

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	V
Aufbau und Durchführung des Praktikums . . . . .	1
Unfallverhütung im Praktikum . . . . .	3
<b>Allgemeine Chemie . . . . .</b>	<b>4</b>
1. Empfindlichkeit chemischer Reaktionen; Chemisches Gleichgewicht . . . . .	4
1.1. Literatur . . . . .	4
1.2. Theoretische Grundlagen . . . . .	4
1.2.1. Empfindlichkeit chemischer Reaktionen . . . . .	4
1.2.2. Chemisches Gleichgewicht (Prinzip von LE CHATELIER; Massenwirkungsgesetz; NERNSTscher Verteilungssatz) . . . . .	6
1.3. Aufgaben . . . . .	10
1.3.1. Empfindlichkeit chemischer Reaktionen . . . . .	10
1.3.2. Chemisches Gleichgewicht (Verschiebungen der Gleichgewichtslage; Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von Konzentration und Temperatur; Katalyse; Verteilung eines Stoffes zwischen zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten.) . . . . .	11
1.4. Übungsaufgaben und Seminarthemen . . . . .	14
2. Elektrolyte I . . . . .	15
2.1. Literatur . . . . .	15
2.2. Theoretische Grundlagen . . . . .	16
2.2.1. Säuren, Basen, Salze . . . . .	16
2.2.2. Elektrolytische Dissoziation . . . . .	18
2.2.3. Neutralisation . . . . .	20
2.2.4. Ionenprodukt des Wassers; pH-Wert . . . . .	20
2.2.5. Berechnen von pH-Werten und ihre Messung mit Indikatoren . . . . .	22
2.3. Aufgaben . . . . .	24
2.3.1. Bestimmung des Dissoziationsgrades aus der Gefrierpunktserniedrigung einer wäßrigen Lösung . . . . .	24
2.3.2. Aufnahme einer Neutralisationskurve . . . . .	26
2.3.3. Bestimmung der Dissoziationskonstanten einer schwachen Säure . . . . .	26
2.3.4. Messen und Berechnen von pH-Werten . . . . .	27
2.4. Übungsaufgaben und Seminarthemen . . . . .	27
3. Elektrolyte II . . . . .	28
3.1. Literatur . . . . .	28

3.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	28
3.2.1.	Hydrolyse und Berechnung der pH-Werte von Salzlösungen . .	28
3.2.2.	Pufferlösungen und Berechnung ihrer pH-Werte . . . . .	31
3.2.3.	Löslichkeitsprodukt . . . . .	32
3.3.	Aufgaben . . . . .	33
3.3.1.	Hydrolyse . . . . .	33
3.3.2.	Pufferlösungen (Wirkung, Herstellung, Kapazität) . . .	34
3.3.3.	Titrationsskurve von Essigsäure mit Natronlauge . . . .	36
3.3.4.	Löslichkeitsprodukt . . . . .	36
3.4.	Übungsaufgaben und Seminarthemen . . . . .	37
4.	Oxidation und Reduktion . . . . .	38
4.1.	Literatur . . . . .	38
4.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	38
4.2.1.	Redox-Vorgänge (allgemeine Grundlagen) . . . . .	38
4.2.2.	Formulierung von Redox-Reaktionen . . . . .	39
4.2.3.	Elektrochemische Spannungsreihe und Konzentrationsabhän- gigkeit von Redoxpotentialen . . . . .	41
4.2.4.	Redoxamphotere Stoffe und Redox-Disproportionierung . .	44
4.2.5.	Redoxäquivalentgewicht . . . . .	45
4.3.	Aufgaben . . . . .	45
4.3.1.	Einfache Aufgaben zur elektrochemischen Spannungs- reihe . . . . .	45
4.3.2.	Einfluß der Konzentrationsverhältnisse auf den Ablauf von Redox-Reaktionen; Anwendung der NERNSTschen Gleichung . . . . .	47
4.3.3.	Redoxamphotere Wirkung von Wasserstoffperoxid . . .	48
4.4.	Übungsaufgaben und Seminarthemen . . . . .	48
5.	Thermochemie . . . . .	50
5.1.	Literatur . . . . .	50
5.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	50
5.2.1.	Exotherme und endotherme Reaktionen . . . . .	50
5.2.2.	Hessscher Satz und seine Anwendung . . . . .	51
5.2.3.	Wärmetönungen bei einigen ausgewählten Umsetzungen . . .	52
5.2.3.1.	Lösungsenthalpie von Salzen . . . . .	52
5.2.3.2.	Neutralisationsenthalpie . . . . .	53
5.2.4.	Kalorimetrische Messung von Reaktionswärmen . . . . .	53
5.2.4.1.	Allgemeine Grundlagen . . . . .	53
5.2.4.2.	Bestimmung des Wasserwertes eines Kalorimeters . . . . .	54
5.3.	Aufgaben . . . . .	54
5.3.1.	Qualitative Untersuchung der Lösungsenthalpien von Salzen . . . . .	54
5.3.2.	Allgemeine Grundlagen zu den Kap. 5.3.2.1. und 5.3.2.2.	55
5.3.2.1.	Neutralisationsenthalpie . . . . .	56
5.3.2.2.	Bildungsenthalpie von Magnesiumoxid . . . . .	57
5.4.	Übungsaufgaben und Seminarthemen . . . . .	58

<b>Reaktionen der Elemente und ihrer Verbindungen</b>	<b>60</b>
6. Allgemeine theoretische Grundlagen zum 7. – 11. Arbeitstag	60
6.1. Literatur	60
6.2. Aufbauprinzip des Periodensystems der chemischen Elemente	61
6.3. Zusammenhänge im PSE	64
6.4. Grundlagen der chemischen Bindung	67
6.4.1. Heteropolare Bindung	67
6.4.2. Homöopolare Bindung	68
6.4.3. Metallische Bindung	72
6.4.4. Übergänge zwischen den Bindungsarten	74
6.5. Seminar- und Übungsthemen	76
7. Sechste und siebente Hauptgruppe des PSE	78
7.1. Literatur	78
7.2. Theoretische Grundlagen	78
7.2.1. Siebente Hauptgruppe des PSE (Halogene)	78
7.2.2. Sechste Hauptgruppe des PSE (Chalkogene)	81
7.3. Aufgaben	83
7.3.1. Siebente Hauptgruppe des PSE	83
7.3.1.1. Oxidationswirkung von Halogenen bzw. Reduktionswirkung ihrer Anionen	83
7.3.1.2. Oxidationswirkung von Halogensauerstoffsäuren	84
7.3.1.3. Darstellung der Halogene, Halogenwasserstoffe und Halogensauerstoffverbindungen	85
7.3.1.4. Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise für elementare Halogene und ihre Anionen	87
7.3.2. Sechste Hauptgruppe des PSE (1. Teil)	89
7.3.2.1. Oxidationswirkung von Chalkogenen bzw. reduzierende Eigenschaften ihrer Anionen	89
7.3.2.2. Säurecharakter von Chalkogenwasserstoffen	89
7.3.2.3. Nachweis von Sulfidionen	90
7.4. Seminar- und Übungsthemen	91
8. Fünfte Hauptgruppe des PSE	91
8.1. Literatur	91
8.2. Theoretische Grundlagen	91
8.3. Aufgaben	93
8.3.1. Sechste Hauptgruppe des PSE (Fortsetzung)	94
8.3.1.1. Oxidierende bzw. reduzierende Wirkung von Chalkogensauerstoffsäuren	94
8.3.1.2. Nachweis von Sulfationen	95
8.3.1.3. Eigenschaften des analytisch und praktisch wichtigen Thiosulfat( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ )-Ions	95
8.3.2. Fünfte Hauptgruppe des PSE	96
8.3.2.1. Oxidations- bzw. Reduktionswirkung von Sauerstoffsäuren der Elemente der 5. HG.	96

8.3.2.2.	Säure- bzw. Basecharakter der Oxide von Elementen der 5. HG . . . . .	98
8.3.2.3.	Stabilität von $\text{AsH}_3$ bzw. $\text{SbH}_3$ . . . . .	99
8.3.2.4.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	100
8.4.	Seminar- und Übungsthemen . . . . .	103
9.	Erste, zweite, dritte und vierte Hauptgruppe des PSE . . . . .	104
9.1.	Literatur . . . . .	104
9.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	104
9.2.1.	Vierte Hauptgruppe des PSE . . . . .	104
9.2.2.	Dritte Hauptgruppe des PSE . . . . .	106
9.2.3.	Erste und zweite Hauptgruppe des PSE . . . . .	107
9.3.	Aufgaben . . . . .	109
9.3.1.	Vierte Hauptgruppe des PSE . . . . .	109
9.3.1.1.	Oxidations- bzw. Reduktionswirkung von Verbindungen der 4. HG . . . . .	109
9.3.1.2.	Saurer bzw. basischer Charakter der Hydroxid-Verbindungen . . . . .	110
9.3.1.3.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	111
9.3.2.	Erste, zweite und dritte Hauptgruppe des PSE . . . . .	114
9.3.2.1.	Redoxreaktionen des Thalliums . . . . .	114
9.3.2.2.	Saurer bzw. basischer Charakter der Hydroxid-Verbindungen . . . . .	115
9.3.2.3.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	116
9.4.	Seminar- und Übungsthemen . . . . .	118
10.	Übergangselemente I . . . . .	119
10.1.	Literatur . . . . .	119
10.2.	Theoretische Grundlagen zum 10. und 11. Arbeitstag . . . . .	119
10.3.	Aufgaben . . . . .	125
10.3.1.	Redoxreaktionen . . . . .	125
10.3.1.1.	Reduktion von $\text{Ti(IV)}$ zu $\text{Ti(III)}$ . . . . .	125
10.3.1.2.	Reduktion von Vanadin(V) . . . . .	126
10.3.1.3.	Redoxreaktionen der Chromverbindungen . . . . .	126
10.3.1.4.	Redoxreaktionen der Manganverbindungen . . . . .	127
10.3.2.	Reaktionen mit Natronlauge, Ammoniak- und Ammoniumsulfid-Lösung . . . . .	128
10.3.2.1.	Reaktionen des $\text{Ti(IV)}$ . . . . .	128
10.3.2.2.	Reaktionen des Vanadin(V) . . . . .	129
10.3.2.3.	Reaktionen des Chrom(III) . . . . .	129
10.3.2.4.	Reaktionen des Mangan(II) . . . . .	130
10.3.3.	Bildung von Isopolyanionen . . . . .	130
10.3.4.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	131
10.4.	Seminar- und Übungsthemen . . . . .	133
11.	Übergangselemente II . . . . .	133
11.1.	Literatur . . . . .	133

11.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	133
11.3.	Aufgaben . . . . .	133
11.3.1.	Elemente der 8. Nebengruppe (Fe, Co, Ni) . . . . .	134
11.3.1.1.	Redoxreaktionen . . . . .	134
11.3.1.2.	Reaktionen mit Natronlauge, Ammoniak- und (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S-Lösung . . . . .	134
11.3.1.3.	Komplexbildungsreaktionen und Eigenschaften der Komplexe . . . . .	137
11.3.1.4.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	138
11.3.2.	Elemente der 1. Nebengruppe (Cu, Ag) . . . . .	139
11.3.2.1.	Redoxreaktionen des Cu(II) . . . . .	139
11.3.2.2.	Reaktionen von Cu(II) und Ag(I) mit Natronlauge, Ammoniak- und H <sub>2</sub> S-Lösung . . . . .	140
11.3.2.3.	Komplexbildungsreaktionen und Eigenschaften der Komplexe . . . . .	141
11.3.2.4.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	142
11.3.3.	Elemente der 2. Nebengruppe (Zn, Cd, Hg) . . . . .	142
11.3.3.1.	Redoxreaktionen des Quecksilbers . . . . .	142
11.3.3.2.	Reaktionen mit Natronlauge, Ammoniaklösung und S <sup>2-</sup> -Ionen . . . . .	143
11.3.3.3.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	145
11.3.4.	Elemente der 3. Nebengruppe (Lanthan) . . . . .	145
11.3.4.1.	Reaktionen mit Natronlauge und Ammoniaklösung . . . . .	145
11.3.4.2.	Weitere charakteristische Reaktionen und Nachweise . . . . .	145
11.4.	Seminar- und Übungsthemen . . . . .	146
	<b>Quantitative und qualitative Analysen . . . . .</b>	<b>147</b>
	Einführung zum analytischen Teil des Praktikums . . . . .	147
12.	Maßanalytische Bestimmungsmethoden I (Neutralisations-, Fällungs- und Komplexbildungsreaktionen) . . . . .	148
12.1.	Literatur . . . . .	148
12.2.	Allgemeine Grundlagen zur Maßanalyse . . . . .	149
12.2.1.	Handhabung der Geräte . . . . .	149
12.2.2.	Fehlerquellen bei der Maßanalyse . . . . .	150
12.2.3.	Berechnung von maßanalytischen Analysenergebnissen . . . . .	151
12.3.	Theoretische Grundlagen zu den Neutralisations-, Fällungs- und Komplexbildungstitrationen . . . . .	152
12.3.1.	Neutralisationsverfahren . . . . .	152
12.3.2.	Fällungsverfahren . . . . .	153
12.3.3.	Komplexbildungsverfahren . . . . .	154
12.4.	Aufgaben . . . . .	156
12.4.1.	Neutralisationstitrationen . . . . .	156
12.4.1.1.	Titration von Salzsäure mit 0,1 n Natronlauge . . . . .	156
12.4.1.2.	Titration von Essigsäure mit 0,1 n Natronlauge . . . . .	156
12.4.2.	Fällungstitration (Chlorid-Best. nach MOHR) . . . . .	157

12.4.3.	Komplexbildungstiteration (Best. von Zn(II)-Ionen) . . . . .	157
12.5.	Seminarthemen . . . . .	157
13.	Maßanalytische Bestimmungsmethoden II (Oxidations- und Reduktionstiterationen) . . . . .	158
13.1.	Literatur . . . . .	158
13.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	158
13.2.1.	Manganometrie . . . . .	158
13.2.2.	Cerimetrie . . . . .	159
13.2.3.	Bromatometrie . . . . .	160
13.2.4.	Jodometrie . . . . .	161
13.3.	Aufgaben . . . . .	161
13.3.1.	Manganometrische Titration von Fe(II)-Ionen nach REINHARDT-ZIMMERMANN . . . . .	161
13.3.2.	Cerimetrische Titration von Fe(II)-Ionen . . . . .	163
13.3.3.	Bromatometrische Titration von Sb(III)-Lösung . . . . .	163
13.3.4.	Jodometrische Titration einer Cu(II)-Salzlösung . . . . .	163
13.4.	Seminarthemen . . . . .	164
14.	Maßanalytische Bestimmungsmethoden III (Elektrochemische Verfahren: Konduktometrie, Potentiometrie) . . . . .	164
14.1.	Literatur . . . . .	164
14.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	164
14.2.1.	Konduktometrie . . . . .	165
14.2.1.1.	Allgemeine Grundlagen . . . . .	165
14.2.1.2.	Meßmethodik . . . . .	166
14.2.2.	Potentiometrie . . . . .	170
14.2.2.1.	Allgemeine Grundlagen . . . . .	170
14.2.2.2.	Meßmethodik . . . . .	171
14.3.	Aufgaben . . . . .	174
14.3.1.	Konduktometrie . . . . .	174
14.3.1.1.	Titration von Schwefelsäure mit Natronlauge . . . . .	174
14.3.1.2.	Titration von Essigsäure mit Natronlauge . . . . .	174
14.3.1.3.	Titration eines Gemisches aus Essig- und Schwefelsäure mit Natronlauge . . . . .	174
14.3.1.4.	Titrationsskurven bei konduktometrischen Fällungstiterationen . . . . .	175
14.3.2.	Potentiometrie . . . . .	175
14.3.2.1.	Fällungstiteration von Chloridionen mit Silbernitratlösung . . . . .	175
14.3.2.2.	Redoxstiteration von Sn(II)-Ionen mit $K_2Cr_2O_7$ -Lösung . . . . .	175
14.3.2.3.	pH-Messung mit Hilfe einer Glaselektrode . . . . .	176
14.4.	Seminarthemen . . . . .	176
15.	Gravimetrie (einschließlich Elektrogravimetrie) . . . . .	177
15.1.	Literatur . . . . .	177

15.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	177
15.2.1.	Allgemeine Grundlagen der Gravimetrie . . . . .	177
15.2.1.1.	Fällung des Niederschlages . . . . .	178
15.2.1.2.	Abtrennung des Niederschlages . . . . .	181
15.2.1.3.	Nachbehandlung des Niederschlages . . . . .	182
15.2.2.	Allgemeine Grundlagen der Elektrogravimetrie . . . . .	183
15.2.2.1.	FARADAYSche Gesetze der Elektrolyse . . . . .	183
15.2.2.2.	Zersetzungsspannung . . . . .	183
15.2.2.3.	Elektrolytische Abscheidung von Lösungsbestandteilen . . . . .	184
15.2.2.4.	Anwendung der Elektrolyse in der quantitativen Analytik (Elektrogravimetrie) . . . . .	185
15.3.	Aufgaben . . . . .	186
15.3.1.	Gravimetrische Bestimmung von Fe(III)- bzw. Chlorid- ionen . . . . .	186
15.3.2.	Elektrogravimetrische Bestimmung von Kupfer . . . . .	188
15.3.3.	Elektrogravimetrische Bestimmung von Blei als PbO <sub>2</sub> . . . . .	190
15.4.	Seminarthemen . . . . .	190
16.	Kolorimetrie und Photometrie . . . . .	191
16.1.	Literatur . . . . .	191
16.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	191
16.2.1.	Allgemeine Grundlagen . . . . .	192
16.2.2.	Meßtechniken und erzielbare Genauigkeiten . . . . .	194
16.3.	Aufgaben . . . . .	197
16.3.1.	Untersuchung einer Cu(II)-Sulfatlösung durch visuellen Vergleich mit einer Verdünnungsreihe . . . . .	198
16.3.2.	Kolorimetrische bzw. photometrische Untersuchung einer Cu(II)-Sulfatlösung . . . . .	199
16.3.2.1.	Herstellung der Verdünnungsreihe zur Ermittlung der Eichkurve . . . . .	199
16.3.2.2.	Untersuchung der Cu(II)-Sulfatlösung mit dem Tauch- stabkolorimeter nach DUBOSQ . . . . .	199
16.3.2.3.	Untersuchung der Cu(II)-Sulfatlösung mit einem licht- elektrischen Photometer . . . . .	200
16.3.3.	Bestimmung des Eisengehaltes einer Magnesiumlegie- rung durch visuellen Vergleich mit einer Verdünnungs- reihe . . . . .	200
16.4.	Seminarthemen . . . . .	201
17.	Quantitative Trennungen, insbesondere durch Ionenaustausch . . . . .	201
17.1.	Literatur . . . . .	201
17.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	201
17.2.1.	Trennverfahren . . . . .	201
17.2.2.	Ionenaustauschverfahren . . . . .	205
17.2.2.1.	Aufbau von Ionenaustauschern . . . . .	206

17.2.2.2.	Wirkungsweise von Ionenaustauschern . . . . .	206
17.2.2.3.	Durchführung von Trennungen mit dem Ionenaustauscher . . . . .	207
17.3.	Aufgaben . . . . .	208
17.3.1.	Quantitative Trennung von Kupfer und Arsen mit Hilfe eines Kationenaustauschers . . . . .	208
17.3.2.	Quantitative Bestimmung der getrennten Metalle . . . . .	209
17.3.3.	Benutzung eines Anionenaustauschers zur Trennung von Eisen und Nickel . . . . .	209
17.4.	Seminarthemen . . . . .	210
18.	Qualitative Analyse (18. – 20. Arbeitstag) . . . . .	210
18.1.	Literatur . . . . .	210
18.2.	Theoretische Grundlagen . . . . .	211
18.2.1.	Systematischer Gang der qualitativen Analyse . . . . .	211
18.2.2.	Vorproben . . . . .	211
18.2.2.1.	Flammenfärbungen . . . . .	212
18.2.2.2.	Phosphorsalz- bzw. Boraxperle . . . . .	213
18.2.2.3.	Erhitzen im Glühröhrchen . . . . .	214
18.2.2.4.	Erhitzen mit verd. und konz. Schwefelsäure . . . . .	215
18.2.2.5.	Weitere Vorproben . . . . .	215
18.2.3.	Lösen der Analysesubstanz . . . . .	216
18.2.3.1.	Löseversuche in Säuren . . . . .	216
18.2.3.2.	Aufschlußverfahren . . . . .	216
18.2.4.	Prüfung auf Anionen . . . . .	218
18.2.5.	Trennungsgang der Kationen . . . . .	219
18.2.5.1.	Arbeitstechnik beim Kationentrennungsgang . . . . .	219
18.2.5.2.	Trennungsgang der Kationen der 1. (HCl–)-Gruppe . . . . .	220
18.2.5.3.	Trennungsgang der Kationen der 2. (H <sub>2</sub> S–)-Gruppe . . . . .	221
18.2.5.4.	Trennungsgang der Kationen der 3. ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S–)-Gruppe . . . . .	227
18.2.5.5.	Trennungsgang der Kationen der 4. ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> –)-Gruppe . . . . .	231
18.3.	Arbeitsplan für den 18. – 20. Arbeitstag . . . . .	234
19.	<b>Anhang</b> . . . . .	235
19.1.	Normal-Redoxpotentiale . . . . .	235
19.2.	Komplex-Dissoziationskonstanten . . . . .	246
19.3.	Säure-Dissoziationskonstanten . . . . .	246
19.4.	Löslichkeitsprodukte . . . . .	248
19.5.	Namen der Elemente des Periodensystems . . . . .	249
19.6.	Übliche Konzentrationen einiger Säuren und Basen . . . . .	251
19.7.	Periodensystem der Elemente (befindet sich als Ausschlagtafel am Schluß des Bandes)	