....	771
2.6.3.4	Gerüstsilicate („Tectosilicate“).....	776
2.6.4	Technische Silicate.....	778
2.6.4.1	Alkalisilicate.....	778
2.6.4.2	Gläser.....	779
2.6.4.3	Tonwaren.....	783
2.6.5	Silicone.....	786
3	<u>Das Germanium</u>	788
3.1	<i>Elementares Germanium</i>	788
3.2	<i>Germanium(IV)-Verbindungen</i>	790
3.3	<i>Germanium(II)-Verbindungen</i>	792
4	<u>Das Zinn</u>	793
4.1	<i>Elementares Zinn</i>	793
4.2	<i>Zinn(II)-Verbindungen</i>	795
4.3	<i>Zinn(IV)-Verbindungen</i>	798
5	<u>Das Blei</u>	801
5.1	<i>Elementares Blei</i>	801
5.2	<i>Blei(II)-Verbindungen</i>	803
5.3	<i>Blei(IV)-Verbindungen</i>	806
5.4	<i>Der Bleiakkumulator</i>	809
6	<u>Vergleichende Übersicht über die Kohlenstoffgruppe</u>	810
2 x	Kapitel XVII. Die Borgruppe	814
1	<u>Das Bor</u>	814
1.1	<i>Elementares Bor</i>	814
1.1.1	Vorkommen.....	814
1.1.2	Darstellung.....	815
1.1.3	Physikalische Eigenschaften.....	815
1.1.4	Chemische Eigenschaften.....	818
1.2	<i>Wasserstoffverbindungen des Bors</i>	820
1.2.1	Systematik und Konstitution.....	820
1.2.2	Diboran B_2H_6	827
1.2.2.1	Darstellung.....	827
1.2.2.2	Eigenschaften.....	828
1.2.2.3	Monoborane (Tetrahydridoborate).....	834
1.2.3	Polyborane.....	835
1.2.4	Polyborane (Hydridopolyborate).....	842
1.2.5	Heteroborane.....	844
1.3	<i>Halogenverbindungen des Bors</i>	846
1.4	<i>Sauerstoffverbindungen des Bors</i>	851
1.5	<i>Schwefelverbindungen des Bors</i>	856
1.6	<i>Stickstoffverbindungen des Bors</i>	857
1.7	<i>Phosphor- und Kohlenstoffverbindungen des Bors</i>	862
1.8	<i>Metallboride</i>	863

2	<u>Das Aluminium</u>	864
2.1	<i>Elementares Aluminium</i>	864
2.1.1	Vorkommen	864
2.1.2	Darstellung	865
2.1.2.1	Gewinnung von reinem Aluminiumoxid aus Bauxit	865
2.1.2.2	Schmelzelektrolyse des Aluminiumoxids	867
2.1.3	Physikalische Eigenschaften	868
2.1.4	Chemische Eigenschaften	869
2.2	<i>Aluminiumwasserstoff</i>	872
2.3	<i>Halogenverbindungen des Aluminiums</i>	874
2.4	<i>Sauerstoffverbindungen des Aluminiums</i>	877
2.5	<i>Sonstige Aluminiumverbindungen</i>	882
3	<u>Der aktive Zustand der Materie</u>	885
3.1	<i>Energieinhalt und Oberflächenentwicklung</i>	885
3.1.1	Zerteilungsgrad	885
3.1.2	Oberflächenbeschaffenheit	887
3.2	<i>Energieinhalt und Gitterstörungen</i>	888
3.3	<i>Energieinhalt und Gleichgewichtskonstante</i>	889
4	<u>Das Gallium, Indium und Thallium</u>	890
5	<u>Vergleichende Übersicht über die Borgruppe</u>	893
✓	Kapitel XVIII. Die Gruppe der Erdalkalimetalle	896
1	<u>Das Beryllium</u>	896
1.1	<i>Elementares Beryllium</i>	896
1.1.1	Vorkommen	896
1.1.2	Darstellung	897
1.1.3	Eigenschaften	897
1.2	<i>Verbindungen des Berylliums</i>	900
2	<u>Das Magnesium</u>	904
2.1	<i>Elementares Magnesium</i>	904
2.2	<i>Verbindungen des Magnesiums</i>	907
3	<u>Das Calcium</u>	911
3.1	<i>Elementares Calcium</i>	911
3.2	<i>Verbindungen des Calciums</i>	912
3.3	<i>Mörtel</i>	921
3.3.1	Luftmörtel	921
3.3.2	Wassermörtel	921
4	<u>Das Strontium</u>	922
5	<u>Das Barium</u>	923
6	<u>Das Radium</u>	925
7	<u>Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Erdalkalimetalle</u>	925
✓	Kapitel XIX. Die Gruppe der Alkalimetalle	928
1	<u>Das Lithium</u>	928
1.1	<i>Elementares Lithium</i>	928
1.2	<i>Verbindungen des Lithiums</i>	930
2	<u>Das Natrium</u>	931
2.1	<i>Elementares Natrium</i>	931
2.2	<i>Verbindungen des Natriums</i>	937
2.2.1	Natriumchlorid (Kochsalz)	937
2.2.2	Natriumhydroxid (Ätznatron)	938

2.2.3	Natriumsulfat (Glaubersalz)	939
2.2.4	Natriumnitrat (Chilesalpeter)	940
2.2.5	Natriumcarbonat (Soda)	941
3	<u>Das Kalium</u>	943
3.1	<i>Elementares Kalium</i>	943
3.2	<i>Verbindungen des Kaliums</i>	944
3.2.1	Kalisalzlagerstätten	944
3.2.2	Kaliumchlorid (Sylvin)	945
3.2.3	Kaliumhydroxid (Ätzkali)	945
3.2.4	Kaliumsulfat	946
3.2.5	Kaliumnitrat (Salpeter)	946
3.2.6	Kaliumcarbonat (Pottasche)	947
3.2.7	Kalihaltige Düngemittel	947
4	<u>Das Rubidium, Cäsium und Francium</u>	948
5	<u>Die Ammoniumverbindungen</u>	949
5.1	<i>Freies Ammonium</i>	949
5.2	<i>Ammoniumsalze</i>	949
6	<u>Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Alkalimetalle</u>	953

C. Nebengruppen des Periodensystems

Kapitel XX. Das Periodensystem der Elemente (Teil III): Übergangselemente	959
1 <u>Elektronenkonfigurationen der Übergangselemente</u>	959
2 <u>Einordnung der Übergangselemente in das Periodensystem</u>	961
3 <u>Trends einiger Eigenschaften der Übergangselemente</u>	964

Kapitel XXI. Die Komplexbildung der Übergangselemente	968
(Die chemische Bildung, Teil III)	968
1 <u>Die Theorie der lokalisierten Molekülorbitale</u>	969
1.1 <i>Komplexliganden</i>	969
1.2 <i>Zusammensetzung der Komplexe</i>	971
1.3 <i>Beständigkeit der Komplexe</i>	973
1.4 <i>Räumlicher Bau der Komplexe</i>	975
2 <u>Die Ligandenfeldtheorie</u>	979
3 <u>Magnetochemie</u>	983
3.1 <i>Diagnetismus und Paramagnetismus</i>	984
3.1.1 <i>Materie im Magnetfeld. Die magnetische Suszeptibilität</i>	984
3.1.2 <i>Atomistische Deutung der magnetischen Suszeptibilität</i>	986
3.1.3 <i>Anwendungen</i>	989
3.2 <i>Ferromagnetismus, Ferrimagnetismus und Antiferromagnetismus</i>	991

Kapitel XXII. Die Kupfergruppe	996
1 <u>Das Kupfer</u>	997
1.1 <i>Elementares Kupfer</i>	997
1.2 <i>Kupfer(I)-Verbindungen (d^{10})</i>	1000
1.3 <i>Kupfer(II)-Verbindungen (d^9)</i>	1005
1.4 <i>Kupfer(III)- und Kupfer(IV)-Verbindungen (d^8, d^7)</i>	1009

2	<u>Das Silber</u> <i>Ag</i>	1010
2.1	<i>Elementares Silber</i>	1010
2.1.1	Vorkommen	1010
2.1.2	Darstellung von Rohsilber	1010
2.1.2.1	Aus Silbererzen	1010
2.1.2.2	Aus Werkblei	1011
2.1.3	Reinigung des Rohsilbers	1012
2.1.4	Physikalische Eigenschaften	1012
2.1.5	Chemische Eigenschaften	1012
2.2	<i>Silber(I)-Verbindungen</i> (d^{10})	1014
2.3	<i>Silber(II)-Verbindungen</i> (d^9)	1016
2.4	<i>Silber(III)- und Silber(IV)-Verbindungen</i> (d^8 , d^7)	1018
2.5	<i>Der photographische Prozeß</i>	1018
3	<u>Das Gold</u> <i>Au</i>	1020
3.1	<i>Elementares Gold</i>	1020
3.2	<i>Verbindungen des Goldes</i>	1022
4	<u>Schmelz- und Erstarrungsdiagramme binärer Systeme</u>	1026
4.1	<i>Abscheidung reiner Stoffe</i>	1026
4.1.1	Keine Verbindungsbildung	1026
4.1.2	Bildung einer Verbindung	1028
4.2	<i>Abscheidung von Mischkristallen</i>	1029
4.2.1	Lückenlose Mischungsreihe	1029
4.2.2	Vorhandensein einer Mischungslücke	1030
5	<u>Vergleichende Übersicht über die Kupfergruppe</u>	1030

xx **Kapitel XXIII. Die Zinkgruppe** 1033

1	<u>Das Zink</u> <i>Zn</i>	1034
1.1	<i>Elementares Zink</i>	1034
1.1.1	Vorkommen	1034
1.1.2	Gewinnung	1034
1.1.3	Physikalische Eigenschaften	1036
1.1.4	Chemische Eigenschaften	1036
1.2	<i>Verbindungen des Zinks</i>	1037
2	<u>Das Cadmium</u> <i>Cd</i>	1041
3	<u>Das Quecksilber</u> <i>Hg</i>	1042
3.1	<i>Elementares Quecksilber</i>	1042
3.2	<i>Quecksilber(I)-Verbindungen</i>	1045
3.3	<i>Quecksilber(II)-Verbindungen</i> (d^{10})	1048
4	<u>Vergleichende Übersicht über die Zinkgruppe</u>	1053

Kapitel XXIV. Die Scandiumgruppe 1055

1	<u>Das Scandium</u>	1055
2	<u>Das Yttrium</u>	1056
3	<u>Das Lanthan</u>	1057
4	<u>Das Actinium</u>	1058
5	<u>Vergleichende Übersicht über die Scandiumgruppe</u>	1058

Kapitel XXV. Die Titangruppe 1060

1	<u>Das Titan</u>	1060
1.1	<i>Elementares Titan</i>	1060
1.2	<i>Verbindungen des Titans</i>	1063

2	<u>Das Zirkonium</u>	1067
3	<u>Das Hafnium</u>	1068
4	<u>Das Eka-Hafnium (Rutherfordium)</u>	1069
5	<u>Vergleichende Übersicht über die Titangruppe</u>	1069
Kapitel XVI. Die Vanadiumgruppe		1071
1	<u>Das Vanadium</u>	1071
1.1	<i>Elementares Vanadium</i>	1071
1.2	<i>Verbindungen des Vanadiums</i>	1073
2	<u>Das Niobium und Tantal</u>	1075
2.1	<i>Elementares Niobium und Tantal</i>	1075
2.2	<i>Verbindungen des Niobiums und Tantals</i>	1076
3	<u>Das Eka-Tantal (Hahnium)</u>	1079
4	<u>Vergleichende Übersicht über die Vanadiumgruppe</u>	1080
Kapitel XXVII. Die Chromgruppe		1081
1	<u>Das Chrom</u>	1081
1.1	<i>Elementares Chrom</i>	1081
1.2	<i>Chrom(VI)-Verbindungen (d^0)</i>	1084
1.2.1	Chromate, Dichromate	1084
1.2.2	Peroxo-chromate	1087
1.3	<i>Chrom(V)-Verbindungen (d^1)</i>	1089
1.4	<i>Chrom(IV)-Verbindungen (d^2)</i>	1089
1.5	<i>Chrom(III)-Verbindungen (d^3)</i>	1089
1.6	<i>Chrom(II)-Verbindungen (d^4)</i>	1093
2	<u>Das Molybdän</u>	1096
2.1	<i>Elementares Molybdän</i>	1096
2.2	<i>Verbindungen des Molybdäns</i>	1097
3	<u>Das Wolfram</u>	1103
3.1	<i>Elementares Wolfram</i>	1103
3.2	<i>Verbindungen des Wolframs</i>	1105
4	<u>Eka-Wolfram</u>	1108
5	<u>Vergleichende Übersicht über die Wolframgruppe</u>	1108
Kapitel XXVIII. Die Mangangruppe		1110
1	<u>Das Mangan</u>	1110
1.1	<i>Elementares Mangan</i>	1110
1.2	<i>Verbindungen des Mangans</i>	1112
2	<u>Das Technetium</u>	1117
3	<u>Das Rhenium</u>	1118
3.1	<i>Elementares Rhenium</i>	1118
3.2	<i>Verbindungen des Rheniums</i>	1119
4	<u>Eka-Rhenium</u>	1123
5	<u>Vergleichende Übersicht über die Mangangruppe</u>	1123
Kapitel XXIX. Die Eisengruppe		1125
1	<u>Das Eisen</u>	1125
1.1	<i>Elementares Eisen</i>	1125
1.1.1	Vorkommen	1125
1.1.2	Darstellung	1127

1.1.2.1	Erzeugung von Roheisen	1127
1.1.2.2	Gewinnung von Stahl	1130
1.1.3	Physikalische Eigenschaften	1133
1.1.4	Chemische Eigenschaften	1134
1.2	<i>Eisen(II)- und Eisen(III)-Verbindungen</i> (d^6 , d^5)	1136
1.2.1	Sauerstoffverbindungen	1137
1.2.2	Schwefelverbindungen	1140
1.2.3	Halogenverbindungen	1141
1.2.4	Cyanoverbindungen	1141
1.2.5	Sonstige Fe(II)- und Fe(III)-Verbindungen	1145
1.3	<i>Eisen(VI)-, Eisen(V)- und Eisen(IV)-Verbindungen</i> (d^2 , d^3 , d^4)	1146
2	<u>Das Cobalt</u>	1146
2.1	<i>Elementares Cobalt</i>	1146
2.2	<i>Cobalt(II)- und Cobalt(III)-Verbindungen</i> (d^7 , d^6)	1147
2.3	<i>Cobalt(I)-, Cobalt(IV)- und Cobalt(V)-Verbindungen</i> (d^8 , d^5 , d^4)	1151
3	<u>Das Nickel</u>	1152
3.1	<i>Elementares Nickel</i>	1152
3.2	<i>Nickel(II)-Verbindungen</i> (d^8)	1154
3.3	<i>Nickel(I)-, Nickel(III)- und Nickel(IV)-Verbindungen</i> (d^9 , d^7 , d^6)	1156
4	<u>Die Metallcarbonyle</u>	1156
4.1	<i>Systematik und Konstitution</i>	1156
4.2	<i>Darstellung</i>	1162
4.3	<i>Eigenschaften</i>	1164
4.3.1	Substitutionsreaktionen	1164
4.3.2	Oxidationsreaktionen	1170
4.3.2.1	Metallcarbonylhalogenide	1170
4.3.2.2	Metallcarbonyl-Kationen	1171
4.3.3	Reduktionsreaktionen	1171
4.3.4	Additionsreaktionen	1176
4.4	<i>Trifluorosphoran-Metallkomplexe</i>	1178
4.5	<i>Metall-π-Komplexe</i>	1180
5	<u>Vergleichende Übersicht über die Eisengruppe</u>	1184
Kapitel XXX. Die Gruppe der Platinmetalle		1186
1	<u>Vorkommen</u>	1186
2	<u>Gewinnung</u>	1187
3	<u>Physikalische Eigenschaften</u>	1187
4	<u>Chemische Eigenschaften</u>	1188
5	<u>Verbindungen der Platinmetalle</u>	1190
5.1	<i>Osmiumgruppe</i>	1190
5.1.1	Rutheniumverbindungen	1191
5.1.2	Osmiumverbindungen	1194
5.2	<i>Iridiumgruppe</i>	1196
5.2.1	Rhodiumverbindungen	1196
5.2.2	Iridiumverbindungen	1199
5.3	<i>Platingruppe</i>	1201
5.3.1	Palladiumverbindungen	1201
5.3.2	Platinverbindungen	1204
5.4	<i>Eka-Osmium und Eka-Iridium</i>	1208
6	<u>Vergleichende Übersicht über die Gruppe der Platinmetalle</u>	1209

D. Lanthanoide und Actinoide

Kapitel XXXI. Das Periodensystem der Elemente (Teil IV):

Lanthanoide und Actinoide. 1213

1	<u>Elektronenkonfiguration der Lanthanoide und Actinoide</u>	1213
2	<u>Einordnung der Lanthanoide und Actinoide in das Periodensystem</u>	1214

α/γ

Kapitel XXXII. Die natürliche Elementumwandlung. 1217

1	<u>Radioaktive Elemente</u>	1217
1.1	<i>Verschiebungssatz</i>	1217
1.2	<i>Zerfallsreihen</i>	1218
2	<u>Radioaktive Strahlung</u>	1220
2.1	<i>Geschichtliches</i>	1220
2.2	<i>Energieinhalt</i>	1222
2.3	<i>Wechselwirkung mit Materie</i>	1224
2.4	<i>Radioaktive Indikatoren</i>	1226
3	<u>Radioaktive Zerfallsgeschwindigkeit</u>	1227
3.1	<i>Halbwertszeit</i>	1227
3.2	<i>Radioaktives Gleichgewicht</i>	1228
3.3	<i>Altersbestimmung von Mineralien</i>	1230
4	<u>Radioaktiver Energieumsatz</u>	1232
4.1	<i>Massenverlust durch Strahlung</i>	1232
4.2	<i>Kernbindungsenergie</i>	1232

Kapitel XXXIII. Die künstliche Elementumwandlung. 1237

1	<u>Die Kern-Einzelreaktion</u>	1237
1.1	<i>Die einfache Kernreaktion</i>	1240
1.1.1	<i>Methoden der Kernumwandlung</i>	1240
1.1.1.1	<i>Kernumwandlung mit Heliumkernen</i>	1240
1.1.1.2	<i>Kernumwandlung mit Wasserstoffkernen</i>	1243
1.1.1.3	<i>Kernumwandlung mit Neutronen</i>	1245
1.1.1.4	<i>Kernumwandlung mit schwereren Atomkernen</i>	1247
1.1.1.5	<i>Kernumwandlung mit γ-Strahlen</i>	1247
1.1.2	<i>Die Elemente 43, 61, 85 und 87</i>	1248
1.1.3	<i>Die künstliche Radioaktivität</i>	1250
1.2	<i>Die Kernzersplitterung</i>	1253
1.3	<i>Die Kernspaltung</i>	1253
1.4	<i>Die Kernverschmelzung</i>	1256
2	<u>Die Kern-Kettenreaktion</u>	1258
2.1	<i>Die gesteuerte Kern-Kettenreaktion</i>	1258
2.2	<i>Die ungesteuerte Kern-Kettenreaktion</i>	1262

Kapitel XXXIV. Die Lanthanoide 1265

1	<u>Geschichtliches</u>	1266
2	<u>Vorkommen</u>	1267
2.1	<i>Allgemeines</i>	1267
2.2	<i>Wichtige Mineralien</i>	1267
2.3	<i>Häufigkeit</i>	1268
3	<u>Trennung</u>	1269
3.1	<i>Trennung durch Fraktionierung</i>	1269
3.2	<i>Trennung durch Wertigkeitsänderung</i>	1271

4	<u>Physikalische Eigenschaften</u>	1272
5	<u>Chemische Eigenschaften</u>	1274
6	<u>Das Promethium</u>	1277
7	<u>Vergleichende Übersicht über die Lanthanoide</u>	1279

Kapitel XXXV. Die Actinoide

1	<u>Allgemeiner Überblick</u>	1280
1.1	<i>Analogie zwischen Lanthanoiden und Actinoiden</i>	1281
1.2	<i>Darstellung der Actinoide</i>	1284
1.3	<i>Physikalische Eigenschaften der Actinoide</i>	1285
1.4	<i>Chemisches Verhalten der Actinoide</i>	1285
2	<u>Die einzelnen Actinoide</u>	1288
2.1	<i>Das Thorium</i>	1288
2.2	<i>Das Protactinium</i>	1289
2.3	<i>Das Uran</i>	1290
2.4	<i>Das Neptunium</i>	1294
2.5	<i>Das Plutonium</i>	1296
2.6	<i>Das Americium</i>	1298
2.7	<i>Das Curium</i>	1299
2.8	<i>Das Berkelium</i>	1300
2.9	<i>Das Californium</i>	1300
2.10	<i>Das Einsteinium</i>	1301
2.11	<i>Das Fermium</i>	1302
2.12	<i>Das Mendelevium</i>	1302
2.13	<i>Das Nobelium</i>	1302
2.14	<i>Das Lawrencium</i>	1303
3	<u>Vergleichende Übersicht über die Actinoide</u>	1304

Schlußwort. Die gegenseitige Umwandlung von Masse und Energie

E. Anhang

I	Zahlentabellen	1311
II	SI-Einheiten	1314
III	Häufigkeit und Masse natürlicher Isotope	1319
IV	Nobelpreise für Chemie und Physik	1322

Personenregister

Sachregister