Das Periodensystem der Elemente (PSE)

Ordnungszahl (= Protonenzahl) — **Elementsymbol**
Elementname
Molare Masse in g · mol^{-1} (Klammer: stabilstes Isotop)

94 ***Pu**** Pluto-nium (244)

*: Alle Nuklide radioaktiv
kursiv: künstliches Element

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.

Periode	Hauptgruppen 1 / IA	2 / IIA	Nebengruppen 3 / III B	4 / IV B	5 / V B	6 / VI B	7 / VII B	8 / VIII B	9 / VIII B	10 / VIII B	11 / I B	12 / II B	13 / III A	14 / IV A	15 / V A	16 / VI A	17 / VII A	18 / VIII A
1	1 **H** Wasserstoff 1,008																	2 **He** Helium 4,0026
2	3 **Li** Lithium 6,94	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
3	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
4	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
5	37 **Rb** Rubidium 85,468	38 **Sr** Strontium 87,62	39 **Y** Yttrium 88,906	40 **Zr** Zirkonium 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
6	55 **Cs** Caesium 132,91	56 **Ba** Barium 137,33	57 **La** Lanthan 138,91	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)
7	87 **Fr*** Francium (223)	88 **Ra*** Radium (226)	89 **Ac*** Actinium (227)	104 ***Rf**** Rutherfordium (267)	105 ***Db**** Dubnium (268)	106 ***Sg**** Seaborgium (271)	107 ***Bh**** Bohrium (272)	108 ***Hs**** Hassium (270)	109 ***Mt**** Meitnerium (276)	110 ***Ds**** Darmstadtium (281)	111 ***Rg**** Roentgenium (280)	112 ***Cn**** Copernicium (285)	113 ***Nh**** Nihonium (284)	114 ***Fl**** Flerovium (289)	115 ***Mc**** Moscovium (288)	116 ***Lv**** Livermorium (293)	117 ***Ts**** Tennessine (292)	118 ***Og**** Oganesson (294)

Lanthanoide

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

Actinoide

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**** Americum (243)	96 ***Cm**** Curium (247)	97 ***Bk**** Berkelium (247)	98 ***Cf**** Californium (251)	99 ***Es**** Einsteinium (252)	100 ***Fm**** Fermium (257)	101 ***Md**** Mendelevium (258)	102 ***No**** Nobelium (259)	103 ***Lr**** Lawrencium (262)

- Hauptgruppe
- Nebengruppe
- Lanthanoide (Metalle)
- Actinoide (Metalle)
- Metalle
- Halbmetalle
- Nichtmetalle

EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Tabellen zur Chemie und Analytik

in Ausbildung, Studium und Beruf

16. aktualisierte und erweiterte Auflage

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

Europa-Nr.: 27016

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

Autoren der früheren Auflagen:

Dr. Ulrich Hübschmann
Dr. Erwin Links
Dr. Erich Hitzel

Verlagslektorat: Dr. Astrid Grote-Wolff
Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

16. Auflage 2024
Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-8794-2

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

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Daniela Schreuer, 78224 Singen
Umschlag: braunwerbeagentur, Radevormwald
Umschlagfoto: © totojang1977 – shutterstock.com
Druck: Plump Druck und Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Die bewährte Datensammlung **Tabellen zur Chemie und Analytik in Ausbildung, Studium und Beruf** enthält übersichtlich und kompakt die wichtigsten Daten und Formeln aus den Bereichen Chemie, chemische Analytik, instrumentelle Analytik, Strukturaufklärung, Physik und statistische Beurteilung von Messwerten.

Die Kapitel zur instrumentellen Analytik wurden für die **16. Auflage** gründlich überarbeitet und mit vielen Informationen zu chromatografischen Trennverfahren, spektroskopischen und spektrometrischen Verfahren, Massenspektrometrie und Strukturaufklärung deutlich erweitert.

Das Buch kann während des Unterrichts sowie in Vorlesungen, Übungen, Praktika und Prüfungen zum zügigen Recherchieren von Fachinformationen genutzt werden. Dadurch bedingt ist das Tabellenbuch nicht nur eine große Hilfe für **Auszubildende in Laborberufen**, sondern es dient auch im **Studium** der Naturwissenschaften und im **Berufsalltag** als aktuelles und leicht handhabbares Nachschlagewerk.

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

Winter 2023/2024 Autoren und Verlag

1 Chemische Elemente 4

1.1 Periodensystem der Elemente ... 4
1.2 Tafel der Elemente ... 4
1.3 Natürliche und wichtige künstliche Nuklide ... 7

2 Größen und Einheiten 11

2.1 Größen und Größenzeichen, Einheiten und Einheitenzeichen ... 11
2.2 Konstanten ... 16
2.3 Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten ... 16

3 Größengleichungen 17

3.1 Mechanik und Technik ... 17
3.2 Kalorik, Thermodynamik ... 17
3.3 Elektrizitätslehre ... 19
3.4 Gase ... 20
3.5 Physikalisch-chemische/technische Gleichungen 21
3.6 Lösungen ... 22
3.7 Stöchiometrie ... 23
3.8 Gravimetrie ... 23
3.9 Volumetrie ... 24
3.10 Chemisches Gleichgewicht und pH-Wert ... 25
3.11 Elektrochemie ... 26
3.12 Spektroskopie und Spektrometrie ... 27
3.13 Massenspektrometrie ... 28
3.14 Infrarot-Spektroskopie ... 30
3.15 NMR-Spektroskopie ... 30
3.16 Chromatografie ... 32
3.17 Reaktionskinetik ... 34
3.18 Statistische Beurteilung von Messwerten ... 35

4 Wärmelehre 38

4.1 Wärmeausdehungskoeffizienten ... 38
4.2 Kalorische Daten von Gasen ... 39
4.3 Kalorische Daten von Metallen ... 40
4.4 Temperaturabhängigkeit der Dichte von Wasser . 40
4.5 Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks von Wasser ... 41
4.6 Bildungsenthalpien ... 41

5 Elektrizitätslehre 42

5.1 Spezifischer Widerstand ... 42
5.2 Temperaturabhängigkeit des Widerstands ausgewählter Leiter ... 43
5.3 Elektrochemische Äquivalentmassen ... 43

6 Gleichgewichtskonstanten 44

6.1 Säurekonstanten ... 44
6.2 Basenkonstanten ... 46
6.3 Löslichkeitsprodukte ... 47
6.4 Komplexbildungkonstanten ... 48
6.5 *Nernst* sche Verteilungskoeffizienten ... 49

7 Gravimetrische Faktoren 50

8 Volumetrie (Maßanalyse) 51

8.1 Neutralisationstitration (Säure-Base-Titration) ... 51
8.2 Äquivalentmassen bei Neutralisationstitrationen (Acidimetrie) ... 52
8.3 Äquivalentmassen bei Fällungstitrationen (Argentometrie) ... 52
8.4 Äquivalentmassen bei komplexometrischen Titrationen ... 53
8.5 Äquivalentmassen bei Redoxtitrationen ... 54

9 Elektrochemie 55

9.1 Leitfähigkeit von Kaliumchlorid-Standard-lösungen bei 25 °C ... 55
9.2 Molare Leitfähigkeiten von Elektrolyten ... 55
9.3 Ionenäquivalentleitfähigkeit ... 56
9.4 Normalpotentiale ... 56

10 Spektrometrie (Fotometrie, AAS, ICP-OES, ICP-MS, RFA) 58

10.1 Fotometrie ... 58
10.2 Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) ... 58
10.3 Optische Emissionsspektrometrie (OES) ... 60
10.4 ICP-Massenspektrometrie ... 61
10.5 Röntgenfluoreszenz ... 62

11 Chromatografie (DC, GC, HPLC) 63

11.1 Elutrope Reihe der Lösemittel nach *Trappe* ... 63
11.2 Elutrope Reihe der Lösemittel nach *Snyder* ... 63
11.3 Mischbarkeit von Lösemitteln ... 64
11.4 Dünnschichtchromatografie ... 65
11.5 Gaschromatografie ... 66
11.6 Hochdruckflüssigchromatografie (HPLC) ... 68

12 Strukturaufklärung (NMR, IR, MS) 70

12.1 NMR-Spektroskopie ... 70
12.2 Infrarotspektroskopie ... 74
12.3 Massenspektrometrie ... 75

13 Physikalisch-chemische/technische Daten 78

13.1 Wichtige radioaktive Nuklide ... 78
13.2 Kennzahlen von Wasser ... 78
13.3 Kennzahlen ausgewählter wässriger Lösungen bei 20 °C ... 80
13.4 Dynamische Viskositäten ... 82
13.5 Brennwerte (Verbrennungsenthalpien) ... 82
13.6 Explosionsgrenzen von Gas-Luft-Gemischen ... 83
13.7 Azeotrop siedende Gemische ... 84

14 Lösemittel, Lösungen und Gase 85

14.1 Löslichkeit von Feststoffen und Gasen in Wasser . 85
14.2 Datenübersicht für Lösemittel ... 86
14.3 Molale Gefriertemperaturerniedrigungen und Siedetemperaturerhöhungen ... 88
14.4 *Van-der-Waals*-Faktoren für die Gleichung realer Gase ... 88

15 Molare Massen ausgewählter Verbindungen 89

Anhang 92

Sachwortverzeichnis 94

Exakte Atommassen und Häufigkeiten der Nuklide nach chemischen Symbolen alphabetisch sortiert

Symbol	Masse in *u*	Häufigkeit in %
Ag(107)	106,905095	51,84
Ag(109)	108,904754	48,16
Al(27)	26,981541	100
Ar(36)	35,967546	0,34
Ar(38)	37,962732	0,063
Ar(40)	39,962383	99,6
As(75)	74,921596	100
Au(197)	196,96656	100
B(10)	10,012938	19,8
B(11)	11,009305	80,2
Ba(130)	129,906277	0,11
Ba(132)	131,905042	0,1
Ba(134)	133,90449	2,42
Ba(135)	134,905668	6,59
Ba(136)	135,904556	7,85
Ba(137)	136,905816	11,23
Ba(138)	137,905236	71,7
Be(9)	9,012183	100
Bi(209)	208,980388	100
Br(79)	78,918336	50,69
Br(81)	80,91629	49,31
C(12)	12	98,9
C(13)	13,003355	1,1
Ca(40)	39,962591	96,95
Ca(42)	41,958622	0,65
Ca(43)	42,95877	0,14
Ca(44)	43,955485	2,086
Ca(46)	45,953689	0,004
Ca(48)	47,952532	0,19
Cd(106)	105,906461	1,25
Cd(108)	107,904186	0,89
Cd(110)	109,903007	12,49
Cd(111)	110,904182	12,8
Cd(112)	111,902761	24,13
Cd(113)	112,904401	12,22
Cd(114)	113,903361	28,73
Cd(116)	115,904758	7,49
Ce(136)	135,90714	0,19
Ce(138)	137,905996	0,25
Ce(140)	139,905442	88,48
Ce(142)	141,909249	11,08
Cl(35)	34,968853	75,77
Cl(37)	36,965903	24,23
Co(59)	58,933198	100
Cr(50)	49,946046	4,35
Cr(52)	51,94051	83,79
Cr(53)	52,940651	9,5

Symbol	Masse in *u*	Häufigkeit in %
Cr(54)	53,938882	2,36
Cs(133)	132,905433	100
Cu(63)	62,929599	69,17
Cu(65)	64,927792	30,83
Dy(156)	155,924287	0,06
Dy(158)	157,924412	0,1
Dy(160)	159,925203	2,34
Dy(161)	160,926939	18,9
Dy(162)	161,926805	25,5
Dy(163)	162,928737	24,9
Dy(164)	163,929183	28,2
Er(162)	161,928787	0,14
Er(164)	163,929211	1,61
Er(166)	165,930305	33,6
Er(167)	166,932061	22,95
Er(168)	167,932383	26,8
Er(170)	169,935476	14,9
Eu(151)	150,91986	47,8
Eu(153)	152,921243	52,2
F(19)	18,998403	100
Fe(54)	53,939612	5,8
Fe(56)	55,934939	91,72
Fe(57)	56,935396	2,2
Fe(58)	57,933278	0,28
Ga(69)	68,925581	60,1
Ga(71)	70,924701	39,9
Gd(152)	151,919803	0,2
Gd(154)	153,920876	2,18
Gd(155)	154,822629	14,8
Gd(156)	155,92213	20,47
Gd(157)	156,923967	15,65
Gd(158)	157,924111	24,84
Gd(160)	159,927061	21,86
Ge(70)	69,92425	20,5
Ge(72)	71,92208	27,4
Ge(73)	72,923464	7,8
Ge(74)	73,921179	36,5
Ge(76)	75,921403	7,8
H(1)	1,007825	99,99
H(2)	2,014102	0,015
He(3)	3,016029	0,0001
He(4)	4,002603	99,9999
Hf(174)	173,940065	0,16
Hf(176)	175,94142	5,2
Hf(177)	176,943233	18,6
Hf(178)	177,94371	27,1
Hf(179)	178,945827	13,74

Symbol	Masse in *u*	Häufigkeit in %
Hf(180)	179,946561	35,2
Hg(196)	195,965812	0,15
Hg(198)	197,96676	10,1
Hg(199)	198,968269	17,0
Hg(200)	199,968316	23,1
Hg(201)	200,970293	13,2
Hg(202)	201,970632	29,65
Hg(204)	203,973481	6,8
Ho(165)	164,930332	100
I(127)	126,904477	100
In(113)	112,904056	4,3
In(115)	114,903875	95,7
Ir(191)	190,960603	37,3
Ir(193)	192,962942	62,7
K(39)	38,963708	93,2
K(40)	39,963999	0,012
K(41)	40,961825	6,73
Kr(78)	77,920397	0,35
Kr(80)	79,916375	2,25
Kr(82)	81,913483	11,6
Kr(83)	82,914134	11,5
Kr(84)	83,911506	57,0
Kr(86)	85,910614	17,3
La(138)	137,907114	0,09
La(139)	138,906355	99,91
Li(6)	6,015123	7,42
Li(7)	7,016005	92,58
Lu(175)	174,940785	97,4
Lu(176)	175,942694	2,6
Mg(24)	23,985045	78,9
Mg(25)	24,985839	10,0
Mg(26)	25,982595	11,1
Mn(55)	54,938046	100
Mo(100)	99,907473	9,63
Mo(92)	91,906809	14,84
Mo(94)	93,905086	9,25
Mo(95)	94,905838	15,92
Mo(96)	95,904676	16,68
Mo(97)	96,906018	9,55
Mo(98)	97,905405	24,13
N(14)	14,003074	99,63
N(15)	15,000109	0,37
Na(23)	22,98977	100
Nb(93)	92,906378	100
Nd(142)	141,907731	27,13
Nd(143)	142,909823	12,18
Nd(144)	143,910096	23,8

3.9 Volumetrie

	Größe, Gesetz	Größengleichung, Hinweise	Bemerkungen, Beispiele
103	Titer einer Maßlösung	$t = \frac{c(\text{MS})}{c_S(\text{MS})}$	MS: Maßsubstanz, gelöst in Maßlösung ML c(MS): Ist-Konzentration c_S(MS): Soll-Konzentration
104	Aliquotierfaktor	$F_A = \frac{V_{\text{Ausgangslösung}}}{V_{\text{VL}}}$	VL: Vorlage mit Analyt X
105	Ergebnis einer Titration für $\frac{n(\text{X})}{n(\text{MS})} = \frac{1}{2}$	$n_{\text{VL}}(\text{X}) = c(\text{MS}) \cdot V_{\text{ÄP}}(\text{ML})$ $c(\text{X}) \cdot V_{\text{VL}}(\text{X}) = c(\text{MS}) \cdot V_{\text{ÄP}}(\text{ML})$ $c(\text{X}) \cdot V_{\text{VL}}(\text{X}) = c_S(\text{MS}) \cdot t(\text{ML}) \cdot V_{\text{ÄP}}(\text{ML})$ $m(\text{X}) = V(\text{ML}) \cdot t(\text{ML}) \cdot m_{\text{eq}}$	X: Analyt ÄP: Äquivalenzpunkt ML: Maßlösung m_{eq}: maßanalytische Äquivalentmasse, Masse des Analyten, die von 1 mL Maßlösung angezeigt wird In anderen Fällen sind die entsprechenden Stoffmengenverhältnisse einzusetzen, z. B.: $H_2SO_4 + 2\ NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2\ H_2O$ $\frac{n(H_2SO_4)}{n(\text{NaOH})} = \frac{1}{2}$ $c(H_2SO_4) \cdot V_{\text{VL}}(H_2SO_4) = \frac{1}{2} \cdot c(\text{NaOH}) \cdot V_{\text{ÄP}}(\text{NaOH})$
	Rücktitration		n_0(MS): Ausgangsstoffmenge (vorgelegte Stoffmenge) n_x(MS): durch den Titrator bei der Rücktitration verbrauchte Stoffmenge n_R(MS): durch Rücktitration ermittelte Stoffmenge (Analyt) n_{BW}(MS): für Blindwert verbrauchte Stoffmenge
106	ohne Blindwertbestimmung	$n_0(\text{MS}) = n_X(\text{MS}) + n_R(\text{MS})$	
107	mit Blindwertbestimmung	$n_0(\text{MS}) = n_X(\text{MS}) + n_R(\text{MS}) + n_{\text{BW}}(\text{MS})$	
108	bei der Blindwertbestimmung	$n_0(\text{MS}) = n_R(\text{MS}) + n_{\text{BW}}(\text{MS})$	
Technische Kennzahlen aus volumetrischen Analysen			
109	Säurezahl SZ	$\text{SZ} = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Probe})}$	Angabe in mg KOH pro g Fett
110	Verseifungszahl VZ	$\text{VZ} = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Probe})}$	Angabe in mg KOH pro g Fett
111	Esterzahl EZ	$\text{EZ} = \text{VZ} - \text{SZ}$	
112	Hydroxylzahl OHZ	$\text{OHZ} = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Probe})}$	Angabe in mg KOH pro g Fett
113	Iodzahl IZ	$\text{IZ} = \frac{m(\text{Iod})}{m(\text{Probe})}$	Angabe in g Iod pro 100 g Fett

	Größe, Gesetz	Größengleichung, Hinweise	Bemerkungen, Beispiele
133	Molare Leitfähigkeit und Konzentration (Quadratwurzelgesetz nach *F. Kohlrausch*)	$\Lambda = \Lambda_0 - A\sqrt{c(\mathrm{X})}$	A: Konstante, die von der Wertigkeit des Elektrolyten abhängt $c(\mathrm{X})$: Elektrolytkonzentration
134	Beziehung zwischen Dissoziationsgrad und molarer Leitfähigkeit	$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda_0}$	
135	Ionenstärke	$I_\mathrm{b} = \frac{1}{2}\sum b(\mathrm{X}) \cdot z^2(\mathrm{X})$	$b(\mathrm{X})$: Molalität der Ionensorte X $z(\mathrm{X})$: Ladungszahl des Ions
136	Elektrochemisches Potential *Nernst*sche Gleichung	$E = E_0 + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln a(\mathrm{X})$ $E = E_0 + \frac{0{,}059\,\mathrm{V}}{z} \cdot \lg a(\mathrm{X})$ $E = E_0 + \frac{0{,}059\,\mathrm{V}}{z} \cdot \lg \frac{a(\mathrm{Ox})}{a(\mathrm{Red})}$	E_0: Normalpotential in Volt R: Gaskonstante T: thermodynamische Temperatur z: Ladungszahl des Ions F: *Faraday*-Konstante $a(\mathrm{X})$: Aktivität des Ions X Ox: oxidierte Form Red: reduzierte Form

3.12 Spektroskopie und Spektrometrie

137	*Planck*sches Strahlungsgesetz	$E = h \cdot f$	E: Lichtenergie f: Frequenz h: *Planck*-Konstante, $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$
138	Wellenlänge und Frequenz	$c = \lambda \cdot f$	c: Lichtgeschwindigkeit $c = 3{,}00 \cdot 10^8\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ λ: Wellenlänge
139	Wellenlänge und Wellenzahl	$\lambda = \frac{1}{\tilde{\nu}}$	$\tilde{\nu}$: Wellenzahl, sprich „nü Tilde“
140	Strahlungsleistung Bestrahlungsstärke	Φ_e $E_\mathrm{e} = \frac{\Phi_\mathrm{e}}{A}$	Φ_e: Strahlungsleistung in W; auch gebräuchlich Intensität A: Fläche in m^2
141	Extinktion (Absorbance)	$A = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi} = \lg \frac{I_0}{I} = -\lg \tau$ Auch Formelzeichen E	Φ_0: Intensität der einfallenden Strahlung; auch I_0 Φ: Intensität der austretenden Strahlung; auch I
142	Transmissionsgrad Transmission	$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{I}{I_0}$ $T = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100\,\% = \frac{I}{I_0} \cdot 100\,\%$	

	Größe, Gesetz	Größengleichung, Hinweise	Bemerkungen, Beispiele
172	Magnetisches Moment	$\mu = \gamma \cdot p$	γ: gyromagnetisches Verhältnis
173	Aufspaltung der Energieniveaus für $I = ½$ im Magnetfeld (*Zeeman*-Effekt)	$\Delta E = \frac{h}{2\pi} \cdot \gamma \cdot B_0$ $\Delta E = h \cdot f$ $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \lvert\gamma\rvert \cdot B_0$	B_0: Stärke des äußeren Magnetfelds f: Resonanzfrequenz (*Larmor*-Frequenz) $\lvert\gamma\rvert$: Betrag des gyromagnetischen Verhältnisses
174	Effektiv am Kern wirkendes Magnetfeld	$B_{eff} = B_0 - \sigma \cdot B_0$	B_0: Stärke des äußeren Magnetfelds σ: Abschirmungskonstante
175	Resonanzfrequenz unter Berücksichtigung der Abschirmung	$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \lvert\gamma\rvert \cdot B_0 \cdot (1 - \sigma)$	
176	Chemische Verschiebung	$\delta(X) = \frac{\Delta f}{f_{Mess}} \cdot 10^6$	Δf: Verschiebung der Resonanzfrequenz eines ^{1}H- oder ^{13}C-Kerns X eines Moleküls relativ zur Resonanzfrequenz der ^{1}H- oder ^{13}C-Kerne von Tetramethylsilan f_{Mess}: Messfrequenz des NMR-Geräts Einheit von $\delta(X)$: ppm
177	Besetzungsunterschied, *Boltzmann*-Verteilung	$\frac{N_{(m=-½)}}{N_{(m=+½)}} = e^{-\frac{\Delta E}{k \cdot T}}$	k: *Boltzmann*-Konstante $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ J \cdot K^{-1}$ T: thermodyn. Temperatur m: Magnetquantenzahl $N_{(m=-½)}$: Anzahl der Kerne im angeregten Zustand $N_{(m=+½)}$: Anzahl der Kerne im Grundzustand
178	Multiplizitätsregel für koppelnde Kerne bei Spektren 1. Ordnung	Multiplizität(A) $= 2 \cdot I(B) \cdot n(B) + 1$ Multiplizität(B) $= 2 \cdot I(A) \cdot n(A) + 1$ Für ^{1}H, ^{13}C und ^{19}F gilt $I = ½$ und damit: Multiplizität(A) $= n(B) + 1$ Multiplizität(B) $= n(A) + 1$	n: Anzahl der koppelnden Nachbarkerne I: Kernspinquantenzahl der koppelnden Nachbarkerne Multiplizität: Aufspaltung der Bande des Kerns (s. *Pascal*sches Dreieck, S. 73)
179	Kopplungskonstante	$J = \Delta\delta \cdot \frac{f_{Mess}}{10^6}$	$\Delta\delta$: Linienabstand innerhalb eines Multipletts in ppm f_{Mess}: Messfrequenz, z. B. 300 MHz Einheit von J: Hz
180	Kriterium für Spektren 1. Ordnung bei ^{1}H-NMR	$Q = \frac{\lvert f(A) - f(B)\rvert}{J_{AB}}$ $Q > 10$: Spektrum 1. Ordnung $Q < 10$: Spektrum höherer Ordnung	A, B: Protonensorte f: Resonanzfrequenz J_{AB}: Kopplungskonstante der Protonen A und B

8.4 Äquivalentmassen bei komplexometrischen Titrationen

Titrationsmethoden:
D: direkte Titration
R: Rücktitration
S: Substitutionstitration
I: indirekte Titration

Ausgewählte Indikatoren:
ET: Eriochromschwarz T
XO: Xylenolorange
PP: Phthaleinpurpur
CC: Calconcarbonsäure
PN: PAN, 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol
PR: PAR, 4-(2-Pyridylazo)resorcin
PI: Tiron
DN: 3,3′-Dimethylnaphtidin
MT: Methylthymolblau

EDTA									c(EDTA) = 0,0200 mol · L^{-1}
Analyt	**Methode, Indikator**	**m_{eq} in mg · mL^{-1}**		**Analyt**	**Methode, Indikator**	**m_{eq} in mg · mL^{-1}**		**Analyt**	**Methode, Indikator**	**m_{eq} in mg · mL^{-1}**
Ag^+	S, ET	2,157		Cd^{2+}	D, PN	2,248		Na^+	I, DN	0,4598
Al^{3+}	S, XO	0,5396		Co^{2+}	R, ET	1,179		Ni^{2+}	R, ET	1,174
As(III, V)	S, ET	1,498		Cu^+, Cu^{2+}	D, PR	1,271		Pb^{2+}	D, MT	4,144
Au^+, Au^{3+}	S, ET	3,940		Fe^{2+}, Fe^{3+}	D, PI, XO	1,117		Sb(III, V)		2,436
Ba^{2+}	D, PP	2,746		Hg^+, Hg^{2+}	D, ET, XO	4,012		Tl^+, Tl^{3+}	D, PN	4,088
Bi^{3+}	D, XO	4,180		Mg^{2+}	D, ET	0,4862		Zn^{2+}	D, DN	1,308
Ca^{2+}	D, CC	0,8016		Mn^{2+}	D, ET	1,099				

Anionen werden durch Rücktitration mit EDTA indirekt bestimmt.

EDTA			c(EDTA) = 0,0200 mol · L^{-1}
Analyt	**Reaktion Analyt/Hilfsstoff**	**Rücktitration**	**m_{eq} in mg · mL^{-1}**
Br^-	$Br^- + Ag^+ \rightarrow AgBr$ [1])	Ag^+ / EDTA	1,598
Cl^-	$2\,Cl^- + Hg^{2+} \rightarrow HgCl_2$ [2])	Hg^+ / EDTA	1,418
CN^-	$4\,CN^- + Ni^{2+} \rightarrow [Ni(CN)_4]^{2-}$ [2])	Ni^{2+} / EDTA	2,082
F^-	$2\,F^- + Ca^{2+} \rightarrow CaF_2$ [1])	Ca^{2+} / EDTA	0,7600
I^-	$I^- + Ag^+ \rightarrow AgI$ [1])	Ag^+ / EDTA	2,538
MoO_4^{2-}	$MoO_4^{2-} + Pb^{2+} \rightarrow PbMoO_4$ [1]) [3])	Pb^{2+} / EDTA	3,200
PO_4^{3-}	$PO_4^{3-} + Mg^{2+} + NH_4^+ \rightarrow Mg(NH_4)PO_4$ [1])	Mg^{2+} / EDTA / $ZnSO_4$	1,899
P_2O_5	$Mg(NH_4)PO_4 \cdot 6\,H_2O$ [1])		1,419
SO_4^{2-}	$SO_4^{2-} + Ba^{2+} \rightarrow BaSO_4$ [1])	Ba^{2+} / EDTA / $ZnSO_4$	1,921

[1]) schwer löslich [2]) wenig dissoziiert [3]) Titration mit Indikator PAR

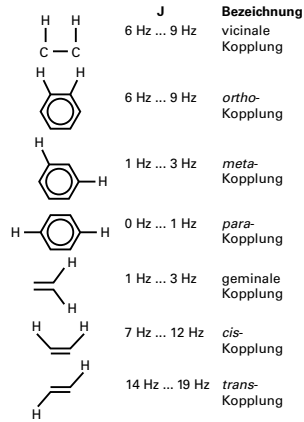
Indikatoren für komplexometrische Titrationen

Kurzname	pH-Bereich	Farbumschlag	Typische Analyte
Xylenolorange	0 … 6	gelb → rot	Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, In, Pb, Sc, Th, Ti(III), Tl, V(V), Zn, Zr, seltene Erden
Eriochromschwarz T	7 … 11	rot → blau	Al, Ba, Ca, Cd, In, Mg, Mn, Pb, Sc, Sr, Zn, Zr, seltene Erden
Calconcarbonsäure	> 12	weinrot → blau	Selektiv für Ca in Gegenwart von Mg
Murexid	9 … 11	rotviolett → blauviolett	Ni, Co, Cu, Ca

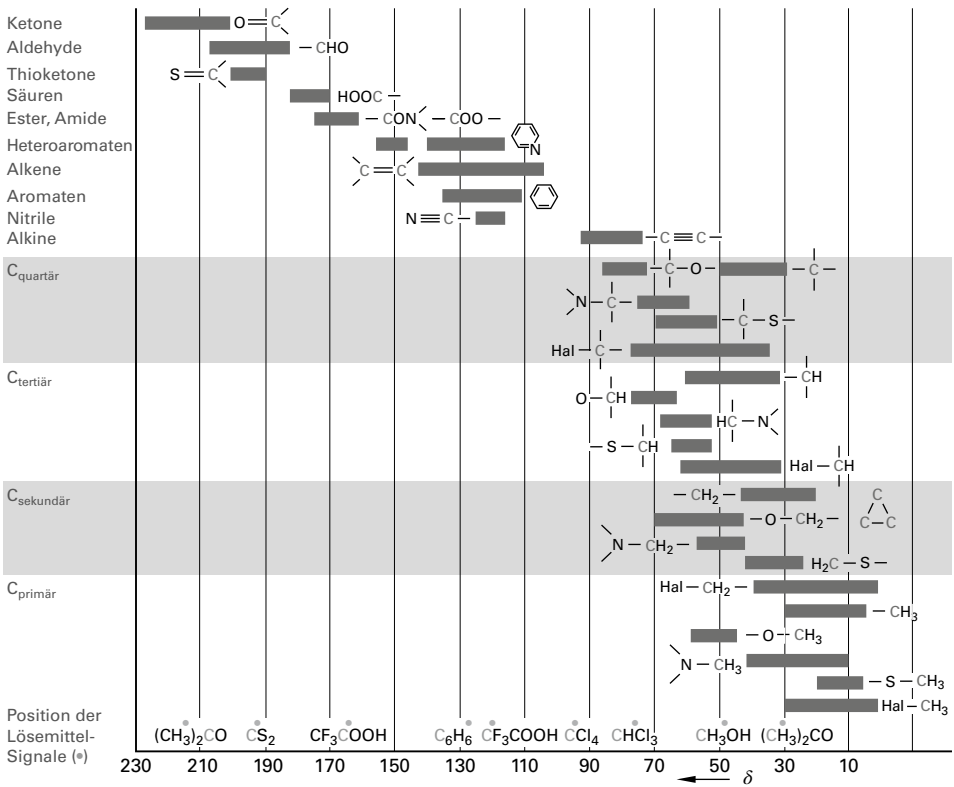
Multiplizitätsregel für ^{1}H-NMR-Spektren 1. Ordnung und typische ^{1}H-NMR-Kopplungskonstanten

n: **Anzahl der koppelnden Nachbarprotonen** *J*: **Kopplungskonstante**

n	Aufspaltung *n* + 1	Nomenklatur	Abkürzung	Intensitätsverteilung (Pascalsches Dreieck)
0	1	Singulett	s	1
1	2	Dublett	d	1 1
2	3	Triplett	t	1 2 1
3	4	Quartett	q	1 3 3 1
4	5	Quintett	quint	1 4 6 4 1
5	6	Sextett	sext	1 5 10 10 5 1
6	7	Septett	sept	1 6 15 20 15 6 1
7	8	Oktett	oct	1 7 21 35 35 21 7 1
8	9	Nonett	non	1 8 28 56 70 56 28 8 1
9	10	Dezett	dez	1 9 36 84 126 126 84 36 9 1



Chemische Verschiebungen in der ^{13}C-NMR-Spektroskopie



13 Physikalisch-chemische/technische Daten

13.1 Wichtige radioaktive Nuklide

OZ: **Ordnungszahl**, Protonenzahl
A: **Nukleonenzahl** (Anzahl der Neutronen und Protonen)
$T_{1/2}$: **Halbwertszeit**
a: **Jahr** (lat.: annus) d: **Tag** (lat.: dies)
h: **Stunde** (lat.: hora) m: **metastabil**
α: **Alpha-Zerfall**, Emission von Alphateilchen (Heliumkerne $^{4}_{2}He^{2+}$)
β: **Beta-Zerfall**, Emission von Elektronen (β^-) oder Positronen (β^+)
γ: **Gamma-Zerfall**, Emission von Photonen
IT: **interner Übergang**, Emission von Photonen (engl.: internal (isomeric) transition)
ε: **Elektroneneinfang**, Absorption von Elektronen (engl.: electron capture)

Element	OZ	*A*	Häufigkeit	$T_{1/2}$	Zerfall
H (T)	1	3	Spuren	12,32 a	^{3}He, β^-
C	6	14	Spuren	5730 a	^{14}N, β^-
F	9	18	Spuren	109,7 min	^{18}O, β^+ (97 %), ε (3 %)
Co	27	60	Spuren	5,27 a	^{60}Ni, β^-, γ
Y	39	90	künstlich	2,7 d	^{90}Zr, β^-, γ
Tc	43	99 (m)	künstlich	6,01 h	^{99}Tc, IT, γ, ^{99}Ru, β^-, γ
I	53	123 124 125 131	künstlich künstlich künstlich künstlich	13 h 4,176 d 59,40 d 8,02 d	^{123}Te, β^+ ^{124}Te, ε ^{125}Te, ε ^{131}Xe, β^-, γ
Cs	55	137	künstlich	30,08 a	^{137}Ba, β^-, γ
Rn	86	222	Spuren	3,82 d	^{218}Po, α
U	92	233 234 235 238	Spuren 0,005 % 0,72 % > 99 %	$1{,}592 \cdot 10^5$ a $2{,}455 \cdot 10^5$ a $7{,}04 \cdot 10^8$ a $4{,}468 \cdot 10^9$ a	^{229}Th, α ^{230}Th, α ^{231}Th, α ^{238}Pu, β^-
Pu	94	238 239 240 241	Spuren Spuren Spuren künstlich	87,74 a $2{,}41 \cdot 10^4$ a 6561 a 14,33 a	^{234}U, α ^{235}U, α ^{236}U, α ^{241}Am, β^-

13.2 Kennzahlen von Wasser

Kennzahl		H_2O	HDO	D_2O	T_2O
Molare Masse	M	$18{,}0153\ g \cdot mol^{-1}$	$19{,}0214\ g \cdot mol^{-1}$	$20{,}0276\ g \cdot mol^{-1}$	$22{,}0315\ g \cdot mol^{-1}$
Volumen, molares	$V_{m,l}$	$18{,}0685\ cm^3 \cdot mol^{-1}$ (25 °C)	$18{,}101\ cm^3 \cdot mol^{-1}$ (25 °C)	$18{,}1331\ cm^3 \cdot mol^{-1}$ (25 °C)	$18{,}1549\ cm^3 \cdot mol^{-1}$ (25 °C)
Dichte (1013,25 mbar)	ϱ_s ϱ_l ϱ_g	$0{,}91672\ g \cdot mL^{-1}$ (0 °C) $0{,}998207\ g \cdot mL^{-1}$ (20 °C) $0{,}598\ g \cdot L^{-1}$ (100 °C)	 $1{,}054\ g \cdot mL^{-1}$ (20 °C)	$1{,}0175\ g \cdot mL^{-1}$ (3,82 °C) $1{,}1056\ g \cdot mL^{-1}$ (20 °C)	 $1{,}2138\ g \cdot mL^{-1}$ (20 °C)
Schmelztemperatur (1013,25 hPa)	ϑ_m	0,002519 °C	2,04 °C	3,82 °C	4,48 °C
Siedetemperatur (1013,25 hPa)	ϑ_b	99,98 °C	100,7 °C (HDO) 100,8 °C (HTO)	101,40 °C	101,51 °C
Tripelpunkt (6,09 mbar)		0,010 °C = 273,16 K	2,04 °C =275,19 K	3,82 °C = 276,969 K	4,49 °C = 277,64 K
pH-Wert (Neutralpunkt)		6,998 (25 °C)	7,266 (25 °C)	7,44 (25 °C)	7,46 (HTO, 25 °C)
Diffusionskoeffizient, translationaler	D	$0{,}2299 \cdot 10^{-20}\ m^2 \cdot ps^{-1}$ (25 °C)	$0{,}234 \cdot 10^{-20}\ m^2 \cdot ps^{-1}$ (25 °C)	$0{,}2109 \cdot 10^{-20}\ m^2 \cdot ps^{-1}$ (25 °C)	$0{,}244 \cdot 10^{-20}\ m^2 \cdot ps^{-1}$ (HTO, 25 °C)