

# Kurzübersicht

- 0 **Der analytische Prozess** 1
- 1 **Chemische Messungen** 17
- 2 **Handwerkszeug des Analytikers** 35
- 3 **Experimenteller Fehler** 63
- 4 **Statistik** 81
- 5 **Qualitätssicherung und Kalibrationsmethoden** 115
- 6 **Das chemische Gleichgewicht** 137
- 7 **Aktivität und systematische Behandlung von Gleichgewichten** 165
- 8 **Einprotonige Säure-Base-Gleichgewichte** 187
- 9 **Mehrprotonige Säure-Base-Gleichgewichte** 215
- 10 **Säure-Base-Titrationen** 237
- 11 **Komplexometrische Titrationen** 271
- 12 **Gleichgewichtsprobleme für Fortgeschrittene** 295
- 13 **Grundlagen der Elektrochemie** 319
- 14 **Elektroden und Potentiometrie** 351
- 15 **Redoxtitrationen** 385
- 16 **Elektroanalytische Methoden** 407
- 17 **Grundlagen der Spektralphotometrie** 443
- 18 **Anwendungen der Spektralphotometrie** 473
- 19 **Spektralphotometer** 501
- 20 **Atomspektroskopie** 541
- 21 **Massenspektrometrie** 569
- 22 **Einführung in Analytische Trennverfahren** 609
- 23 **Gaschromatographie** 639
- 24 **Hochleistungsflüssigkeitschromatographie** 671
- 25 **Chromatographische Methoden und Kapillarelektrophorese** 715
- 26 **Gravimetrische Analyse, Fällungstitrationen und Verbrennungsanalyse** 759
- 27 **Probenvorbereitung** 787
  - Farbtafeln**
  - Anmerkungen und Literaturangaben** 809
  - Glossar** 843
  - Anhang A** 881
  - Anhang B** 883
  - Anhang C** 885
  - Anhang D** 887
  - Anhang E** 891
  - Anhang F** 893
  - Anhang G** 897
  - Anhang H** 907
  - Anhang I** 919
  - Anhang J** 923
  - Anhang K** 925
  - Lösungen der Übungen** 929
  - Sachverzeichnis** 933

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Der analytische Prozess</b>	<b>1</b>
0.1	Charles David Keeling und die Messung des atmosphärischen CO <sub>2</sub>	2
0.2	Was der analytische Chemiker macht	7
0.3	Allgemeine Schritte in einer chemischen Analyse	13
<b>1</b>	<b>Chemische Messungen</b>	<b>17</b>
1.1	SI-Einheiten	18
1.2	Chemische Konzentrationen	21
1.3	Herstellung von Lösungen	25
1.4	Stöchiometrische Berechnungen für die gravimetrische Analyse	27
1.5	Einführung in die Titration	28
1.6	Berechnungen zu Titrationen	30
<b>2</b>	<b>Handwerkszeug des Analytikers</b>	<b>35</b>
2.1	Sicherer und verantwortungsbewusster Umgang mit Chemikalien und Rückständen	36
2.2	Das Laborbuch	39
2.3	Die analytische Waage	39
2.4	Büretten	45
2.5	Messkolben	47
2.6	Pipetten und Dosierspritzen	48
2.7	Filtration	51
2.8	Trocknung	52
2.9	Kalibrierung volumetrischer Glasgeräte	53
2.10	Einführung in Microsoft Excel®	55
2.11	Die Verwendung von Diagrammen mit Microsoft Excel	58
<b>3</b>	<b>Experimenteller Fehler</b>	<b>63</b>
3.1	Signifikante Ziffern	64
3.2	Signifikante Ziffern in der Arithmetik	65
3.3	Fehlerarten	67
3.4	Fortpflanzung der Messunsicherheit des Zufallsfehlers	70
3.5	Fortpflanzung der Unsicherheit durch systematische Fehler	77
<b>4</b>	<b>Statistik</b>	<b>81</b>
4.1	Gauß-Verteilung	82
4.2	Vertrauensintervalle	87
4.3	Vergleich von Mittelwerten mit Students t-Test	91
4.4	Vergleich von Standardabweichungen mit dem F-Test	97
4.5	t-Tests mit Tabellenkalkulation	98
4.6	Grubbs-Test auf einen Ausreißer	99
4.7	Die Methode der kleinsten Quadrate	100
4.8	Kalibrationskurven	105
4.9	Arbeitsblatt für kleinste Quadrate	108
<b>5</b>	<b>Qualitätssicherung und Kalibrationsmethoden</b>	<b>115</b>
5.1	Grundlagen der Qualitätssicherung	116
5.2	Methodenvalidierung	121
5.3	Standardzusatz	127
5.4	Innere Standards	131
5.5	Effektivität der Versuchsplanung	133
<b>6</b>	<b>Das chemische Gleichgewicht</b>	<b>137</b>
6.1	Die Gleichgewichtskonstante	138
6.2	Gleichgewicht und Thermodynamik	139
6.3	Löslichkeitsprodukt	142
6.4	Komplexbildung	145
6.5	Protonensäuren und Basen	148
6.6	pH-Wert	151
6.7	Die Stärke von Säuren und Basen	153
<b>7</b>	<b>Aktivität und systematische Behandlung von Gleichgewichten</b>	<b>165</b>
7.1	Der Einfluss der Ionenstärke auf die Löslichkeit von Salzen	166
7.2	Aktivitätskoeffizienten	168
7.3	pH, noch einmal	173
7.4	Die systematische Behandlung des Gleichgewichts	174
7.5	Anwendungen der systematischen Gleichgewichtsbehandlung	178
<b>8</b>	<b>Einprotonige Säure-Base-Gleichgewichte</b>	<b>187</b>
8.1	Starke Säuren und Basen	188
8.2	Schwache Säuren und Basen	191
8.3	Die Gleichgewichte schwacher Säuren	193
8.4	Die Gleichgewichte schwacher Basen	197
8.5	Puffer	199
<b>9</b>	<b>Mehrprotonige Säure-Base-Gleichgewichte</b>	<b>215</b>
9.1	Zweiprotonige Säuren und Basen	216
9.2	Zweiprotonige Puffer	225
9.3	Mehrprotonige Säuren und Basen	227
9.4	Welche ist die hauptsächliche Spezies?	228

9.5	Gleichungen für die Berechnung der Anteile einzelner Formen	230	14.7	Die Anwendung ionenselektiver Elektroden	376
9.6	Isoelektrischer und isoionischer pH	232	14.8	Chemische Festkörpersensoren	378
<b>10</b>	<b>Säure-Base-Titrationen</b>	<b>237</b>	<b>15</b>	<b>Redoxtitrationen</b>	<b>385</b>
10.1	Titration einer starken Säure mit einer starken Base	238	15.1	Die Form der Redoxtitrationskurve	386
10.2	Titration einer schwachen Säure mit einer starken Base	241	15.2	Bestimmung des Endpunkts	392
10.3	Die Titration einer schwachen Base mit einer starken Säure	245	15.3	Einstellung des Oxidationszustands des Analyten	395
10.4	Titrationen in zweiprotonigen Systemen	246	15.4	Oxidation mit Kaliumpermanganat	396
10.5	Ermittlung des Endpunkts mit einer pH-Elektrode	249	15.5	Oxidation mit $\text{Ce}^{4+}$	398
10.6	Endpunktsbestimmung mit Indikatoren	254	15.6	Oxidation mit Kaliumdichromat	399
10.7	Praktische Hinweise	259	15.7	Methoden unter Verwendung von Iod	401
10.8	Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl	259	<b>16</b>	<b>Elektroanalytische Methoden</b>	<b>407</b>
10.9	Der Nivellierungseffekt	262	16.1	Grundlagen der Elektrolyse	408
10.10	Berechnung von Titrationskurven mit Hilfe der Tabellenkalkulation	263	16.2	Elektrogravimetrische Analyse	414
<b>11</b>	<b>Komplexometrische Titrationen</b>	<b>271</b>	16.3	Coulometrie	416
11.1	Metall-Chelatkomplexe	272	16.4	Amperometrie	419
11.2	Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	275	16.5	Voltammetrie	425
11.3	Titrationskurven mit EDTA	280	16.6	Karl-Fischer-Titration von Wasser	436
11.4	Versuchen Sie es mit einer Tabellenkalkulation	282	<b>17</b>	<b>Grundlagen der Spektralphotometrie</b>	<b>443</b>
11.5	Hilfskomplexbildner	284	17.1	Eigenschaften des Lichts	444
11.6	Metallindikatoren	287	17.2	Lichtabsorption	446
11.7	Titrationsmethoden mit EDTA	290	17.3	Messung der Absorption	450
<b>12</b>	<b>Gleichgewichtsprobleme für Fortgeschrittene</b>	<b>295</b>	17.4	Das Lambert-Beersche Gesetz in der Chemischen Analyse	452
12.1	Allgemeiner Umgang mit Säure-Base-Systemen	296	17.5	Spektralphotometrische Titrationen	455
12.2	Aktivitätskoeffizienten	300	17.6	Vorgänge bei der Lichtabsorption	456
12.3	Abhängigkeit der Löslichkeit vom pH	304	17.7	Lumineszenz	461
12.4	Analyse von Säure-Base-Titrationen mit Differenz-Plots	311	<b>18</b>	<b>Anwendungen der Spektralphotometrie</b>	<b>473</b>
<b>13</b>	<b>Grundlagen der Elektrochemie</b>	<b>319</b>	18.1	Analyse einer Mischung	474
13.1	Grundkonzepte	320	18.2	Bestimmung von Gleichgewichtskonstanten: Der Scatchard-Plot	479
13.2	Galvanische Zellen	325	18.3	Methode der kontinuierlichen Variation	481
13.3	Standardpotentiale	328	18.4	Fließinjektionsanalyse und Sequenzielle Injektionsanalyse	483
13.4	Die Nernstsche Gleichung	330	18.5	Immunoassays und Aptamere	488
13.5	$E^\circ$ und die Gleichgewichtskonstante	336	18.6	Sensoren auf der Basis von Fluoreszenzlösung	490
13.6	Galvanische Zellen als chemische Sonden	338	<b>19</b>	<b>Spektralphotometer</b>	<b>501</b>
13.7	Biochemiker verwenden $E^\circ$	341	19.1	Lichtquellen: Lampen und Laser	504
<b>14</b>	<b>Elektroden und Potentiometrie</b>	<b>351</b>	19.2	Monochromatoren	507
14.1	Bezugselektroden	352	19.3	Detektoren	512
14.2	Indikatorelektroden	354	19.4	Optische Sensoren	520
14.3	Was ist ein Diffusionspotential?	357	19.5	Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FT-IR Spektroskopie)	528
14.4	Wie arbeiten ionenselektive Elektroden?	358	19.6	Rauschen	534
14.5	pH-Messung mit einer Glaselektrode	361	<b>20</b>	<b>Atomspektroskopie</b>	<b>541</b>
14.6	Ionenselektive Elektroden (ISE)	368	20.1	Überblick	542
			20.2	Atomisierung: Flammen, Öfen und Plasmen	545
			20.3	Der Einfluss der Temperatur in der Atomspektroskopie	551

20.4	Apparatur	552	26.3	Beispiele für gravimetrische Berechnungen	767
20.5	Interferenz	558	26.4	Verbrennungsanalyse	770
20.6	Induktiv gekoppeltes Plasma – Massenspektrometrie (ICP-MS)	562	26.5	Fällungstitrationskurven	773
21	<b>Massenspektrometrie</b>	<b>569</b>	26.6	Titration eines Gemisches	778
21.1	Was ist Massenspektrometrie?	570	26.7	Berechnung von Titrationskurven mit einem Tabellenkalkulationsprogramm	779
21.2	Oh, Massenspektrum, sprich zu mir!	575	26.8	Endpunktbestimmung	781
21.3	Arten der Massenspektrometer	582	27	<b>Probenvorbereitung</b>	<b>787</b>
21.4	Chromatographie – Massenspektrometrie	590	27.1	Statistik der Probenahme	789
21.5	Open-Air-Probenahme für die Massenspektrometrie	602	27.2	Auflösung der Proben für die Analyse	794
22	<b>Einführung in Analytische Trennverfahren</b>	<b>609</b>	27.3	Techniken zur Probenvorbereitung	801
22.1	Lösungsmittelextraktion	610	<b>Farbtafeln</b>		
22.2	Was ist Chromatographie?	615	<b>Anmerkungen und Literaturangaben</b>	<b>809</b>	
22.3	Chromatographie aus der Sicht eines Rohrlegers	618	<b>Glossar</b>	<b>843</b>	
22.4	Effizienz einer Trennung	622	<b>Anhang A</b>	<b>881</b>	
22.5	Warum Banden breiter werden	629	Logarithmen und Exponenten	881	
23	<b>Gaschromatographie</b>	<b>639</b>	<b>Anhang B</b>	<b>883</b>	
23.1	Der Trennprozess in der Gaschromatographie	640	Graphische Darstellung von Geraden	883	
23.2	Probeninjektion	652	<b>Anhang C</b>	<b>885</b>	
23.3	Detektoren	656	Fortpflanzung der Messunsicherheit	885	
23.4	Probenvorbereitung	663	<b>Anhang D</b>	<b>887</b>	
23.5	Methodenentwicklungen in der Gaschromatographie	665	Oxidationszahlen und Ausgleich von Redoxreaktionen	887	
24	<b>Hochleistungsflüssigkeitschromatographie</b>	<b>671</b>	<b>Anhang E</b>	<b>891</b>	
24.1	Der chromatographische Prozess	672	Äquivalentkonzentration	891	
24.2	Injection und Detektion in der HPLC	690	<b>Anhang F</b>	<b>893</b>	
24.3	Methodenentwicklung für Trennungen an Umkehrphasen	697	Löslichkeitsprodukte*	893	
24.4	Trennungen mit Gradienten	704	<b>Anhang G</b>	<b>897</b>	
24.5	Hier hilft uns der Computer	708	Säure(dissoziations)konstanten	897	
25	<b>Chromatographische Methoden und Kapillarelektrophorese</b>	<b>715</b>	<b>Anhang H</b>	<b>907</b>	
25.1	Ionenaustausch-Chromatographie	716	Standardreduktionspotentiale	907	
25.2	Ionenchromatographie	724	<b>Anhang I</b>	<b>919</b>	
25.3	Molekulausschluss-Chromatographie	730	Komplexstabilitätskonstanten	919	
25.4	Affinitätschromatographie	733	<b>Anhang J</b>	<b>923</b>	
25.5	Hydrophobe Wechselwirkungschromatographie	734	Logarithmen der Komplexbildungskonstanten für die Reaktion $M(aq) + L(aq) \rightleftharpoons ML(aq)$	923	
25.6	Grundlagen der Kapillarelektrophorese	734	<b>Anhang K</b>	<b>925</b>	
25.7	Durchführung der Kapillarelektrophorese	743	Analytische Standards	925	
25.8	Lab on a chip: Erforschung der Chemie des Gehirns	754	<b>Lösungen der Übungen</b>	<b>929</b>	
26	<b>Gravimetrische Analyse, Fällungstitrationen und Verbrennungsanalyse</b>	<b>759</b>	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>933</b>	
26.1	Beispiele für gravimetrische Analysen	760			
26.2	Fällung	762			