



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 | 9,171 | 11,878 | 14,512 | 19,384 | 24,786 | | 40 |
| | f | 0,76 | 0,69 | 0,46 | 0,37 | 0,27 | | | 0,17 | | 0,11 | | |
| 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 |