

ANORGANIKUM

LEHR- UND
PRAKTIKUMSBUCH
DER ANORGANISCHEN
CHEMIE

1

Ausgabe in 2 Teilen

Bausteine der Materie	Reaktionsmechanismen
Chemische Kinetik	Qualitative Analyse
Thermodynamik	Quantitative Analyse
Elektrochemie	Präparative Chemie

ANORGANIKUM

LEHR- UND
PRAKTIKUMSBUCH
DER ANORGANISCHEN
CHEMIE

1

Ausgabe in 2 Teilen

Bausteine der Materie	Reaktionsmechanismen
Chemische Kinetik	Qualitative Analyse
Thermodynamik	Quantitative Analyse
Elektrochemie	Präparative Chemie



ANORGANIKUM⁵

**Lehr- und Praktikumsbuch der anorganischen Chemie
mit einer Einführung in die physikalische Chemie**

Von einem Autorenkollektiv

Herausgegeben von Lothar Kolditz

9. Auflage in 2 Teilen

Mit 370 Abbildungen und 111 Tabellen

Teil 1



**VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
Berlin 1981**

Dem Autorenkollektiv gehören an:

**G. Blumenthal, S. Engels, I. Fitz, W. Haberditzl, K.-H. Heckner, G. Henrion,
R. Landsberg, W. Schmidt, G. Scholz, P. Starke, I. Wilke, K.-Th. Wilke†**

Anmerkung des Verlages

Die vorliegende Ausgabe weist gegenüber der 7., überarbeiteten Auflage keine inhaltlichen Änderungen auf; aus technischen Gründen wurde sie in 2 Teilen gefertigt.

Schutzumschlag und Einband: H. Hoefmann
© VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1977
Printed in the German Democratic Republic
Lizenz-Nr.: 206 · 435/111/81
Satz: VEB Druckhaus „Maxim Gorki“, Altenburg
Fotomechanischer Nachdruck: Volksdruckerei Zwickau
LSV 1254
Bestellnummer 570 405 2
DDR 48,— M (für Teil 1 und 2)

Vorwort zur 1. Auflage

An vielen Hochschulen und Universitäten wird versucht, eine Umgestaltung der Praktika zu erreichen. Man geht vom klassischen Vorbild ab, das sich viele Jahrzehnte bewährt hat, aber doch nun einer Veränderung bedarf, und ist bestrebt, eine neue Form zu finden. Auch an den Chemischen Instituten der Humboldt-Universität sind seit längerer Zeit Diskussionen und Versuche im Gange, zu einer möglichst effektiven Umgestaltung zu gelangen. Die Schwierigkeit besteht darin, daß es viele Wege gibt, die Erfolg versprechen, und damit die Entscheidung für eine bestimmte Richtung nicht leichtfällt. Aus den jeweiligen Vorschlägen, die im einzelnen immer wieder abgewandelt wurden, scheinen sich aber zwei wesentliche Dinge herauszukristallisieren. Es ist zu fordern, daß eine verstärkte Durchdringung der anorganischen und organischen Praktika mit theoretischen Grundlagen — ohne Vernachlässigung der praktischen Arbeit — erfolgt und daß die Studenten bereits während ihrer Ausbildung in den ersten Jahren zu einer forschenden Tätigkeit erzogen werden.

Die Vermittlung allgemeiner chemischer Grundlagen ist schon seit längerem die Aufgabe der Anorganiker bei der Betreuung der ersten Semester gewesen. Dabei gehen aber die Ansichten, was zum Bereich der allgemeinen Chemie gehört, auseinander. Es ist wohl an der Zeit, nicht mehr von allgemeiner Chemie zu sprechen, sondern möglichst früh eine Einführung in die physikalische Chemie auf exakter Grundlage zu geben. Das kann am wirksamsten in direkter Zusammenarbeit mit den Physikochemikern geschehen. So ist auch dieses Buch aus einer solchen Zusammenarbeit heraus entstanden. Die Verzahnung zwischen anorganischer und physikalischer Chemie ist in der Ausbildung stärker zu beachten als im Falle der organischen Chemie, die zu späterer Zeit vermittelt wird, wo die Grundlagen der physikalischen Chemie dem Studenten bekannt sein müssen. Damit ist es erklärlich, daß ein anorganisches Praktikumsbuch breiter aufgebaut sein muß als ein organisches und nicht als spezifisch anorganisches Buch erscheinen kann.

Unser Buch ist aus acht Abschnitten aufgebaut, die keineswegs in der gegebenen Reihenfolge durchgearbeitet werden sollen, sondern zum größten Teil nebeneinander zu benutzen sind. Der erste Abschnitt wurde von Frau Dr. I. Wilke und Herrn Dr. K.-Th. Wilke geschrieben und behandelt die wichtigsten einfachen Geräte und Arbeitsmethoden zusammen mit Arbeitsschutzvorschriften. Dieser Teil ist leicht faßbar und muß eindeutig zu Anfang des Studiums behandelt werden. Alle übrigen Teile sind entsprechend den persönlichen Neigungen der Lehrenden nebeneinander zu

gebrauchen. Grundlegend ist das von Herrn Prof. Dr. W. Haberditzl verfaßte Kapitel über „Bausteine der Materie“, dem wegen seiner Bedeutung für ein wirkliches Verständnis chemischer Vorgänge relativ viel Platz eingeräumt wurde. Obwohl es sich um ein einführendes Buch handelt, ist der Versuch unternommen worden, vom Bohrschen Atommodell abzugehen und von vornherein die Hilfsmittel der Quantenchemie anzuwenden. Dabei wird lediglich etwas Übung im Differenzieren vorausgesetzt und auch nur soweit, wie es im Lehrplan der erweiterten Oberschule vorgesehen ist. Breiten Raum erhielten auch die folgenden Kapitel „Chemische Kinetik und Reaktionsmechanismen“, „Gleichgewichte und chemische Thermodynamik“ und „Elektrochemie“. Die beiden ersten Kapitel wurden von Herrn Dr. R. Stange begonnen und von Herrn Dr. K. H. Heckner und Herrn Prof. Dr. R. Landsberg (Elektrochemie) zu Ende geführt. Herrn Dr. Stange hat ein plötzlicher Tod mitten aus seiner Arbeit gerissen.

Der Abschnitt „Verbindungen und Reaktionen in der anorganischen Chemie“ wurde von Herrn Dr. W. Schmidt geschrieben und gibt mit der Einteilung nach Stoffklassen und Reaktionstypen einen Überblick über die anorganische Chemie.

Die Abschnitte über „Nichtmetalle“ von Herrn Dr. I. Fitz und über „Metalle“ von Herrn Dr. S. Engels haben speziellen Charakter und dienen der Bearbeitung einzelner Gruppen des Periodensystems. Diese Teile sind in Verbindung mit dem präparativen Abschnitt von Frau Dr. I. Wilke und Herrn Dr. K.-Th. Wilke zu verwenden, der z. T. tabellenmäßig die Stoffklassen nach präparativen Operationen zusammenstellt.

Im Kapitel „Qualitative Analyse“ von Herrn Dipl.-Chem. G. Scholz und Herrn Dipl.-Chem. P. Starke stehen ebenfalls die Arbeitsmethoden im Vordergrund. Der klassische Analysengang tritt demgegenüber zurück, im Hinblick auf seinen großen didaktischen Wert wird er aber trotzdem vollständig behandelt. Das Kapitel über „Quantitative Analyse“ gliedert sich auf in „Grundlagen der quantitativen Analyse“ (Herr Dr. G. Blumenthal) und „Elektrochemische Methoden der quantitativen Analyse“ (Herr Dr. G. Henrion). Es wurde auch in diesem Teil Wert darauf gelegt, das Wesen der Methoden in Verbindung mit einer gründlichen theoretischen Fundierung herauszustellen.

Im Anschluß an unsere Grundausbildung (3 Jahre) nach dem organischen Praktikum wird eine Arbeit durchgeführt, die Forschungscharakter besitzt. In der Regel stammen die Themen aus der Industrie, sie können aber auch mit den Forschungsvorhaben der Institute zusammenhängen. Nach unseren Erfahrungen ist eine solche Aufgabe für die Ausbildung der Studenten von großem Nutzen. Sie erfordert eine komplexe Anwendung der im ersten Ausbildungsabschnitt erworbenen Kenntnisse und geht in die Bewertung der vor der praktischen Diplomarbeit abgelegten Hauptprüfung ein. Das kurze Kapitel, das darauf Bezug nimmt, wurde von Herrn Dr. D. Heinz verfaßt.

Wir haben bewußt nicht ein Buch geschrieben, das in chronologischer Reihenfolge den anorganischen Ausbildungsabschnitt behandelt. Der Student sollte ein Buch in die Hand bekommen, das zum Nachdenken anregt und ihn nicht verführt, eine Anzahl von Aufgaben der Reihe nach mechanisch zu erledigen. Das Anorganikum ist eine Anleitung zum Studium, das die Mitwirkung des Lehrpersonals in starkem Maße erfordert. In bezug auf die Kombination der einzelnen Teile sollte dem Lehrpersonal eine große Variationsmöglichkeit offengelassen werden.

Dem VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, besonders den Mitarbeiterinnen des Lektorats Chemie, sprechen wir unseren besten Dank für die gute Gestaltung des Buches aus, ebenso den beteiligten Mitarbeitern der Druckerei Fortschritt Erfurt.

Berlin, Sommer 1967

L. Kolditz

Vorwort zur 7. Auflage

Nach der 3., bearbeiteten Auflage sind weitere 3 Auflagen mit geringfügigen Korrekturen herausgegeben worden, und es war nunmehr für die 7. Auflage notwendig, eine umfangreiche Bearbeitung vorzunehmen. Auf verschiedenen Teilgebieten wurden die Kenntnisse vertieft, und Wissen, das zunächst noch nicht voll gesichert erschien, gehört nunmehr zum Fundament, auf dem die weitere Entwicklung der Chemie aufgebaut wird. Das Prinzipielle in der Fachausbildung ist geblieben. Nach wie vor gilt, daß eine solide Laborausbildung zum Erlernen der Fähigkeit, richtig zu experimentieren, gekoppelt mit der Fähigkeit, das Beobachtete richtig zu deuten und theoretisch zu erklären, die Grundlage des Chemiestudiums ist. Es ist auch wohl klar geworden, daß die forschungsbezogene Ausbildung der Studenten darin besteht, entsprechend dem Ausbildungsstand auf eine Forschungstätigkeit hinzulenken, wobei als Voraussetzung das Beherrschen der zu dieser Arbeit notwendigen experimentellen und theoretischen Methoden anzusehen ist.

In der 7. Auflage wurden alle Kapitel bearbeitet und ergänzt. Da sich aber der Umfang des Buches nicht wesentlich vergrößern sollte, mußten dafür Teile gestrafft oder gestrichen werden. Die Anlage der Kapitel hat sich gegenüber den früheren Auflagen geringfügig geändert. Das 1. Kapitel „Bausteine der Materie“ von Prof. Dr. W. Haberditzl behandelt die Aspekte der chemischen Bindung. Im darauf folgenden kinetischen und thermodynamischen Teil von Doz. Dr. K.-H. Heckner ist besonders der neue Abschnitt über statistische Thermodynamik hervorzuheben. Das Kapitel „Elektrochemie“ von Prof. Dr. R. Landsberg wurde bearbeitet, aber nicht wesentlich erweitert. Die zum Teil „Verbindungen und Reaktionen in der anorganischen Chemie“ gehörenden Kapitel von Dr. W. Schmidt, Prof. Dr. S. Engels und Dr. I. Fitz sind an vielen Stellen ergänzt, überarbeitet und dem modernen Wissensstand angeglichen worden. Das ursprüngliche Kapitel A „Laboratoriumsausrüstung und -methoden“ ist nunmehr dem präparativen Teil vorangestellt worden, der von Frau Dr. I. Wilke, Dr. K.-Th. Wilke und Dr. P. Starke vollständig bearbeitet wurde. Herr Dr. K.-Th. Wilke wurde durch seinen plötzlichen Tod aus unserer Mitte gerissen.

Das Kapitel „Qualitative Analyse“ von Dr. G. Scholz wurde durch neue tabellarische Übersichten verbessert und rationeller gestaltet. Die Ausführungen über „Quantitative Analyse“ von Dr. G. Blumenthal sind teilweise stark bearbeitet und durch zahlreiche neue Abbildungen ergänzt worden. Auch das Kapitel „Elektrochemische Methoden“ von Doz. Dr. G. Henrion wurde durch moderne Aspekte ergänzt. Der Abschnitt „Forschungsarbeit der Studenten“ ist in der 7. Auflage nicht mehr enthalten, weil die Darstellung dieses Komplexes doch auf einen unterschied-

lichen Ausbildungsstand der Studenten eingehen müßte, was den Rahmen des Buches gesprengt hätte.

Die Hinweise auf weiterführende Literatur wurden gestrafft und in alphabetischer Reihenfolge am Schluß des Buches aufgeführt.

Wir danken dem VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, dem Lektorat Chemie und besonders Frau I. Wenig für die stets ausgezeichnete Zusammenarbeit, ohne die dieses Werk nicht entstanden wäre und auch nicht hätte fortgeführt werden können.

Berlin, im Frühjahr 1976

L. Kolditz

Inhalt

Teil 1 (A–C)

Verzeichnis der verwendeten Symbole	30
A. Bausteine der Materie	37
1. Die atomistische Struktur der Materie	39
1.1. Die Erhaltung der Masse	39
1.2. Gesetz von den konstanten und multiplen Proportionen	40
1.3. Gesetz von GAY-LUSSAC, HUMBOLDT und AVOGADRO, chemische Gleichungen	40
1.4. Ideale Gase, Zustandgleichung, Bestimmung von Molmassen	41
1.5. Ideale Festkörper	44
2. Kinetische Theorie der Materie	46
2.1. Molwärme idealer Gase	48
2.2. Stoßzahl und mittlere freie Weglänge, Diffusion und Wärmeleitung	50
2.3. Molwärme idealer Festkörper	51
3. Grundlagen der Quantentheorie	52
3.1. Klassische Physik und atomare Struktur der Materie	52
3.2. Wirkungsquantum, Quantentheorie der Molwärmern	53
3.3. Lichtelektrischer Effekt. Photonen	54
3.4. Elektronen	55
3.5. Quantentheorie und klassische Physik	56
3.6. Einige Grundgedanken der Quantenmechanik in elementarer Darstellung	57
4. Elementarteilchen und Atomkerne	59
4.1. Elementarteilchen	60
4.1.1. Übersicht über einige der wichtigsten Elementarteilchen	60
4.2. Atomkerne	62

4.3.	Radioaktivität, Kernreaktionen	63
4.4.	Stabile und instabile Nuklide	64
5.	Die Elektronenhülle der Atome	66
5.1.	Stationäre Zustände des Atoms: Experimentelle Grundlagen	67
5.1.1.	Elektronenstoßuntersuchungen	67
5.1.2.	Röntgenspektren	68
5.1.3.	Optische Spektren	69
5.2.	H-Atom: Grundzustand	72
5.3.	H-Atom: Angeregte Zustände	75
5.4.	Drehimpuls, H-Atom im Magnetfeld	77
5.5.	Elektronenkonfigurationen, Atomzustände, Periodensystem	79
5.6.	Grenzen des Einelektronenmodells, Atome und Molekeln	85
6.	Erscheinungsformen der chemischen Bindung	86
6.1.	Energiestufen und Struktur von Molekeln	86
6.1.1.	Rotationsspektren	87
6.1.2.	Rotationsschwingungsspektren	91
6.1.3.	Elektronensprungsspektren	93
6.1.4.	Lösungsspektren	94
6.1.5.	Raman-Spektren	94
6.1.6.	Kernresonanzspektren	96
6.1.7.	Beugungsmethoden	100
6.2.	Chemische Bindung	101
6.2.1.	Das H_2^+ -Molekülion	101
6.2.2.	Ursache der chemischen Bindung	105
6.2.3.	Austauschentartung, H_2 -Molekel, VB-Verfahren	107
6.2.4.	Molekülzustände (MO-Verfahren)	112
6.3.	Molekeln mit vorwiegend kovalenten Bindungen	113
6.3.1.	Valenz, Valenzwinkel, Hybridisierung	113
6.3.2.	Mehrfachbindungen	117
6.3.3.	Mesomerie	119
6.3.4.	Anwendung der MO-Methode	120
6.3.5.	Polare Molekeln, Dipolmomente	123
6.3.6.	Elektronegativität, Ionenbindungsanteil	126
6.3.7.	Atom- und Molekülgitter, zwischenmolekulare Kräfte	130
6.4.	Ionen in Gitterstrukturen	132
6.4.1.	Anwendung von Röntgenstrahlen zur Strukturuntersuchung	132
6.4.2.	Gitterenergie	136
6.4.3.	Ionenradien und Gittertypen	139
6.4.4.	Übergänge zu anderen Arten der Kristallbindung	141
6.5.	Ionen in Ligandenfeldern	142
6.5.1.	Symmetrien von Molekeln	142
6.5.2.	Komplexverbindungen: experimentelle Grundlagen	148
6.5.3.	Grundzüge der Magnetochemie	149
6.5.4.	Mössbauer-Spektroskopie	152
6.5.5.	Optische Rotationsdispersion und Zirkulardichroismus	152

6.5.6.	Elektrostatische Theorie der Komplexe.	154
6.5.7.	Koordinanzbindungen in Komplexen.	158
6.6.	Metallbindung	161
6.6.1.	Metallbindung und Metallgitter, Ferro- und Antiferromagnetismus	161
6.6.2.	Das Elektronengas	162
6.6.3.	Bändermodell (Einelektronenmodell der Metalle)	163
6.6.4.	Mischkristalle und intermetallische Phasen	166
6.6.5.	Zusammenfassende Übersicht: Bindungsarten in Festkörpern	166
B.	Ausgewählte physikalisch-chemische Grundlagen	171
B. I.	Chemische Kinetik und Reaktionsmechanismen	173
7.	Gegenstand und Betrachtungsweise der chemischen Kinetik	173
8.	Grundbegriffe der chemischen Kinetik (Ordnung, Molekularität und Geschwindigkeitskonstanten)	176
8.1.	Reaktionsgeschwindigkeit	176
8.2.	Reaktionsordnung und Molekularität	177
9.	Einfache kinetische Gesetzmäßigkeiten und die Analyse kinetischer Ergebnisse	179
9.1.	Geschwindigkeitsgleichungen erster Ordnung	179
9.2.	Reaktionen zweiter und höherer Ordnung	183
9.3.	Bestimmung der Reaktionsordnung	186
9.3.1.	Bestimmung der Reaktionsordnung aus der Konzentrationsabhängigkeit der Anfangsgeschwindigkeit	186
9.3.2.	Halbwertszeitmethode	187
10.	Experimentelle Gesichtspunkte zur chemischen Kinetik.	191
11.	Über den Aufbau der Geschwindigkeitskonstanten	193
11.1.	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	193
11.2.	Zur Interpretation des Häufigkeitsfaktors	194
11.3.	Zur Eyringschen Theorie der absoluten Reaktionsgeschwindigkeit	196
12.	Kompliziertere Reaktionen	199
12.1.	Berücksichtigung der Rückreaktionen	199
12.2.	Parallelreaktionen	201
12.3.	Folgereaktionen	202
12.4.	Kettenreaktionen	204
13.	Homogene Reaktionen in Lösungen	207
13.1.	Allgemeine Gesichtspunkte zum Einfluß des Lösungsmittels auf den Ablauf einer Reaktion	207

13.2.	Der Einfluß der Ionenstärke auf chemische Reaktionen in Lösungen (primärer Salzeffekt)	208
14.	Heterogene Reaktionen.	210
14.1.	Die Rolle von Adsorptionserscheinungen bei Grenzflächenreaktionen	212
14.2.	Anwendung der Adsorptionsisotherme auf heterogene Reaktionen	214
15.	Katalyse.	215
15.1.	Allgemeine Gesichtspunkte	215
15.2.	Homogene Katalyse	217
15.2.1.	Beispiele für homogene Katalyse	219
15.3.	Heterogene Katalyse.	221
16.	Isotopenmethoden in der chemischen Kinetik	221
16.1.	Allgemeine Gesichtspunkte	221
16.2.	Kinetische Isotopieeffekte	222
16.2.1.	Solventisotopieeffekt	225
16.3.	Isotopentraceruntersuchungen	226
16.4.	Isotopenaustauschuntersuchungen	227
16.4.1.	Elektronenaustauschreaktionen	227
16.4.2.	Ligandenaustausch	229
B. II.	Gleichgewichte und chemische Thermodynamik	231
17.	Gegenstand und Aufgaben der chemischen Thermodynamik	231
18.	Definition und Charakterisierung der thermodynamischen Zustandsfunktionen.	233
18.1.	Mathematische Charakterisierung der Zustandsfunktionen	233
18.2.	Intensive und extensive Eigenschaften von Systemen und partielle molare Größen.	239
18.3.	Festlegung von Standardbedingungen bzw. Standardzuständen	241
19.	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	242
19.1.	Allgemeine Gesichtspunkte	242
19.2.	Isotherme, isobare und adiabatische Vorgänge	245
19.2.1.	Isotherme Expansion oder Kompression	245
19.2.2.	Isotherm-isobare Prozesse	247
19.2.3.	Adiabatische Prozesse	248
20.	Thermochemie	250
20.1.	Reaktions- und Bildungsenthalpie	250
20.2.	Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsenthalpie (Kirchhoffscher Satz)	253

21.	Konzentrationsmaße	257
22.	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	259
22.1.	Die Entropie als Zustandsfunktion.	259
22.1.1.	Entropieänderung bei isothermen Prozessen.	261
22.1.2.	Abhängigkeit der Entropie von den Zustandsvariablen (p , v und T)	262
22.2.	Weitere Zustandsfunktionen des zweiten Hauptsatzes (maximale Nutz- arbeit)	268
22.3.	Die thermodynamischen Zustandsfunktionen des ersten und zweiten Haupt- satzes. Gibbsche Fundamentalgleichungen	271
23.	Chemische Gleichgewichte und Phasengleichgewichte	273
23.1.	Allgemeine Gleichgewichtsbedingungen.	273
23.2.	Chemisches Gleichgewicht und Massenwirkungsgesetz	275
23.3.	Anwendungen des MWG auf homogene und heterogene Vorgänge	280
23.3.1.	Diskussion einer homogenen Gasreaktion	280
23.3.2.	Diskussion einer heterogenen chemischen Reaktion	281
23.3.3.	Diskussion einer heterogenen Reaktion in flüssiger Phase	281
23.3.4.	Phasenumwandlungsgleichgewicht	282
23.3.5.	Erstes Raoult'sches Gesetz	282
23.3.6.	Löslichkeitsgleichgewicht	283
23.3.7.	Nernst'scher Verteilungssatz.	283
23.3.8.	Gaslöslichkeit	283
23.3.9.	Elektrolytische Dissoziation gelöster Gase	284
23.3.10.	Ionenprodukt des Wassers	284
24.	Temperatur- und Druckabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten und ihre Anwendung auf homogene Reaktionen.	288
24.1.	Beziehungen für die Temperatur- und Druckabhängigkeit der Gleichgewichts- konstanten	288
24.2.	Berechnung der Gleichgewichtskonstanten bei verschiedenen Temperaturen durch Näherungen	289
24.2.1.	Erste Ulich'sche Näherung	290
24.2.2.	Zweite Ulich'sche Näherung	290
24.3.	Interpretation der Temperaturabhängigkeit der freien Reaktionsenthalpie	292
25.	Anwendung des MWG auf Gasreaktionen (Ausbeutebestimmungen).	294
26.	Heterogene Vorgänge	300
26.1.	Phasengleichgewichte	300
26.1.1.	Phasengleichgewichte in Einstoffsystemen	300
26.1.2.	Gleichgewicht zwischen Lösung und reiner Phase des Lösungsmittels.	304
26.1.3.	Gleichgewicht zwischen Lösung und reiner Phase des gelösten Stoffes bzw. zwischen zwei Lösungen	306
26.1.3.1.	Dampfdruck- und Siedediagramme	308
26.1.3.2.	Schmelzdiagramme	312

27.	Einführung in die statistische Thermodynamik	316
27.1.	Thermodynamische Wahrscheinlichkeit und Entropie	317
27.2.	Die Boltzmannsche Verteilungsfunktion	322
27.3.	Über einige Eigenschaften der Zustandssummen und die Bedeutung des Multiplikators α	324
27.4.	Zusammenhänge zwischen den thermodynamischen Funktionen von Gasen und den molekularen Zustandssummen	327
27.5.	Die Zustandssummen für die wichtigsten molekularen Bewegungsformen	329
27.6.	Berechnung der Translationsanteile der thermodynamischen Funktionen	332
27.7.	Berechnung der Rotations- und Oszillationsanteile der Entropie von Gasen	334
B. III.	Elektrochemie	337
28.	Ionentheorie	337
29.	Die Faradayschen Gesetze	337
30.	Auf der Thermodynamik beruhende Grundlagen	338
30.1.	Die Zellspannung	338
30.2.	Kompensationsschaltung zur Messung von Zellspannungen	339
30.3.	Die Aktivität	341
30.4.	Die Spannungsreihe, Standardpotentiale	341
30.5.	Elektroden zweiter Art. Löslichkeitsprodukt	343
30.6.	Konzentrationskette	344
30.7.	Beweglichkeit, Überföhrungszahl und Ketten mit Überföhrung	344
30.8.	Das Diffusionspotential	346
30.9.	Ionenaustauscher, Donnan-Gleichgewicht, Elektrochemisches Potential	348
30.10.	Zellspannung als Summe von Potentialsprüngen, Doppelschicht	349
30.11.	Grundlagen der potentiometrischen Titration	351
31.	Kinetische Erscheinungen	353
31.1.	Elektrolytische Leitfähigkeit	353
31.2.	Diffusionskoeffizient und Beweglichkeit	355
31.3.	Schwache Elektrolyte	356
31.4.	Starke Elektrolyte	357
31.5.	Elektrodenkinetik	360
31.5.1.	Diffusionsüberspannung	362
31.5.2.	Grundlagen der Polarographie.	364
31.5.3.	Durchtrittsüberspannung.	366

C.	Verbindungen und Reaktionen in der anorganischen Chemie . . .	371
32.	Isolierung und Einteilung der reinen Stoffe	373
32.1.	Heterogene und homogene Systeme	373
32.2.	Die Trennung heterogener Systeme in homogene Bestandteile	374
32.3.	Die Überführung homogener Mischungen in reine Stoffe	376
32.4.	Eigenschaften und Identifizierung reiner Stoffe	377
32.5.	Reinheitskriterien	378
32.6.	Problematik des Reinheitsbegriffes	379
32.7.	Einteilung der reinen Stoffe in Elementverbindungen und Verbindungen . .	380
33.	Charakteristische Eigenschaften der wichtigsten Bausteine chemischer Verbindungen	383
33.1.	Atome und Atomionen	383
33.1.1.	Einteilung der Elemente auf Grund der Elektronenkonfiguration der Atome	383
33.1.1.1.	Hauptgruppenelemente	383
33.1.1.2.	Nebengruppenelemente	384
33.1.1.3.	Lanthanide und Actinide	385
33.1.2.	Gesetzmäßigkeiten der Ionisierungsenergie der Elemente	386
33.1.2.1.	Abstufung bei konstantem Element	386
33.1.2.2.	Änderung der Ionisierungsenergie innerhalb einer Periode und Familie . .	387
33.1.3.	Elektronenaffinitäten	389
33.1.4.	Elektronenkonfiguration der Atomionen	390
33.1.5.	Atom- und Ionenradien	391
33.1.5.1.	Atomradien	392
33.1.5.2.	Ionenradien	393
33.2.	Molekeln und Molekülionen	394
33.2.1.	Atomzusammensetzung und Molekülgröße	395
33.2.2.	Atomverknüpfung und Molekülgestalt	396
33.2.2.1.	Struktur- und Konstitutionsformel	396
33.2.2.2.	Der Konstitutionsbeweis mit Hilfe chemischer Methoden	397
33.2.2.3.	Strukturaufklärung mit Hilfe physikalischer Methoden	398
33.2.2.4.	Geometrische Strukturformeln	398
33.2.3.	Bindungsverhältnisse und Reaktivität von Molekeln	399
33.2.3.1.	Symbolisierung des Elektronenzustandes durch Elektronenformeln	399
33.2.3.2.	Grenzen der Elektronentheorie von LEWIS	402
33.2.3.3.	Oktetterweiterung	403
33.2.3.4.	Hybridisierung und Molekülstruktur	404
33.2.3.5.	Mehrfachbindungen in der anorganischen Chemie	408
33.2.3.6.	Bindungsstärke und Bindungsgrad	409
33.2.3.7.	Der elektronenungesättigte Zustand	410
33.2.3.8.	Bindungspolarität und Polarität der Molekel	413
33.2.3.9.	Elektronenzustand und Polarisierbarkeit	414
33.2.3.10.	Symbolisierung des Elektronenzustandes	416
33.2.3.11.	Experimentelle Methoden zur Aufklärung des Elektronenzustandes	418
33.3.	Komplexeilchen	418
33.3.1.	Allgemeine Begriffe	418
33.3.2.	Die Bindungsverhältnisse in Komplexeilchen	419

33.3.3.	Einteilung der Komplexverbindungen nach verschiedenen Kriterien	421
33.3.3.1.	Thermodynamische Stabilität	421
33.3.3.2.	Kinetisches Verhalten	422
33.3.3.3.	Magnetische Eigenschaften	422
33.3.3.4.	Molekülspektren	423
33.3.3.5.	Packungsdichte der Komplexbestandteile	423
33.3.4.	Chelatkomplexe	424
33.3.5.	Mehrkernige Komplexe	425
33.3.6.	Bezeichnung von Komplexverbindungen	426
34.	Die wichtigsten Verbindungstypen in der anorganischen Chemie	427
34.1.	Einteilung der Verbindungen nach Aufbau und Bindungsart	427
34.2.	Charakteristische Eigenschaften der Verbindungstypen	428
34.2.1.	Ionenverbindungen	428
34.2.2.	Molekülsubstanzen	430
34.2.2.1.	Unpolare kovalente Verbindungen	430
34.2.2.2.	Polare kovalente Verbindungen	431
34.2.2.3.	Verbindungen mit Wasserstoffbrückenbindungen	431
34.2.3.	Polymere Verbindungen	436
34.2.3.1.	Raumnetzstrukturen	436
34.2.3.2.	Schichtstrukturen	437
34.2.3.3.	Ketten- oder Faserstrukturen	438
34.2.4.	Metallische Substanzen	439
34.3.	Stöchiometrische und nichtstöchiometrische Verbindungen	441
35.	Die wichtigsten Reaktionstypen in der anorganischen Chemie	443
35.1.	Die Formulierung chemischer Reaktionen	443
35.2.	Reaktionen unter Beibehaltung der stöchiometrischen Zusammensetzung . .	445
35.2.1.	Reine Phasenübergänge	445
35.2.2.	Modifikationsumwandlungen	446
35.2.3.	Umwandlung bindungsisomerer Substanzen	447
35.3.	Abbau und Aufbau von Ionengittern	449
35.3.1.	Der Lösungsvorgang	449
35.3.2.	Der Fällungsvorgang	453
35.4.	Säure-Base-Reaktionen	455
35.4.1.	Die Grundlagen der Brönstedtschen Säure-Base-Theorie	455
35.4.1.1.	Die Grenzen der klassischen Säure-Base-Theorie	455
35.4.1.2.	Der Brönstedtsche Säure-Base-Begriff	455
35.4.1.3.	Das Grundprinzip der Protolysereaktionen	456
35.4.1.4.	Die Autoprotolyse des Wassers	457
35.4.1.5.	Die Stärke der Säuren und Basen in wäßrigen Systemen	458
35.4.2.	Spezielle protolytische Reaktionen	462
35.4.2.1.	Reaktionen zwischen starken Säuren und Basen	462
35.4.2.2.	Reaktionen zwischen starken und mittelstarken bzw. schwachen Protolyten .	462
35.4.2.3.	Reaktionen zwischen mittelstarken Protolyten	465
35.4.2.4.	Pufferlösungen	466
35.4.2.5.	Protolysereaktionen in nichtwäßrigen protonenaktiven Lösungsmitteln . .	467
35.4.3.	Erweiterungen der Säure-Base-Theorie	467
35.4.3.1.	Säure-Base-Verhalten durch Ionotropie	467