

Hauptgruppen → **1** **2** **IA** **IIA** **13** **14** **15** **16** **17** **18**

Das Periodensystem der Elemente (PSE)

Ordnungszahl (= Protonenzahl) **94 Pu*** Elementensymbol
 Plutonium
 Elementname *****: Alle Nuklide radioaktiv
 kursiv: Künstliches Element
 Molare Masse in $g \cdot mol^{-1}$ (Klammer: stabilstes Isotop) **(244)**

← **1** **H** Wasserstoff 1,008
2 **Li** Lithium 6,94 9,0122
3 **Na** Natrium 22,990
4 **Be** Beryllium 9,0122
5 **B** Bor 10,81
6 **C** Kohlenstoff 12,011
7 **N** Stickstoff 14,007
8 **O** Sauerstoff 15,999
9 **F** Fluor 18,998
10 **Ne** Neon 20,180
11 **Na** Natrium 22,990
12 **Mg** Magnesium 24,305
13 **Al** Aluminium 26,982
14 **Si** Silicium 28,085
15 **P** Phosphor 30,974
16 **S** Schwefel 32,06
17 **Cl** Chlor 35,45
18 **Ar** Argon 39,95
19 **K** Kalium 39,098
20 **Ca** Calcium 40,078
21 **Sc** Scandium 44,956
22 **Ti** Titan 47,867
23 **V** Vanadium 50,942
24 **Cr** Chrom 51,996
25 **Mn** Mangan 54,938
26 **Fe** Eisen 55,845
27 **Co** Cobalt 58,933
28 **Ni** Nickel 58,693
29 **Cu** Kupfer 63,546
30 **Zn** Zink 65,38
31 **Ga** Gallium 69,723
32 **Ge** Germanium 72,630
33 **As** Arsen 74,922
34 **Se** Selen 78,971
35 **Br** Brom 79,904
36 **Kr** Krypton 83,798
37 **Rb** Rubidium 85,468
38 **Sr** Strontium 87,62
39 **Y** Yttrium 88,906
40 **Zr** Zirkon 91,224
41 **Nb** Niob 92,906
42 **Mo** Molybdän 95,95
43 **Tc*** Technetium (98)
44 **Ru** Ruthenium 101,07
45 **Rh** Rhodium 102,91
46 **Pd** Palladium 106,42
47 **Ag** Silber 107,87
48 **Cd** Cadmium 112,41
49 **In** Indium 114,82
50 **Sn** Zinn 118,71
51 **Sb** Antimon 121,76
52 **Te** Tellur 127,60
53 **I** Iod 126,90
54 **Xe** Xenon 131,29
55 **Cs** Caesium 132,91
56 **Ba** Barium 137,33
57 **La** Lanthan
58 **Ce** Cer 140,12
59 **Pr** Praseodym 140,91
60 **Nd** Neodym 144,24
61 **Pm*** Promethium (145)
62 **Sm** Samarium 150,36
63 **Eu** Europium 151,96
64 **Gd** Gadolinium 157,25
65 **Tb** Terbium 158,93
66 **Dy** Dysprosium 162,50
67 **Ho** Holmium 164,93
68 **Er** Erbium 167,26
69 **Tm** Thulium 168,93
70 **Yb** Ytterbium 173,05
71 **Lu** Lutetium 174,97
72 **Hf** Hafnium 178,49
73 **Ta** Tantal 180,95
74 **W** Wolfram 183,84
75 **Re** Rhenium 186,21
76 **Os** Osmium 190,23
77 **Ir** Iridium 192,22
78 **Pt** Platin 195,08
79 **Au** Gold 196,97
80 **Hg** Quecksilber 200,59
81 **Tl** Thallium 204,38
82 **Pb** Blei 207,2
83 **Bi** Bismut 208,98
84 **Po*** Polonium (209)
85 **At*** Astat (210)
86 **Rn*** Radon (222)
87 **Fr*** Francium (223)
88 **Ra*** Radium (226)
89 **Ac*** Actinium (227)
90 **Th** Thorium 232,04
91 **Pa*** Protactinium 231,04
92 **U*** Uran 238,03
93 **Np*** Neptunium (237)
94 **Pu*** Plutonium (244)
95 **Am*** Americium (243)
96 **Cm*** Curium (247)
97 **Bk*** Berkeleium (247)
98 **Cf*** Californium (251)
99 **Es*** Einsteinium (252)
100 **Fm*** Fermium (257)
101 **Md*** Mendeleevium (258)
102 **No*** Nobelium (259)
103 **Lr*** Lawrencium (262)

← **3** **III B** **4** **IV B** **5** **V B** **6** **VIB** **7** **VII B** **8** **8** **9** **10** **11** **12**

Nebengruppen

1) Für die Elemente H, Li, B, C, N, O, Mg, Si, S, Cl, Ar, Br und Tl werden von IUPAC Intervalle für die Standard-Atommassen angegeben, begründet durch die Schwankungen in der Isotopenzusammensetzung dieser Elemente. Für Berechnungen werden die angegebenen konventionellen Werte empfohlen.

← **7** **Fr*** **88 Ra*** **89 Ac*** **58 Ce** **59 Pr** **60 Nd** **61 Pm*** **62 Sm** **63 Eu** **64 Gd** **65 Tb** **66 Dy** **67 Ho** **68 Er** **69 Tm** **70 Yb** **71 Lu**

Lanthanoide

Actinoide

Dunkelgraue Hinterlegung:
 Unter Normbedingungen flüssig

Hellgraue Hinterlegung:
 Unter Normbedingungen gasförmig



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Tabellen zur Chemie und zur Analytik

in Ausbildung und Beruf

Dipl.-Chem. **Dr. Ulrich Hübschmann**

Dipl.-Chem. **Dr. Erwin Links**

Dipl.-Chem. **Dr. Erich Hitzel**

15. aktualisierte Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 27016

Autoren: Dr. rer. nat. Erich Hitzel, Dipl.-Chem.
Dr. rer. nat. Heinz Hug, Dipl.-Chem.
Dr. rer. nat. Werner Krause, Professor, Dipl.-Chem.
Dr. rer. nat. Ingo Tausendfreund, OStR, Dipl.-Chem.

Verlagslektorat: Dr. Astrid Grote-Wolff

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

15. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-8795-9

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: rkt, 51379 Leverkusen, www.rktypo.com

Umschlag: braunwerbeagentur, Radevormwald

Umschlagfoto: © i4lcocl2 – fotolia.com

Umschlagkonzept: tiff.any GmbH, 10999 Berlin

Druck: Medienhaus Plump, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Die bewährte Formel- und Tabellensammlung „Tabellen zur Chemie und zur Analytik in Ausbildung und Beruf“ enthält übersichtlich und kompakt dargestellte Daten und Gesetzmäßigkeiten aus den Bereichen Chemie, chemische Analytik und Physik. Die Auswahl der Fachinhalte ist auf die Ausbildung zum **Chemielaboranten**/zur **Chemielaborantin** sowie zum **Chemisch-technischen Assistenten**/zur **Chemisch-technischen Assistentin** abgestimmt. Das Buch kann während des Unterrichts sowie in Prüfungen als wertvoller Speicher zum zügigen Nachschlagen von Fachinformationen genutzt werden. Darüber hinaus begleitet es die praktische Arbeit im Labor.

Die **15. Auflage** stellt eine gründliche Überarbeitung und Aktualisierung dar.

Hinweise, die zur Weiterentwicklung des Buches beitragen, werden unter der Verlagsadresse oder per Mail (lektorat@europa-lehrmittel.de) dankbar entgegengenommen.

Sommer 2020

Autoren und Verlag

1	Chemische Elemente	4	8	Lösemittel, Lösungen und Gase	48
1.1	Periodensystem der Elemente	4	8.1	Datenübersicht	48
1.2	Tafel der Elemente	4	8.2	Wichtige Lösemittel für organische Stoffe	50
1.3	Elektronenverteilung	7	8.3	Siedetemperatur \leftrightarrow Druck Dampfdruckkurven	50
1.4	Elektronegativität	9	8.4	Dichte von Säuren und Basen	51
1.5	Natürliche und wichtige künstliche Nuklide	10	8.5	Daten ausgewählter wässriger Lösungen	52
2	Größen und Einheiten in Chemie und Physik	11	8.6	Löslichkeit von Feststoffen und Gasen in Wasser	54
2.1	Größen und Größenzeichen, Einheiten und Einheitenzeichen	11	8.7	Molare Gefrierpunkttemperatureniedrigungen und Siedetemperaturerhöhungen	55
2.2	Konstanten	16	8.8	Korrekturfaktoren für die Gleichung realer Gase	56
2.3	Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten	16	9	Molare Massen	57
3	Größengleichungen in Chemie, Physik und Analytik	17	10	Gleichgewichtskonstanten	61
3.1	Mechanik und Technik	17	10.1	Säurekonstanten	61
3.2	Wärmelehre	17	10.2	Basenkonstanten	63
3.3	Elektrizitätslehre	18	10.3	Löslichkeitsprodukte	64
3.4	Gase	19	10.4	Komplexbildungskonstanten (Stabilitätskonstanten)	65
3.5	Physikalisch-chemische/technische Daten	20	10.5	Nernstscher Verteilungskoeffizient	65
3.6	Lösungen	21	11	Stöchiometrische Faktoren, Gravimetrie	67
3.7	Stöchiometrie	22	12	Volumetrie	69
3.8	Gravimetrie	23	12.1	Neutralisationstitrations (Säure-Base-Titration)	69
3.9	Volumetrie	24	12.2	Komplexometrische Titration (Komplexometrie)	70
3.10	Chemisches Gleichgewicht und pH-Wert	25	12.3	Redoxtitration	71
3.11	Elektrochemie	26	12.4	Äquivalentmassen bei Neutralisationstitrations	72
3.12	Spektroskopie und Fotometrie	28	12.5	Äquivalentmassen bei Fällungstitrations	72
3.13	Chromatografie	29	12.6	Äquivalentmassen bei komplexometrischen Titrations	73
3.14	Reaktionskinetik	31	12.7	Äquivalentmassen bei Redoxstitrations	74
4	Beurteilung von Messwerten	32	13	Elektrochemie	75
4.1	Statistische Grundgrößen	32	13.1	Leitfähigkeit von Kaliumchlorid-Standard- lösungen bei 25 °C	75
4.2	Relative Häufigkeit und Vertrauensbereich	32	13.2	Molare Leitfähigkeiten von Elektrolyten	75
4.3	Prüfung auf Ausreißer	33	13.3	Ionenäquivalentleitfähigkeiten	75
4.4	Nachweis- und Bestimmungsgrenze	33	13.4	Normalpotentiale	76
5	Physikalisch-chemische/technische Daten	34	14	Spektroskopie und Fotometrie	78
5.1	Dynamische Viskositäten	34	14.1	Charakteristische Emissionswellenlängen von Alkali- und Erdalkalimetallen	78
5.2	Dynamische Viskosität wässriger Lösungen	34	14.2	Charakteristische Absorptionswellenlängen von Molekülen	78
5.3	Brennwerte und Heizwerte – Verbrennungsenthalpien	35	14.3	Charakteristische Absorptionswellenlängen von Lebensmittelfarbstoffen	78
5.4	Korrosionsbeständigkeit	37	14.4	Kernresonanzspektroskopie	79
5.5	Azeotrop siedende Gemische	37	14.5	Absorptionswellenzahlen in der IR-Spektroskopie	81
5.6	Explosionsgrenzen von Gas/Luft-Gemischen	38	15	Chromatografie	83
6	Wärmelehre	39	15.1	Adsorption und Absorption	83
6.1	Wärmeausdehnungskoeffizienten	39	15.2	Elutrope Reihe der Lösemittel	84
6.2	Dichte von Wasser \leftrightarrow Temperatur	40	Anhang	85	
6.3	Dichte von Quecksilber \leftrightarrow Temperatur	40	Sachwortverzeichnis	87	
6.4	Dampfdruck von Wasser \leftrightarrow Temperatur	41			
6.5	Kalorische Daten von Wasser	41			
6.6	Kalorische Daten von Gasen und leichtflüchtigen Stoffen	42			
6.7	Kalorische Daten von Metallen	43			
6.8	Bildungsenthalpien	44			
6.9	Wärmedurchgang	44			
7	Elektrizitätslehre	46			
7.1	Spezifische Widerstände	46			
7.2	Widerstand \leftrightarrow Temperatur	47			
7.3	Elektrochemische Äquivalentmassen	47			

1.4 Elektronegativität

Die Elektronegativität ist ein relatives Maß für die Fähigkeit eines Atoms, in einem Molekül Bindungselektronen an sich zu ziehen.

Die Zahlenwerte wurden zunächst von Linus Pauling aus den Bindungsenergien berechnet. Dem elektronegativsten Element Fluor ordnete er willkürlich den Wert 4,00 zu. Heute wird bevorzugt mit dem Wert 3,98 gearbeitet.

Die Zahlenwerte nach A.L. Allred und E.G. Rochow berücksichtigen die um den Abschirmungsfaktor berichtigte Kernladung.

Robert Sanderson Mulliken berechnete die Elektronegativität als Mittelwert der Ionisierungsenergie und der Elektronenaffinität. Die Mulliken-Skala bezieht sich auf den Zustand des Atoms in der Bindung.

In der Regel nimmt im Periodensystem die Elektronegativität von links nach rechts und von unten nach oben zu.

Elektronegativitäten nach Pauling

Hauptgruppenelemente

H	Li	Be	B	C	N	O	F
2,20	0,98	1,57	2,04	2,55	3,04	3,44	3,98
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
	0,93	1,31	1,61	1,9	2,19	2,58	3,16
	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br
	0,82	1,00	1,81	2,01	2,18	2,55	2,96
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I
	0,82	0,95	1,78	1,96	2,05	2,1	2,66
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At
	0,79	0,89	1,8	1,8	1,9	2	2,2

Nebengruppenelemente

Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
1,54	1,63	1,66	1,55	1,83	1,88	1,91	1,9	1,65
Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
1,33	1,6	2,16	1,9	2,2	2,28	2,2	1,93	1,69

Elektronegativitäten nach A.L. Allred und E.G. Rochow

Hauptgruppenelemente

H	Li	Be	B	C	N	O	F
2,18	0,97	1,47	2,01	2,50	3,07	3,50	4,10
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
	1,01	1,23	1,47	1,74	2,06	2,44	2,83
	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br
	0,91	1,04	1,82	2,02	2,20	2,48	2,74
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I
	0,89	0,99	1,49	1,72	1,82	2,01	2,21
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At
	0,86	0,97	1,44	1,55	1,67	1,76	1,96

Nebengruppenelemente

Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
1,32	1,45	1,56	1,60	1,64	1,70	1,75	1,75	1,66
Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
1,22	1,23	1,30	1,36	1,42	1,45	1,30	1,42	1,46
Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
1,23	1,33	1,40	1,46	1,52	1,55	1,42	1,42	1,44

Elektronegativitäten nach R.S. Mulliken

Hauptgruppenelemente

H	Li	Be	B	C	N	O	F
2,10	1,28	1,99	1,83	2,67	3,08	3,21	4,42
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
	1,21	1,63	1,37	2,03	2,39	2,65	3,54
	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br
	1,03	1,30	1,34	1,95	2,26	2,51	3,25
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I
	0,99	1,21		1,83		2,34	2,88
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At

3.9 Volumetrie

X: Analyt

MS: Maßsubstanz, gelöst in Maßlösung ML

VL: Vorlage mit Analyt

ÄP: Äquivalenzpunkt

BW: Blindwert

	Größe, Gesetz	Größengleichung, Hinweise	Bemerkungen, Beispiele
92	Titer einer Maßlösung	$t = \frac{c(\text{MS})}{c_S(\text{MS})}$	$c(\text{MS})$: wahre Konzentration, Ist-Konzentration $c_S(\text{MS})$: Sollkonzentration (früher runde Konzentration)
93	Aliquotierfaktor	$f_A = \frac{V_{\text{Ausgangslösung}}}{V_{\text{VL}}}$	z. B.: für $V_{\text{Ausgangslösung}} = 250 \text{ mL}$ und $V_{\text{VL}} = 50 \text{ mL}$ ist $f_A = 5$
94	Ergebnis einer Titration für $\frac{n(\text{X})}{n(\text{MS})} = \frac{1}{2}$	$n_{\text{VL}}(\text{X}) = c(\text{MS}) \cdot V_{\text{ÄP}}(\text{ML})$ $c(\text{X}) \cdot V_{\text{VL}}(\text{X}) = c(\text{MS}) \cdot V_{\text{ÄP}}(\text{ML})$ $c(\text{X}) \cdot V_{\text{VL}}(\text{X}) = c_S(\text{MS}) \cdot t(\text{ML}) \cdot V_{\text{ÄP}}(\text{ML})$ $m(\text{X}) = V(\text{ML}) \cdot t(\text{ML}) \cdot m_{\text{eq}}$ Gegebenenfalls ist bei der Proben titration der Verbrauch der Blindwerttitration abzuziehen.	In anderen Fällen sind die entsprechenden Stoffmengenverhältnisse einzusetzen, z. B.: z.B.: $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ $\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{NaOH})} = \frac{1}{2}$ $c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V_{\text{VL}(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1}{2} \cdot c(\text{NaOH}) \cdot V_{\text{ÄP}(\text{NaOH})}$
95	Rücktitration ohne Blindwertbestimmung	Rechnung über Stoffmengenbilanzen: $n_0(\text{MS}) = n_{\text{X}}(\text{MS}) + n_{\text{R}}(\text{MS})$	Für MS gilt: Die Ausgangsstoffmenge n_0 ist gleich der Stoffmenge n_{X} , die für den Analyten verbraucht wurde, plus der Stoffmenge n_{R} , die bei der Rücktitration noch gefunden wurde, plus der Stoffmenge n_{BW} , die für den Blindwert verbraucht wurde.
96	mit Blindwertbestimmung	$n_0(\text{MS}) = n_{\text{X}}(\text{MS}) + n_{\text{R}}(\text{MS}) + n_{\text{BW}}(\text{MS})$	
97	bei der Blindwertbestimmung	$n_0(\text{MS}) = n_{\text{R}}(\text{MS}) + n_{\text{BW}}(\text{MS})$	
Technische Kennzahlen aus volumetrischen Analysen			
98	Säurezahl SZ	$\text{SZ} = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Probe})}$	SZ gibt an, welche Masse an KOH in mg gebraucht wird, um die in 1 g Fett enthaltenen freien Säuren zu neutralisieren.
99	Verseifungszahl VZ	$\text{VZ} = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Probe})}$	VZ gibt an, welche Masse an KOH in mg gebraucht wird, um die in 1 g Fett enthaltenen freien Säuren zu neutralisieren und die veresterten Säuren zu verseifen.
100	Esterzahl EZ	$\text{EZ} = \text{VZ} - \text{SZ}$	
101	Hydroxylzahl OHZ	$\text{OHZ} = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Probe})}$	OHZ gibt an, welche Masse an KOH in mg der von 1 g Fett bei der Acetylierung gebundenen Essigsäure äquivalent ist.
102	Iodzahl IZ	$\text{IZ} = \frac{m(\text{Iod})}{m(\text{Probe})}$	IZ gibt an, welche Masse an Iod in g von 100 g Fett addiert wird.

	Größe, Gesetz	Größengleichung, Hinweise	Bemerkungen, Beispiele						
122	Grenzleitfähigkeit	Λ_0 Extrapolation von Λ bzw. Λ_{eq} auf die Konzentration Null	Statt der „Null“ wird auch ∞ als Zeichen für „unendliche Verdünnung“ gebraucht. $\Lambda_0(\text{ZnSO}_4) = 266 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ $\Lambda_0(1/2 \text{ ZnSO}_4) = 133 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$						
123	Ionenäquivalentleitfähigkeit (Kurzbezeichnung für Ionenäquivalentgrenzleitfähigkeit)	Die Leitfähigkeit eines Elektrolyten ist gleich der Summe aus den Leitfähigkeiten von Kation und Anion. Gesetz von der unabhängigen Ionenwanderung nach F. Kohlrausch $\Lambda_0(\text{E}) = \Lambda_0(\text{Kation}) + \Lambda_0(\text{Anion})$	Werte sind tabelliert s. S. 76; E: Elektrolyt						
124	Molare Leitfähigkeit und Konzentration (Wurzelgesetz nach F. Kohlrausch)	$\Lambda = \Lambda_0 - A\sqrt{c}$	A : Konstante, die von der Wertigkeit des Elektrolyten abhängt c : Elektrolytkonzentration						
125	Beziehung zwischen Dissoziationsgrad und molarer Leitfähigkeit	$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda_0}$							
125a	Ionenstärke	$I = \frac{1}{2} \sum z_i^2 \cdot b_i$	Hälfte der Summe aller Ionen mit der Ladungszahl z_i und der Molalität b_i						
126	Elektrochemisches Potential	$E = E_0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln a$	E_0 : Normalpotential in Volt s. S. 76 u. S. 77 R : Gaskonstante T : absolute Temperatur z : Ladung des Ions F : Faraday-Konstante a : Aktivität des Ions in der Lösung						
	Nernstsche Gleichung	$E = E_0 + \frac{0,059 \text{ V}}{z} \cdot \lg a$							
		$E = E_0 + \frac{0,059 \text{ V}}{z} \cdot \lg \frac{a(\text{Ox})}{a(\text{Red})}$ Ox: oxidierte Form Red: reduzierte Form	Für praktische Rechnungen:						
		Zur Berechnung von Redox-Potentialen, z. B. in der Maßanalyse	<table border="1"> <tr> <td>ϑ in °C</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>$\frac{R \cdot T}{F}$ in V</td> <td>0,057</td> <td>0,058</td> <td>0,059</td> </tr> </table>	ϑ in °C	15	20	25	$\frac{R \cdot T}{F}$ in V	0,057
ϑ in °C	15	20	25						
$\frac{R \cdot T}{F}$ in V	0,057	0,058	0,059						

3.14 Reaktionskinetik

Die Reaktionskinetik beschreibt die Änderung von Teilchen, Stoffmengen bzw. Konzentrationen als Funktion der Zeit. Aus der Reaktionsgleichung kann nicht auf die Reaktionsordnung geschlossen werden.

	Größe, Gesetz	Größengleichung, Hinweise	Bemerkungen, Beispiele
159	Reaktionsgeschwindigkeit	$r = \frac{+\Delta c(\text{P})}{\Delta t}$ $r = \frac{+\Delta c(\text{E})}{\Delta t}$	P: Produkt E: Edukt
160	Reaktion erster Ordnung Reaktionsgeschwindigkeit und Konzentration Halbwertszeit	$r = k \cdot c(\text{A})$ $\lg c(\text{A}) = \lg c_0(\text{A}) - \frac{k \cdot t}{2,3}$ $T_{1/2} = \frac{0,693}{k}$	k : Geschwindigkeitskonstante $c(\text{A})$: Eduktkonzentration zur Zeit t $c_0(\text{A})$: Ausgangskonzentration Edukt Ausgangskonzentration auf die Hälfte reduziert; konzentrationsunabhängig
161	Reaktion zweiter Ordnung Reaktionsgeschwindigkeit und Konzentration Halbwertszeit	$r = k \cdot c^2(\text{A})$ $\frac{1}{c(\text{A})} = k \cdot t + \frac{1}{c_0(\text{A})}$ $T_{1/2} = \frac{1}{c_0(\text{A}) \cdot k}$	Die Reaktionsgeschwindigkeit ist vom Quadrat der Konzentration von A bzw. dem Produkt der Konzentrationen von A und B abhängig.
162	Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur	$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$ $\lg k = \lg A - \frac{E_a}{R \cdot T \cdot 2,3}$	Arrhenius-Gleichung E_a : Aktivierungsenergie R : Gaskonstante T : absolute Temperatur A : präexponentieller Faktor
163	Radioaktiver Zerfall Reaktion erster Ordnung Halbwertszeit Mittlere Lebensdauer	$\lg A = \lg A_0 - \frac{\lambda \cdot t}{2,3}$ $T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$ $\tau = \frac{1}{\lambda}$	A : Strahlungsaktivität zur Zeit t A_0 : Ausgangsstrahlenaktivität λ : Zerfallskonstante Zeit in der sich eine beliebige Ausgangsstrahlungsaktivität auf die Hälfte reduziert; unabhängig von der Ausgangsaktivität Erwartungswert der Lebenszeit eines instabilen Teilchens.

Umrechnen von Gehaltsgrößen

Grundlage sind die gemessenen Dichten ρ

$$w(X) = \frac{c(X) \cdot M(X)}{10 \cdot \rho(\text{Lsg})}$$

$$= \frac{b(X) \cdot M(X) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})}{10 \cdot \rho(\text{Lsg})}$$

$$c(X) = \frac{w(X) \cdot 10 \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(X)}$$

$$= b(X) \cdot M(X) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})$$

$$b(X) = \frac{w(X) \cdot 10 \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(X) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})}$$

$$= \frac{c(X)}{\rho(\text{H}_2\text{O})}$$

KBr	ρ in g · mL ⁻¹	1,0005	1,0028	1,0054	1,0127	1,0275	1,0426	1,0581	1,0740	1,1156	1,1601	1,2593	1,3746
	c in mol · L ⁻¹	0,0084	0,0421	0,0845	0,1702	0,3454	0,5257	0,7113	0,9025	1,4062	1,9497	3,1747	4,6204
	f	0,927	0,903	0,78	0,75	0,695	0,67	0,64	0,62				
K₂SO₄	ρ in g · mL ⁻¹	1,0005	1,0032	1,0063	1,0145	1,0310	1,0477	1,0646	1,0817				
	c in mol · L ⁻¹	0,0058	0,0115	0,0577	0,1164	0,2367	0,3607	0,4887	0,6207				
	f	0,779	0,713	0,515	0,42	0,35	0,335	0,335					
NH₄Cl	ρ in g · mL ⁻¹	1,0003	1,0007	1,0013	1,0045	1,0107	1,0168	1,0227	1,0286	1,0429	1,0567	w = 26	1,0726
	c in mol · L ⁻¹	0,0187	0,0935	0,1872	0,3756	0,7558	1,1405	1,5268	1,9194	2,9192	3,9438		5,2135
	b in mol · kg ⁻¹	0,0188	0,0937	0,1875	0,3763	0,7572	1,1426	1,5323	1,9264	2,9298	3,9581		5,2229
	f	0,880	0,744	0,698	0,646	0,581	0,558	0,540	0,523				
NaCH₃COO	ρ in g · mL ⁻¹	1,0002	1,0017	1,0033	1,0084	1,0186	1,0289	1,0392	1,0495	1,0755	1,1032	w = 28	1,1462
	c in mol · L ⁻¹	0,0122	0,0611	0,1223	0,2458	0,4967	0,7525	1,0134	1,2793	1,9666	2,6895		3,9122
	ρ in g · mL ⁻¹	1,0007	1,0042	1,0086	1,0190	1,0398	1,0606	1,0816	1,1029		1,1354		
	c in mol · L ⁻¹	0,0094	0,0474	0,0952	0,1923	0,3924	0,6004	0,8164	1,0406		1,3926		
Gelbster Stoff	b in mol · kg ⁻¹	0,005	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	≈ Sättigung	
NaCl	ρ in g · mL ⁻¹	1,0002	1,0004	1,0014	1,0029	1,0064	1,0107	1,0147	1,0187	1,0267	1,0381	b = 5,32	1,1972
	w in %	0,0293	0,0585	0,2923	0,584	1,164	1,738	2,304	2,862	3,992	5,633		26
	c in mol · L ⁻¹	0,0050	0,0100	0,0499	0,0998	0,1996	0,2995	0,3993	0,4991	0,6987	0,9982		5,310
	f	0,929	0,904	0,823	0,778	0,735	0,681	0,681			0,668		
NaNO₃	ρ in g · mL ⁻¹	1,0002	1,0004	1,0022	1,0042	1,0096	1,0152	1,0208	1,0264	1,0357	1,0543	b = 7,43	1,3683
	w in %	0,0426	0,0849	0,0425	0,852	1,686	2,511	3,331	4,146	5,755	8,080		45
	f	0,93	0,90	0,82	0,762	0,70			0,617		0,548		
Na₂SO₄	ρ in g · mL ⁻¹	1,0006	1,0012	1,0028	1,0110	1,0236	1,0359	1,0481	1,0602	1,0837	1,1180	b = 1,29	1,1506
	w in %	0,0710	0,1421	0,710	1,409	2,781	4,112	5,429	6,709	9,190	12,731		16
	f	0,778	0,714	0,536	0,453	0,36			0,27		0,20		
Na₂S₂O₃ 18 °C	ρ in g · mL ⁻¹	1,0025	1,0028	1,0051	1,0113	1,0246	1,0379	1,0512	1,0647	1,0785	1,0925	b = 3,49	1,3827
	w in %	0,158	0,788	1,630	3,203	6,240	4,609	6,027	7,438	10,15	13,95		40
Pb(NO₃)₂	ρ in g · mL ⁻¹	1,0011	1,0024	1,0051	1,0273	1,0552	1,0863	1,1116	1,1395	1,1956	1,2629	b = 1,20	1,3289
	w in %	0,1826	0,289	1,630	3,203	6,240	9,171	11,878	14,512	19,384	24,786		30
	f	0,76	0,69	0,46	0,37	0,27			0,17		0,11		
ZnSO₄	ρ in g · mL ⁻¹	1,0008	1,0028	1,0076	1,0151	1,0310	1,0489	1,0629	1,0768	1,1091	1,1553	b = 2,56	1,378
	w in %	0,0807	0,1613	0,8008	1,605	3,131	4,625	6,084	7,500	10,176	13,999		30
	f	0,477	0,387		0,150	0,104			0,063		0,043		

12.6 Äquivalentmassen bei komplexometrischen Titrationsen

Kationen reagieren bei komplexometrischen Titrationsen mit EDTA immer im Stoffmengenverhältnis 1:1. Bei der üblichen Konzentration der Maßlösung von $c(\text{EDTA}) = 0,02000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ zeigt daher bei direkter Titration (D) 1,000 mL Maßlösung 0,02000 mmol des Analyten an (vgl. 12.2, S. 70).

Die Bestimmung vieler Ionenarten wird über Rücktitration (R), Substitutionstitrationen (S) oder indirekte Titrationsen (I) durchgeführt. Ausgewählte Indikatoren: α : Eriochromschwarz T, β : Xylenolorange, γ : Phtaleinpurpur, δ : Calconcarbonsäure, ε : PAN, ϑ : PAR, κ : Tiron, λ : 3,3'-Dimethylnaphthidin, μ : Methylthymolblau.

EDTA *)		$c(\text{EDTA}) = 0,2000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$						
Analyt		m_{eq} in $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	Analyt		m_{eq} in $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	Analyt	m_{eq} in $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	
Ag^+	$S \alpha$	4,316	Co^{2+}	$R \alpha$	1,179	Na^+	$I \lambda$	0,4598
Al(III)	$S \beta$	0,5396	Cu(I, II)	$D \vartheta$	1,271	Ni^{2+}	$R \alpha$	1,174
As(III, V)	$S \alpha$	1,498	Fe(II, III)	$D \kappa/\beta$	1,117	Pb^{2+}	$D \mu$	4,144
Au(I, III)	$S \alpha$	3,940	Hg(I, II)	$D \alpha, \beta$	4,012	Sb(III, V)		2,436
Ba^{2+}	$D \gamma$	2,746	K^+		0,7820	Tl(I, III)	$D \varepsilon$	4,088
Bi^{3+}	$D \beta$	4,180	K_2O		0,9420	Zn^{2+}	$D \lambda$	1,308
Ca^{2+}	$D \delta$	0,8016	Mg^{2+}	$D \alpha$	0,4862	Gesamt- härte des Wassers	$S \alpha$	0,2000**) mmol/mL
Cd^{2+}	$D \varepsilon$	2,248	Mn^{2+}	$D \alpha$	1,099			

*) Dinatriumdihydrogenethylenediamintetraacetat 2-hydrat ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2$) $\text{H}_2\text{Na}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ $M = 372,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

**) Vorlage 100 mL(!)

Anionen (die Analyte) können mit EDTA komplexometrisch nicht direkt bestimmt werden. Sie werden durch einen Überschuss an Hilfsstoffen (H) in neue Verbindungen überführt. Der Überschuss wird mit EDTA zurücktitriert. Da eine definierte Stoffmenge an Hilfsstoff eingesetzt wird, muss sich aus der Differenz dieser Stoffmenge mit der bei der Titration von EDTA verbrauchten Stoffmenge die Stoffmenge des Analyten ergeben.

In der nachstehenden Tabelle sind die Konzentrationen von EDTA und Hilfsstoff jeweils $0,02000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, daher entspricht 1,000 mL EDTA jeweils 1,000 mL des Hilfsstoffs.

EDTA	$c(\text{EDTA}) = c(\text{H}) = 0,02000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$		
Analyt	Reaktion Analyt/Hilfsstoff	Rücktitration	m_{eq} in $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$
Br^-	$\text{Br}^- + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{AgBr} \downarrow$	$\text{Ag}^+ / \text{EDTA}$	1,598
Cl^-	$2 \text{Cl}^- + \text{Hg}_2^{2+} \rightarrow \text{HgCl}_2 \downarrow$	$\text{Hg}_2^{2+} / \text{EDTA}$	1,418
CN^-	$4 \text{CN}^- + \text{Ni}^{2+} \rightarrow [\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$	$\text{Ni}^{2+} / \text{EDTA}$	2,082
F^-	$2 \text{F}^- + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaF}_2 \downarrow$	$\text{Ca}^{2+} / \text{EDTA}$	0,7600
I^-	$\text{I}^- + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{AgI} \downarrow$	$\text{Ag}^+ / \text{EDTA}$	2,538
MoO_4^{2-}	$\text{MoO}_4^{2-} + \text{Pb}^{2+} \rightarrow \text{PbMoO}_4 \downarrow$	$\text{Pb}^{2+} / \text{EDTA}$	3,200
Mo			1,919
PO_4^{3-}	$\text{PO}_4^{3-} + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \downarrow$	$\text{Mg}^{2+} / \text{EDTA} / \text{ZnSO}_4$	1,899
P_2O_5	$\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} \downarrow$		1,419
SO_4^{2-}	$\text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow$	$\text{Ba}^{2+} / \text{EDTA} / \text{ZnSO}_4$	1,921
S	In überschüssigem EDTA gelöst		0,6414

¹⁾ schwerlöslich ²⁾ wenig dissoziiert ³⁾ Titration mit Indikator 4-(Pyridil-2'-azo)-resorcin als Mononatriumsalz "PAR" ⁴⁾ In Säure gelöst, mit überschüssigem $0,02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ EDTA versetzt.

14 Spektroskopie und Fotometrie

14.1 Charakteristische Emissionswellenlängen von Alkali- und Erdalkalimetallen

Element	λ charakteristischer Linien in nm	Flammenfärbung
Li	670,8	karminrot
Na	589,3 (Doppellinie)	gelb
K	404,4 768,2	rötlich violett
Rb	421 780	rotviolett
Cs	458	blau
Ca	553,3 622,0	ziegelrot
Sr	460,7 604,5	rot
Ba	513,7 524,2	grün

14.2 Charakteristische Absorptionswellenlängen von Molekülen

Molekül	Ethen	1,3-Butadien	2,4-Hexadien	1,3,5-Hexatrien	Benzol	4-Nitrophenol
λ in nm	165	217	227	258	204 254	312

Molekül	β -Carotin	α -Chlorophyll	β -Chlorophyll	Hämoglobin	NAD ⁺	NADH	Ozon
λ in nm	466 497	430 660	450 640	680	260	340	254

(NAD⁺ Nicotin-Adenin-Dinucleotid, in der reduzierten Form NADH)

14.3 Charakteristische Absorptionswellenlängen von Lebensmittelfarbstoffen

Farbstoff-Nr.	E101	E102	E104	E110	E122	E123
Handelsname	Riboflavin	Tartrazin	Chinolin-gelb	Gelborange	Azorubin	Amaranth
Farbe	gelb	zitronen-gelb	grüngelb	orange	blaurot	blaurot
λ in nm	445	426	412	485	516	520

Farbstoff-Nr.	E124	E131	E132	E142	E151
Handelsname	Ponceau4R	Patentblau	Indigotin	Brillant-säuregrün	Brillant-schwarz
Farbe	scharlach-rot	grünblau	purpurblau	grün	blauviolett
λ in nm	505	639	610	632	570