

LERNEN EINFACH GEMACHT



Analytische Chemie

für
dummies[®]



Mit Stoffgemischen
richtig umgehen

Säure/Base-, Fällungs
und Redox-Titrationen
richtig anwenden

Mengen mit elektro-
chemischen Methoden
bestimmen

Ulf Ritgen

Analytische Chemie für Dummies

Schummelseite

Periodensystem der Elemente

Ia																		VIIIa																											
1	2																	13	14	15	16	17	18													2									
H Wasserstoff 1,008																		Al Aluminium 26,9815																		He Helium 4,0026									
3	4																	5	6	7	8	9	10													10									
Li Lithium 6,94	Be Beryllium 9,0122																	B Bor 10,81	C Kohlenstoff 12,011	N Stickstoff 14,007	O Sauerstoff 15,999	F Fluor 18,9984	Ne Neon 20,1797																						
11	12																	13	14	15	16	17	18													18									
Na Natrium 22,9898	Mg Magnesium 24,305																	Al Aluminium 26,9815	Si Silicium 28,086	P Phosphor 30,9738	S Schwefel 32,06	Cl Chlor 35,45	Ar Argon 39,948																						
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36													36															
K Kalium 39,0983	Ca Calcium 40,078	Sc Scandium 44,9559	Ti Titan 47,867	V Vanadium 50,9415	Cr Chrom 51,9961	Mn Mangan 54,938	Fe Eisen 55,845	Co Cobalt 58,9332	Ni Nickel 58,6934	Cu Kupfer 63,546	Zn Zink 65,38	Ga Gallium 69,723	Ge Germanium 72,63	As Arsen 74,9216	Se Selen 78,971	Br Brom 79,904	Kr Krypton 83,798																												
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54													54															
Rb Rubidium 85,4678	Sr Strontium 87,62	Y Yttrium 88,9059	Zr Zirkonium 91,224	Nb Niob 92,9064	Mo Molybdän 95,95	Tc Technetium (98)	Ru Ruthenium 101,07	Rh Rhodium 102,9055	Pd Palladium 106,42	Ag Silber 107,8682	Cd Cadmium 112,414	In Indium 114,818	Sn Zinn 118,71	Sb Antimon 121,760	Te Tellur 127,60	I Iod 126,9045	Xe Xenon 131,293																												
55	56																	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86													86
Cs Cäsium 132,9054	Ba Barium 137,327																	Hf Hafnium 178,49	Ta Tantal 180,9479	W Wolfram 183,84	Re Rhenium 186,207	Os Osmium 190,23	Ir Iridium 192,217	Pt Platin 195,084	Au Gold 196,9666	Hg Quecksilber 200,592	Tl Thallium 204,38	Pb Blei 207,2	Bi Bismut 208,9804	Po Polonium (209)	At Astat (210)	Rn Radon (222)													
87	88																	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118													118
Fr Francium (223)	Ra Radium (226)																	Rf Rutherfordium (267)	Db Dubnium (268)	Sg Seaborgium (271)	Bh Bohrium (270)	Hs Hassium (269)	Mt Meitnerium (278)	Ds Darmstadtium (281)	Rg Roentgenium (282)	Cn Copernicium (285)	Nh Nihonium (286)	Fl Flerovium (289)	Mc Moscovium (289)	Lv Livermorium (293)	Ts Tenness (294)	Og Oganesson (294)													
																		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71													71
																		La Lanthan 138,9055	Ce Cer 140,116	Pr Praseodym 140,908	Nd Neodym 144,242	Pm Promethium (145)	Sm Samarium 150,36	Eu Europium 151,964	Gd Gadolinium 157,25	Tb Terbium 158,9254	Dy Dysprosium 162,50	Ho Holmium 164,9303	Er Erbium 167,259	Tm Thulium 168,9342	Yb Ytterbium 173,045	Lu Lutetium 174,967													
																		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103													103
																		Ac Actinium (227)	Th Thorium 232,04	Pa Protactinium 231,04	U Uran 238,029	Np Neptunium (237)	Pu Plutonium (244)	Am Americium (243)	Cm Curium (247)	Bk Berkelium (247)	Cf Californium (251)	Es Einsteinium (252)	Fm Fermium (257)	Md Mendelevium (258)	No Nobelium (259)	Lr Lawrencium (260)													

Metalle
Halbmetalle
Nichtmetalle
Lanthanoide
Actinoide
Po radioaktiv

© Ulf Ritgen und Stefanie Ortanderl, Chemie für Dummies – das Lehrbuch

Gehaltsangaben nach DIN 1310

Benennung	Formelzeichen	Einheit	Bestimmungsgleichung
Konzentrationsangaben			
Stoffmengenkonzentration	c_i	$\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$	$\frac{n_i}{V}$
Massenkonzentration	β_i	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{m_i}{V}$
Volumenkonzentration	α_i	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$	$\frac{V_i}{V}$
Teilchenzahlkonzentration	C_i	$\frac{1}{\text{m}^3} (= \text{m}^{-3})$	$\frac{N_i}{V}$
Anteilangaben			
Stoffmengenanteil	x_i	$\frac{\text{mol}}{\text{mol}}$	$\frac{n_i}{n}$
Massenanteil	ω_i	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	$\frac{m_i}{m}$
Volumenanteil	φ_i	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$	$\frac{V_i}{V_0}$
Teilchenzahlanteil	X_i	1	$\frac{N_i}{N}$
Verhältnisangaben			
Stoffmengenverhältnis	$r_{(i,k)}$	$\frac{\text{mol}}{\text{mol}}$	$\frac{n_i}{n_k}$
Massenverhältnis	$\tilde{z}_{(i,k)}$	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$	$\frac{m_i}{m_k}$
Volumenverhältnis	$\vartheta_{(i,k)}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$	$\frac{V_i}{V_k}$
Teilchenzahlverhältnis	$\tilde{R}_{(i,k)}$	1	$\frac{N_i}{N_k}$
Molalität			
Molalität	$b_{(i,k)}$	$\frac{\text{mol}}{\text{kg}}$	$\frac{n_i}{m_k}$

Gehaltsangaben nach DIN 1310

Größen im Zähler:

- n_i Stoffmenge der Stoffportion i
- m_i Masse der Stoffportion i
- V_i Volumen der Stoffportion i (vor dem Mischvorgang!)
- N_i Teilchenzahl der Stoffportion

Größen im Nenner:

- N Gesamteilchenzahl der Mischphase: $N = \sum_j (N_i)_j$
- n Gesamtstoffmenge der Mischphase: $n = \sum_j (n_i)_j$
- m Gesamtmasse der Mischphase: $m = \sum_j (m_i)_j$

- V_0 Gesamtvolumen der Mischphase vor dem Mischen: $V_0 = \sum_j (V_i)_j$
- V Gesamtstoffmenge der Mischphase in der Mischung

Wichtig: V_0 berechnet sich aus den Einzelvolumina vor dem Mischen, während V das Gesamtvolumen 'nach dem Mischen' (also tatsächlich in der Mischung vorliegend) beschreibt. Aufgrund des Phänomens der *Volumenkontraktion* lässt sich V nicht immer aus der Summe der einzelnen Komponenten berechnen:

$$V_0 \neq V$$

- m_L Gesamtmasse des *Lösemittels* (Lösungsmittels), nicht etwa der Lösung!



Ulf Ritgen

Analytische Chemie

für
dummies[®]

Fachkorrektur von Antje Thielen

WILEY-VCH
WILEY-VCH GmbH

Analytische Chemie für Dummies

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Auflage 2021

© 2021 Wiley-VCH GmbH, Weinheim

Wiley, the Wiley logo, Für Dummies, the Dummies Man logo, and related trademarks and trade dress are trademarks or registered trademarks of John Wiley & Sons, Inc. and/or its affiliates, in the United States and other countries. Used by permission.

Wiley, die Bezeichnung »Für Dummies«, das Dummies-Mann-Logo und darauf bezogene Gestaltungen sind Marken oder eingetragene Marken von John Wiley & Sons, Inc., USA, Deutschland und in anderen Ländern.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Coverfoto: © spemcergrant/stock.adobe.com

Korrektur: Isolde Kommer

Print ISBN: 978-3-527-71695-1

ePub ISBN: 978-3-527-82622-3

Über den Autor

Ulf Ritgen studierte an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Chemie mit dem Abschluss »Diplom« und wurde dort mit einem Thema der pharmazeutischen Chemie promoviert. Seitdem lehrt er an der Hochschule-Bonn-Rhein-Sieg und dem ZVA-Bildungszentrum Dormagen so ungefähr alles, »was irgendwie mit Chemie zu tun hat«.

Inhaltsverzeichnis

Cover

Titelblatt

Impressum

Über den Autor

Einführung

Törichte Annahmen über den Leser

Wie Sie dieses Buch einsetzen

Symbole in diesem Buch

Wie es weitergeht

Teil I: Grundlagen und Standards

Kapitel 1: Analytik - und was dahintersteckt

Methodik der Analytik

Methoden in der Analytik

Reinstoffe, Gemische & Co.

Arbeitsbereich, Probenbereich, Gehaltsbereich

Kapitel 2: Grundlagen, Werkzeuge und Prinzipien

Präzision & Co.

Damit müssen Sie rechnen

Signifikant muss es schon sein

Ein Hauch von Statistik

Kapitel 3: Standards

Das ist der Standard: Grundgrößen

Von den Grundgrößen leiten sich alle Größen ab

Was ist denn schon »normal«?

Vorsilben - für die Größenordnung

Gehaltsangaben - Konzentration & Co. im Labor-Alltag

Teil II: Klassische nasschemische Verfahren

Kapitel 4: Die Masse macht's - Gravimetrie

Die Fällung

Der gravimetrische Faktor

Der Fällungsgrad (α)

Gravimetrie - zur praktischen Durchführung

Kapitel 5: Volumetrie - zunächst einmal ganz allgemein

Einige Fachtermini, die Sie kennen sollten

Endpunkts-Indikation

Maßanalyse erfordert Genauigkeit

Kapitel 6: Gar nicht ätzend: Säure/Base-Titrationsen

pH-Wert

Titrationskurven

Bestimmung des pH-Wertes einer wässrigen Lösung

Kapitel 7: Lassen wir doch die Schwerkraft für uns arbeiten! - Fällungsreaktionen

Fällungs-Titrationsen

Argentometrie - Vielfalt bei Fällungs-Titrationsen

Ein Schlusswort zu diesem Kapitel

Kapitel 8: So komplex ist das gar nicht! - Komplexometrie

Zur Erinnerung: Komplex-Nomenklatur

Komplexliganden in der Analytischen Chemie

Kapitel 9: Elektronen wechseln den Besitzer - Redox-Titrationsen

Grundlagen

Beschreibung von Redox-Systemen: die internationale Konvention

Eine Redox-Titration - ein wenig genauer betrachtet

Bestimmung des Endpunktes einer Redox-Titration

Anwendungsbereiche für Redox-Titrationen

Teil III: Jetzt wird's spannend

Kapitel 10: Elektrochemie - unter Strom in der Analytik

Was passiert an den Elektroden?

Elektrolyse nutzen

Konduktometrie

Kapitel 11: Hat durchaus Potential - Potentiometrie

Potentiometrie

Elektroden für die Potentiometrie

Elektroden - Arbeitspferde der Analytik

Potentiometrische Verfahren

Kapitel 12: Speziellere Elektroden

Einteilung von Elektroden nach ihrer Membran

Die potentiometrische Messung von pH-Werten

Ionenselektive Elektroden (ISE)

Teil IV: Der Top-Ten-Teil

Kapitel 13: Zehn Empfehlungen für das Analytik-Labor

Stichwortverzeichnis

End User License Agreement

Tabellenverzeichnis

Kapitel 3

Tabelle 3.1: Grundgrößen des SI-Einheitensystems

Tabelle 3.2: Abgeleitete Größen im SI-Einheitensystem

Tabelle 3.3: Verschiedene Standardbedingungen

Tabelle 3.4: Präfixe der Zehnerpotenzen

Tabelle 3.5: Konzentrationsangaben nach DIN 1310

[Tabelle 3.6: Anteilsangaben nach DIN 1310](#)

[Tabelle 3.7: Verhältnisangaben nach DIN 1310](#)

[Tabelle 3.8: Molalität und spezifische Partialstoffmenge nach DIN 1310](#)

Kapitel 4

[Tabelle 4.1: Löslichkeitsprodukte ausgewählter Fällungsformen](#)

Kapitel 6

[Tabelle 6.1: \$pK_S\$ -Werte](#)

[Tabelle 6.2: Farbindikatoren \(* = Mischfarbe\)](#)

Kapitel 8

[Tabelle 8.1: Wichtige einzähnige Liganden](#)

[Tabelle 8.2: Bildungskonstanten \$K_B\$ ausgewählter EDTA-Komplexe](#)

[Tabelle 8.3: Härtebereiche des Wassers \(nach deutschem Recht\)](#)

Kapitel 9

[Tabelle 9.1: Die elektrochemische Spannungsreihe – Standard-Reduktionspotentiale...](#)

Kapitel 10

[Tabelle 10.1: Einfluss der Stromdichte auf die Überspannung \$\eta\$](#)

[Tabelle 10.2: Grenzleitfähigkeiten ausgewählter Kationen und Anionen \(in S cm...\)](#)

Illustrationsverzeichnis

Kapitel 1

[Abbildung 1.1: Analytik – qualitativ und quantitativ](#)

[Abbildung 1.2: Methodik der Analytik](#)

[Abbildung 1.3: Elektromagnetische Strahlung in der Instrumentellen ...](#)

Kapitel 2

[Abbildung 2.1: Richtigkeit & Präzision](#)

[Abbildung 2.2: Ein gefüllter Messzylinder](#)

Kapitel 4

[Abbildung 4.1: Fällung von Nickel als Diacetyldioxim-Komplex](#)

[Abbildung 4.2: Schematische Darstellungen ausgewählter Laborgeräte](#)

[Abbildung 4.3: Schematische Darstellungen ausgewählter Laborgeräte,...](#)

Kapitel 5

[Abbildung 5.1: Auswertung von Titrationskurven](#)

Kapitel 6

[Abbildung 6.1: Autoprotolyse des Wassers](#)

[Abbildung 6.2: Die pH-Skala](#)

[Abbildung 6.3: Titration einer Säure gegen eine Base](#)

[Abbildung 6.4: Exemplarische Titrationskurven: \(a\) schwache Säure g...](#)

[Abbildung 6.5: Titrationskurven verschieden starker Säuren](#)

[Abbildung 6.6: pH-Papier und pH-Teststäbchen](#)

[Abbildung 6.7: Indikatoren: Phenolphthalein \(a\) und Bromthymolblau ...](#)

[Abbildung 6.8: Aminosäure, allgemein \(a\); Melamin \(b\).](#)

Kapitel 7

[Abbildung 7.1: Verschiedene Titrationskurven für die argentometrisch...](#)

[Abbildung 7.2: Adsorptionsindikatoren für die Titration nach FAJANS](#)

[Abbildung 7.3: Polarisierung der Bodenkörper-Oberfläche bei einer Fä...](#)

[Abbildung 7.4: Pseudohalogenide](#)

Kapitel 8

[Abbildung 8.1: Entstehung einer koordinativen Bindung](#)

[Abbildung 8.2: Entstehung einer koordinativen Bindung bei der Proto...](#)

[Abbildung 8.3: Ausgewählte zweizählige Liganden](#)

[Abbildung 8.4: Das EDTA-Tetraanion – ein sechszähliger Ligand](#)

[Abbildung 8.5: Calconcarbonsäure \(a\), Murexid \(b\) und Dithizon \(c\).](#)

[Abbildung 8.6: Eriochromschwarz T \(a\) und Xylenolorange \(b\).](#)

[Abbildung 8.7: Cyclische \(a\) und zwitterionische Form \(b\) von Xylen...](#)

Kapitel 9

[Abbildung 9.1: Negative \(a - c\) und positive Polarisation \(d\) von E...](#)

[Abbildung 9.2: Aufbau einer galvanischen Zelle](#)

[Abbildung 9.3: Eine exemplarische Redox-Titrationskurve](#)

[Abbildung 9.4: \(a\) o-Phenanthrolin und \(b\) Ferroin](#)

[Abbildung 9.5: Das Ferroin-Redox-Paar](#)

[Abbildung 9.6: Das Redox-System \(a\) Diimin und \(b\) Diphenylamin](#)

[Abbildung 9.7: Oxidation von Ascorbinsäure](#)

Kapitel 10

[Abbildung 10.1: Die Rolle der Überspannung \(© G. SCHWEDT, T....](#)

[Abbildung 10.2: Neu! Jetzt *noch* platiniger - Platin \(a\) und platin...](#)

[Abbildung 10.3: Strom-Zeit-Verlauf bei der potentiostatischen Coul...](#)

[Abbildung 10.4: Der GROTTTHUß-Mechanism](#)

[Abbildung 10.5: Konduktometrische Nachverfolgung der Titration von...](#)

[Abbildung 10.6: Konduktometrische Nachverfolgung der Titration von...](#)

[Abbildung 10.7: Konduktometrische Simultanbestimmung von Salzsäure...](#)

[Abbildung 10.8: Konduktometrisch nachverfolgte Substitutionstitrat...](#)

Kapitel 11

[Abbildung 11.1: Allgemeiner Versuchsaufbau für die Potentiometrie](#)

[Abbildung 11.2: Die Silber/Silberchlorid-Elektrode](#)

[Abbildung 11.3: Die \(gesättigte\) Kalomel-Elektrode](#)

[Abbildung 11.4: Entstehung des Diffusionspotentials](#)

Kapitel 12

[Abbildung 12.1: Hydrochinon \(a\), Benzochinon \(b\) und Chinhydron \(c...](#)

[Abbildung 12.2: Schematischer Aufbau einer Glas-Elektrode](#)

[Abbildung 12.3: \(a\) Glas-Struktur; \(b\) eine Glas-Oberfläche in Kon...](#)

[Abbildung 12.4: Quellen der Glasmembran und das DONNAN-Potential \(...\)](#)

[Abbildung 12.5: Was an \(und in\) der Glasmembran geschieht](#)

[Abbildung 12.6: Leitfähigkeit durch Fluorid-Ionen-Diffusion von Fe...](#)

[Abbildung 12.7: Valinomycin](#)

[Abbildung 12.8: Ausgewählte Kronenether - bereits im komplexierend...](#)

[Abbildung 12.9: Gas-Elektrode](#)

Einführung

Traditionell finden die einführenden Veranstaltungen zum Thema »Analytische Chemie« in der sogenannten Studieneingangsphase statt, meist im zweiten Semester, nachdem im ersten Semester zunächst im Rahmen einer Veranstaltung zum Thema »Allgemeine Chemie«, »Chemie der wässrigen Lösungen« oder auch »General Chemistry« die dafür unabdingbaren Grundlagen geschaffen wurden.

Dieser schlichtweg unvermeidbaren »Hierarchie der Fachinhalte« wird auch in diesem Buch Rechnung getragen: Ohne zumindest gewisse Grundkenntnisse der Allgemeinen Chemie geht es nicht, und der häufig gewünschte »modulare Aufbau« (bei dem man immer nur das liest, was man gerade braucht) lässt sich auch nicht verwirklichen – hier gilt sehr häufig: »eines nach dem anderen.« Aber in diesem Buch – und damit unterscheidet sich »Analytische Chemie für Dummies« von den meisten vergleichbaren Einführungswerken – wird auch der Umstand berücksichtigt, dass »durchschnittliche Zweitsemester« zwar durchaus einen Großteil der erforderlichen Grundlagen auf der sprichwörtlichen Pfanne haben, aber nicht gleich alle Zusammenhänge und/oder Formeln aus dem ebenso sprichwörtlichen Ärmel schütteln können.

Ziel dieses Buches ist es also, die Leser*innen in ihrer real existierenden Lebenswirklichkeit abzuholen, indem immer wieder gezeigt wird, wie sehr – und auf welche Weise – im Rahmen der Analytischen Chemie ganz grundlegende Konzepte aus der Allgemeinen Chemie verwendet werden ... aber dieses Mal eben in der praktischen Anwendung und mit dem Ziel, (neue) Erkenntnisse zu gewinnen.

Törichte Annahmen über den Leser

Gewiss werden Sie gute Gründe haben, zu einem Einführungswerk mit dem Titel »Analytische Chemie« zu greifen:

- ✓ Sie studieren ein naturwissenschaftliches Fach, bei dem Grundkenntnisse der Analytischen Chemie erforderlich sind – das mag das Fach »Chemie« selbst sein oder »Chemieingenieurwesen« oder auch »Naturwissenschaftliche Forensik« und dergleichen mehr.
- ✓ Sie bringen gewisse Vorkenntnisse mit: Sie haben zumindest schon eine Grundvorlesung über chemische Prozesse, Gegebenheiten und Konzepte besucht (und sich idealerweise auch schon mit den zugehörigen Inhalten hinreichend befasst, dass Ihnen Begriffe wie »pH-Wert«, »Gleichgewichtsreaktion«, »Massenwirkungsgesetz« (ach, das gute MWG!) und »Redox-Reaktionen« nicht völlig fremd sind.
- ✓ Sie rechnen damit (oder wissen), dass Sie früher oder später im Fach »Analytische Chemie« eine Klausur schreiben (und bestehen) sollen (und wollen), und Ihnen ist klar, dass Sie mit reinem Auswendiglernen auf keinen grünen Zweig kommen würden.
- ✓ Ihnen ist klar, dass zum Labor-Alltag hin und wieder auch ein wenig Rechnen gehört – etwa zum Ermitteln von Stoffmengen oder Konzentrationen. Die zugehörige Formelsprache ist Ihnen prinzipiell zwar vertraut, aber Sie sind der Ansicht, ein bisschen Übung könne gewiss nicht schaden.

- ✓ Alles in allem würden Sie gerne *verstehen*, worum es in der Analytischen Chemie eigentlich geht – und das am liebsten so, dass Sie dabei erkennen, welche Zusammenhänge bestehen und zum Gewinnen von (neuen) Erkenntnissen ausgenutzt werden. Wenn im Zuge entsprechender Erklärungen hin und wieder eigentlich Bekanntes noch einmal kurz wiederholt und so aufgefrischt wird, ist Ihnen das recht.

Wie Sie dieses Buch einsetzen

Natürlich ist es nicht Ziel dieses Buches, sämtliche Grundlagen der Allgemeinen Chemie vollständig abzudecken – gewisse Vorkenntnisse sind bei Ihnen ja vorhanden. Aber die weitaus meisten Student*innen ertappen sich selbst (gerade im zweiten Semester) immer wieder bei dem Gedanken: »Hmm, ich *dachte*, ich hätte das verstanden ...« – und *das ist überhaupt nicht schlimm*.

Ein naturwissenschaftliches Fach zu studieren, besitzt frappierende Ähnlichkeit damit, eine Fremdsprache zu erlernen – früher oder später führt das reine Vokabelpauken nicht weiter, man muss für sich selbst immer wieder nach Ähnlichkeiten, Parallelen und Zusammenhängen suchen, und das setzt eben auch *Übung* voraus. Diese jedoch *kann* bei Student*innen in der Studieneingangsphase schlichtweg noch nicht als bereits vorhanden vorausgesetzt werden (auch von den betreffenden Studierenden selbst nicht, also nicht »mit sich selbst ungeduldig werden«!).

Es ist sehr gut möglich, dass Sie hin und wieder ins Stolpern geraten:

- ✓ »Was kam bei der NERNST'schen Gleichung jetzt in den Zähler und was in den Nenner?«
- ✓ »Wie war das bei galvanischen Zellen und Elektrolyse mit Kathode und Anode?«
- ✓ »Es gab doch einen Zusammenhang zwischen pK_S - und pH -Wert - aber wie war der noch?«

Genau dort möchte dieses Buch Sie abholen. Deswegen werden die einzelnen Teilgebiete der Analytischen Chemie nicht nur mit einem kurzen Überblick »Diese Konzepte sollten Ihnen hierfür vertraut sein« eingeleitet: Die beliebtesten Fehlannahmen und die etwas komplexeren Zusammenhänge werden noch einmal Schritt für Schritt - und damit hoffentlich leicht nachvollziehbar - erläutert. Ist eine solche Wiederholung für Sie an dieser Stelle nicht erforderlich: Schön für Sie! Bitte springen Sie gleich zum nächsten Abschnitt!

Ziel von »Analytische Chemie für Dummies« ist es also, Ihnen eine ausformulierte »Vorlesungsmitschrift« zu bieten, einschließlich all der »beiläufigen Nebenbemerkungen«, mit denen Dozent*innen im Rahmen einer Vorlesung den jeweils gerade behandelten Stoff in den Kontext vorangegangener Grundlagenveranstaltungen einbetten und/oder schlaglichtartige Ausblicke auf Veranstaltungen für die höheren Semester bieten.

Insofern ist das Beste, was Sie mit diesem Buch machen können: Lesen Sie die einzelnen Kapitel in ihrer Reihenfolge - in späteren Kapiteln wird immer wieder auf ausgewählte Inhalte früherer Kapitel zurückgegriffen, so wie im Rahmen einer Vorlesung ja auch immer wieder Teilsätze fallen wie: »Und wie wir ja wissen ...« (in diesem Buch dann sogar mit konkretem Verweis auf das jeweilige Kapitel). Und genau wie in

einer Vorlesung sollten Sie auch beim Selbst-Lesen *aktiv mitdenken* und versuchen, die Inhalte nicht bloß als »Faktenwissen« abzuspeichern, sondern zu *verstehen*. Verständnis zu entwickeln, ist viel wichtiger (und hilfreicher), als lediglich Fakten abrufen zu können.

Symbole in diesem Buch

Häufig werden einzelne Abschnitte des Buches durch das eine oder andere Bildsymbol gekennzeichnet, das Ihnen das Einordnen der jeweiligen Abschnittsinhalte erleichtern soll. In diesem Buch finden Sie sechs verschiedene Icons:



Das *Ausrufezeichen* weist Sie darauf hin, dass die hier zu findenden Definitionen, Prinzipien oder Zusammenhänge *wirklich wichtig* sind. Auf diese wird daher später (auch in den nachfolgenden Kapiteln) immer wieder zurückgegriffen werden. Hier steht also etwas, ohne das Sie früher oder später nicht mehr weiterkommen.



Es gibt in der Chemie einige äußerst *beliebte (Denk-)Fehler*. Diese gilt es natürlich tunlichst zu vermeiden. Entsprechend sind mit der *Explosion* gekennzeichnete Passagen dazu gedacht, Sie genau davon abzuhalten, den entsprechenden Fehler zu machen. Außerdem stellt sich im Umgang mit der Formelsprache, ohne die wir in der Analytischen Chemie nun einmal nicht auskommen, hin und wieder das Problem, dass es – meist aus historischen Gründen – für die gleiche Größe mehrere unterschiedliche Abkürzungen oder Variablen-Zeichen gibt oder umgekehrt dem gleichen

Formelzeichen je nach Kontext eine völlig unterschiedliche Bedeutung zukommt – was natürlich zur *Verwirrung* einlädt. Auch auf derlei Umstände werden Sie durch die *Explosion* hingewiesen.



Häufig werden Sachverhalte anhand eines *Beispiels* sehr viel leichter nachvollziehbar. Um gleich ein Beispiel für ein solches Beispiel zu geben (*siehe* obige Warnung): Wenn es um Lösungen geht, steht c , also das »kleine C«, für die Konzentration, geht es hingegen um elektromagnetische Strahlung, steht es für die Lichtgeschwindigkeit. (Gut, *das* wissen Sie natürlich, aber derlei Doppelbelegungen von Formelzeichen kommen in der Formelsprache immer wieder vor.)



Mit dem *Techniker* werden Vertiefungen des gerade behandelten Stoffes gekennzeichnet, bei denen dann (etwas) komplexere Zusammenhänge aufgezeigt werden. Auch historische Besonderheiten (etwa bei »gewachsenen Namen« oder im Laufe der Zeit modifizierten Regeln/Festlegungen/Definitionen (oder auch Formelzeichen) sind mit dem Techniker markiert. Wenn es Ihnen »nur« um die absoluten Grundlagen geht, können Sie diese (meist kurzen) Abschnitte auch überspringen.



Manche Dinge lassen sich mithilfe von Merkhilfen und dergleichen leichter einprägen, und bei manchen – gerade komplexeren – Sachverhalten oder Fragestellungen ist ein dezenter Hinweis zum Auffinden einer passenden Herangehensweise oft

hilfreich. Derlei *Tipps* sind mit diesem Icon gekennzeichnet.



Hin und wieder finden Sie in diesem Buch auch *Tipps für die Anwendung im Labor*: Wodurch kann man sich das Labor-Alltagsleben erleichtern? Was muss man im Umgang mit einem [Setzen Sie hier bitte den Namen des einen oder anderen Laborgeräts ein] beachten? Gibt es Tricks für eine besonders zeitsparende Auswertung der erhaltenen Daten? Das *Glaskolben*-Icon steht für den Praxisbezug.

Wie es weitergeht

Die Inhalte dieses Buches sind weitgehend in der Reihenfolge einer typischen Einführungsveranstaltung zur Analytischen Chemie sortiert. Idealerweise sollte das Buch also parallel zu entsprechenden Vorlesungen und Übungen genutzt werden können – wobei sich natürlich jede*r Dozent*in einen eigenen »roten Faden« für dieses Fachgebiet zurechtgelegt hat. Also wundern Sie sich bitte nicht, falls die Reihenfolge der Themen in diesem Buch nicht immer *ganz* der Ihrer jeweiligen Lehrveranstaltung entspricht.

Und wenn Sie die Prinzipien der Chemie, die Sie im Vorfeld bereits kennengelernt haben, mit den anhand dieses Buches neu erworbenen Erkenntnissen verknüpfen, wird dies dem Gesamtverständnis der »Chemie an sich« immens zuträglich sein.

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg *mit* und hoffentlich auch Spaß *an* der Analytischen Chemie!

Teil I

Grundlagen und Standards



IN DIESEM TEIL ...

- ✓ wird das Fundament für die gesamte Analytische Chemie gelegt.
- ✓ geht es im ersten Kapitel um die allgemeinen Prinzipien und Techniken der Analytik; dabei werden ausgewählte Grundlagen wiederholt und die ersten Methoden für die Arbeit im Labor besprochen.
- ✓ befasst sich das zweite Kapitel mit der für die Analytik zwingend erforderliche Präzision; hier werden auch die Konzepte der wissenschaftlichen Notation und der signifikanten Ziffern erläutert und für »Rechnen im Labor« nötige Rechenregeln wiederholt.
- ✓ behandelt das dritte Kapitel Grundgrößen, Standards und weitere Konventionen sowie mit diesen Konventionen konforme Konzentrations- und anderen Angaben.

Kapitel 1

Analytik - und was dahintersteckt

IN DIESEM KAPITEL

betrachten wir grundlegend unterschiedliche Formen der Analyse ...

... und was man damit anfangen kann

schauen wir uns an, was wir *eigentlich* messen (können) ...

... und was uns das hilft

befassen wir uns mit ausgewählten Labor-Techniken und -Begriffen

Allgemein betrachtet ist »Analytik« zunächst einmal ein Oberbegriff für die verschiedensten Verfahren, mit denen sich die Zusammensetzung und/oder die Struktur stofflicher Systeme ermitteln lässt - und mit »stoffliche Systeme« ist nichts anderes gemeint als *chemische* Systeme.

Dabei werden schon einmal zwei grundlegend verschiedene Arten der Analyse unterschieden ([Abbildung 1.1](#)):

- ✓ Geht es darum herauszufinden, was sich überhaupt im gerade zu untersuchenden System befindet, betreiben wir **Qualitative Analyse**. Die Frage hier lautet also: »Was befindet sich in meiner Probe?«

- ✓ Ist hingegen das Vorhandensein eines bestimmten Stoffes bereits gesichert und gilt es nun, dessen Menge zu ermitteln, dann befinden wir uns auf dem Gebiet der **Quantitativen Analyse**. Die zugehörige Frage lautet entsprechend: »*Wie viel* des gerade relevanten Stoffes befindet sich in der Probe?«

In beiden Fällen wollen wir gesicherte Informationen über den uns in einer Probe jeweils interessierenden Stoff erhalten. Dieser Stoff wird gemeinhin als **Analyt** bezeichnet.

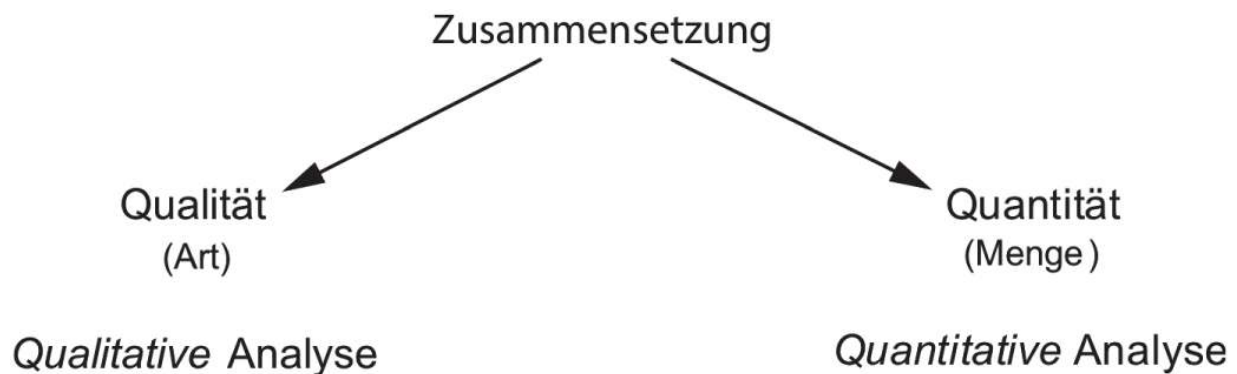


Abbildung 1.1: Analytik – qualitativ und quantitativ



Wollen wir herausfinden, ob eine Trinkwasserprobe mit Blei-Ionen belastet ist (die der Gesundheit gemeinhin nicht zuträglich sind), handelt es sich um eine Frage der *qualitativen* Analyse. Wissen wir hingegen, *dass* sich in einer Trinkwasserprobe Blei-Ionen befinden, und gilt es nun herauszufinden, ob die vorhandene Menge gesundheitlich relevant ist oder nicht, dann sind wir im Bereich der *quantitativen* Analyse angekommen.

Gleiches gilt bei der Untersuchung etwa von Körperflüssigkeiten:

- ✓ *Qualitative Frage*: Hat diese*r Sportler*in Doping betrieben? Finden sich im Blut (oder im Urin) Spuren nicht zulässiger Substanzen?
- ✓ *Quantitative Frage*: Im Rahmen einer qualitativen Analyse wurde im Urin eines Sportlers Testosteron nachgewiesen. Ist der Testosteron-Gehalt auf den natürlichen Hormon-Spiegel der betreffenden Person zurückzuführen, oder wurde hier in unzulässiger Weise beim Aufbau von Muskelmasse nachgeholfen?

Auch bei der Untersuchung von Mineralien ist dieser Unterschied wichtig: Die qualitative Frage lautet etwa, ob eine bestimmte Gesteinsschicht überhaupt (beispielsweise) Platin enthält, die quantitative Frage wäre dann, ob der Platin-Gehalt hoch genug ist, dass ein Abbau mit dem Ziel, das Platin zu gewinnen, wirklich lohnenswert wäre oder sich der Aufwand für den Abbau nicht mit den zu erwartenden Platin-Funden rechtfertigen ließe.

Gewaltlose Analytik?

Eine zweite Art, Methoden der Analytik zu unterscheiden, sei Ihnen nicht vorenthalten – dabei erfahren Sie dann auch gleich, worum es in diesem Buch *nicht* gehen wird. Allgemein wird nämlich auch noch unterschieden zwischen

- ✓ zerstörungsfreien *und*
- ✓ nicht zerstörungsfreien

Methoden. In diesem Buch befassen wir uns nahezu ausschließlich mit der sogenannten *nasschemischen* Analytik (also der Analyse von – meist wässrigen – Lösungen, die den einen oder anderen qualitativ oder quantitativ zu untersuchenden Stoff enthalten), und diese setzt voraus, dass das zu untersuchende Probenmaterial in eine *gelöste* Form überführt wurde – was eindeutig *nicht* zerstörungsfrei abläuft: Den Untersuchungsgegenstand in seiner ursprünglichen Form werden Sie am Ende nicht mehr vorweisen können.

Schauen wir uns ein Beispiel an: Bei der Restaurierung historischer Gemälde wird fast immer Wert darauf gelegt, etwaige Ausbesserungen ausschließlich mit exakt den Farbpigmenten erfolgen zu lassen, die auch von den damaligen Künstlern verwendet wurden. Hin und wieder ist die Identifizierung des jeweils zum Einsatz gekommenen Pigments allerdings nicht ganz trivial, und jedes Museum würde sich bei Ihnen bedanken, wenn Sie zur Klärung dieser Frage ein Stück aus dem unschätzbar wertvollen Gemälde heraustrennen und in einem geeigneten Lösemittel auflösen wollten.

Derlei Fragen lassen sich deutlich leichter – und zerstörungsfrei – mit Methoden der *Instrumentellen Analytik* beantworten, aber um die soll es in diesem Buch eben *nicht* gehen. Die Instrumentelle Analytik, bei der gerne »schweres Gerät« zum Einsatz kommt, ist ein anderes Thema.

Bevor wir uns nun den verschiedenen Methoden der qualitativen und (vor allem) quantitativen Analyse zuwenden können, muss noch eine grundlegende Frage geklärt werden:

Methodik der Analytik

Wenn die Frage zu klären ist, welche Art (welche Methode) der Analytik eigentlich die zielführendste ist, gilt es zunächst herauszufinden, welche Wünsche man an die jeweilige Methode stellt:

- ✓ Sie soll *möglichst schnell* erfolgen können, wir streben also nach **minimierter Analysendauer**.
- ✓ Der *Aufwand* zur Untersuchung der jeweiligen Probe sollte – auch wirtschaftlich betrachtet – möglichst *gering* sein.
- ✓ Welche Methode auch immer zum Einsatz kommt, sie soll möglichst *selektiv* erfolgen, also bevorzugt auf den Analyten ansprechen und sich von allen »Verunreinigungen« (also allem, was *nicht* der Analyt ist – in der Analytik spricht man hier von der **Matrix**) tunlichst nicht beeinflussen lassen.

- Der bestmögliche Fall von Selektivität liegt vor, wenn die gewählte Methode ausschließlich (also: *spezifisch*) auf den Analyten anspricht. Entsprechend liegt dann **Spezifität** vor.



Die Begriffe *Selektivität* und *Spezifität* sollten Sie nicht verwechseln: Bei *selektiven* Verfahren wird der Analyt zwar *bevorzugt* erfasst und liefert dann das eine oder andere **Signal** (dazu gleich mehr), aber Matrix-Bestandteile können ebenfalls zu einem (gegebenenfalls schwächeren) Signal führen und daher hinsichtlich des Analyt-Gehalts zu einem *Mehrfund* führen.

Erfolgt eine Analyse jedoch *spezifisch*, ist das Verfahren so ausgefeilt, dass – aus welchen Gründen auch immer – ausschließlich der Analyt erfasst wird und die Matrix das Ergebnis nicht beeinflusst. Allerdings sind spezifische Analyseverfahren nicht gerade alltäglich.

- ✓ Gewünscht wird zudem eine **maximierte Präzision** (dazu gleich mehr): Etwaige Zufallsfehler im Zuge der Messung sollen also minimiert werden. (Zur Gänze vermeiden lassen sie sich nicht, aber man kann ja sein Bestes geben.)
- ✓ Zu guter Letzt sei noch erwähnt, dass jedes Verfahren ein möglichst **hohes Nachweisvermögen** aufweisen sollte, sodass der Analyt auch dann noch erkannt (= erfasst) wird, wenn er nur in minimalen Mengen vorliegt.

Und nun schauen wir uns an, welche Schritte zur analytischen Methodik gehören ([Abbildung 1.2](#)):

1. Zunächst wird ein geeignetes *Untersuchungsobjekt* benötigt.
2. Bei diesem Untersuchungsobjekt muss dann die **Probennahme** erfolgen,
3. wobei in vielen Fällen eine – für die jeweilige Methode spezifische – **Probenvorbereitung** erforderlich sein wird.
4. Anschließend erfolgt die eigentliche **Messung**, bei der wir dann die oben erwähnten *Signale* erhalten.
5. Anschließend erfolgt die **Auswertung** dieser Signale – was genau verraten die uns eigentlich?
6. Daraus erhalten wir letztendlich die (gesuchte) **analytische Information**.

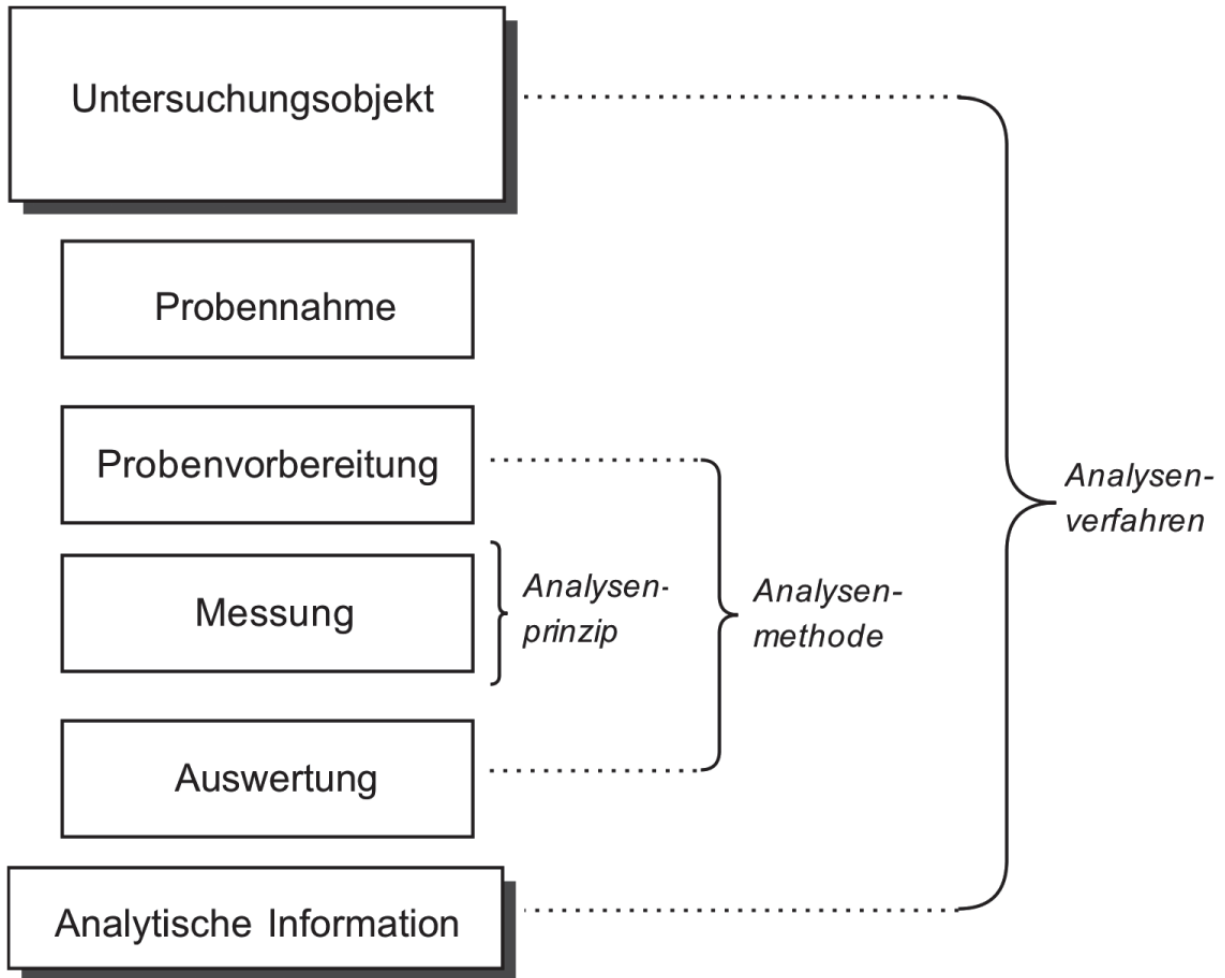


Abbildung 1.2: Methodik der Analytik

Abbildung 1.2 soll auch verdeutlichen, welche Zusammenhänge hier bestehen:

- ✓ Für die eigentliche *Messung* (Punkt 4) ist (nahezu) ausschließlich das **Analyseprinzip** von Bedeutung.
- ✓ Die diesem (Mess-)Prinzip zugrunde liegende **Analysemethode** wird auch durch die Punkte 3 und 5 beeinflusst.
- ✓ Der Oberbegriff **Analyseverfahren** umfasst nicht nur die Punkte 2-5, sondern bezieht sich auch, zumindest zum Teil, auf die Punkte 1 und 6.

Entsprechend müssen wir uns nicht nur mit dem eigentlichen *Analysenprinzip* befassen, sondern auch auf die Probenvorbereitung eingehen, gegebenenfalls sogar auf die *Probennahme* ... und uns hin und wieder auch mit der Frage der Auswertung der erhaltenen Messergebnisse befassen.

Woher erhalten wir überhaupt analytische Informationen?

Ziel jeglicher analytischen Information ist es ja, Aussagen über den Analyten, also den uns im jeweiligen Fall interessierenden Stoff zu treffen. Dazu gehören Fragen nach

- ✓ der Art (qualitative Analyse),
- ✓ der Menge (quantitative Analyse),
- ✓ der Struktur (Strukturanalyse - fällt vornehmlich in das Gebiet der Instrumentellen Analytik) *oder auch*
- ✓ der zeitlichen Veränderung von Art, Menge und/oder Struktur unseres Analyten.

Letzteres erfordert meist sogar das gezielte (häufig sogar erstaunlich kreative) Zusammenspiel verschiedenster Methoden der Analytik, gerne auch der Instrumentellen. Entsprechend wird uns diese »Königdisziplin der Analytik« in diesem Buch, das schließlich »nur« eine Einführung in das ganze Thema darstellen soll, nicht weiter beschäftigen. Unser Hauptaugenmerk wird auf der *Quantitativen* Analyse liegen (auf qualitative Fragen gehen wir nur ein, wenn es sich gerade anbietet) - im Zweifelsfalle wissen wir also hier immer schon im Vorfeld, *welchen* Analyten wir jeweils gerade suchen.