

## VII. ANHANG

---

### 1. Literaturverzeichnis

- [1] C. E. Mortimer, „*Chemie*“, 5. Auflage, Thieme, Stuttgart (1987)
- [2] A. F. Holleman, E. + N. Wiberg, „*Lehrbuch der Anorganischen Chemie*“, 22. Auflage, de Gruyter, Berlin (1985)
- [3] H. R. Christen, „*Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie*“, 9. Auflage, Sauerländer, Frankfurt (1988)
- [4] J. A. Campbell, „*Allgemeine Chemie*“, 2. Auflage, VCH, Weinheim (1985)
- [5] International Union of Pure and Applied Chemistry: Chemical Data Series Vol. 21: E. Högefeldt, „*Stability Constants of Metal-Ion Complexes*“, Part A: „*Inorganic Ligands*“, Oxford (1982), Part B: „*Organic Ligands*“, Oxford (1979)
- [6] International Series of Monographs in Analytical Chemistry Bol. 51: E. Bishop, „*Indicators*“, Pergamon Press, Oxford (1972)
- [7] R. K. Müller, R. Keese, „*Grundlagen der präparativen organischen Chemie*“, 4. Auflage, Juris Druck, Zürich (1988)
- [8] Die chemische Analyse Bd 45: G. Schwarzenbach, H. Flaschka, „*Die komplexometrische Titration*“, 5. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart (1965)
- [9] Siegfried AG, „*Komplexon*“, Deutsche Ausgabe, Zofingen (1977)
- [10] E. Fluck, M. Becke-Goehring, „*Einführung in die Theorie der quantitativen Analyse*“, 7. Auflage, Steinkopff Verlag, Darmstadt (1990)
- [11] Handbook of Chemistry and Physics, 60th Ed., CRC Press, London (1979-80)
- [11a] Handbook of Chemistry and Physics, 74th Ed., CRC Press, London (1993-94)
- [12] G. Jander, E. Blasius, „*Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie*“, 10. Auflage, S. Hirzel Verlag, Stuttgart (1976)
- [13] F.A.Cotton; G. Wilkinson, „*Anorganische Chemie*“, 4. Auflage, (1985)
- [14] A. F. Holleman, E. Wiberg, „*Lehrbuch der Anorganischen Chemie*“, 101. Auflage; Berlin-New York (1995)

## 2. Schreiben der Berichte

Das Schreiben des ausführlichen Laborberichts ist ein wesentlicher Teil des Praktikums. Einerseits soll dadurch das Verständnis der durchgeführten Versuche vertieft werden, andererseits ist das Berichteschreiben eine wichtige Tätigkeit für jeden Wissenschaftler (Präsentation der Resultate). In diesem Praktikum wird deshalb grosses Gewicht auf gut organisierte, verständliche und vollständige Berichte, inklusive sauber geführtes Laborjournal gelegt. Das Schreiben der Berichte und des Laborjournals ist Testatpflicht. Da die Berichte vom/von der Assistenten/in korrigiert werden, bilden sie auch eine gute Möglichkeit, unbeantwortete Fragen anzuschneiden; dies ist eine der wenigen Möglichkeiten der Studierenden, ein „Feedback“ zu erhalten.

Zu einem Versuch/einer Versuchsreihe soll ein ausführlicher Bericht geschrieben werden. Grundlage für den Bericht ist vor allem das **Laborjournal**, in dem alle Teilschritte eines Experimentes notiert sind (Beobachtungen wie Farbänderungen, Wärmeentwicklung etc. aber auch sämtliche Wägungen und Messungen). Als Hilfsmittel können auch die Praktikumsanleitung und Bücher beigezogen werden. Wichtig ist aber, dass der Bericht das Experiment so beschreibt, wie es vom Studierenden tatsächlich durchgeführt wurde, und nicht, wie es hätte durchgeführt werden sollen!

Ein vollständiger Bericht soll folgende Punkte enthalten:

- Datum
- Versuchsnummer
- Titel (Produktname, Bezeichnung der Methode etc.)
- evtl. Literaturhinweise
- Kurze Diskussion der angewandten Theorie resp. Diskussion der Synthesemethode.
- Sämtliche Reaktionsgleichungen sind vollständig aufzustellen. Bei Redoxreaktionen sind die Oxidationszahlen zuzuordnen, die Halbzellenreaktionen aufzustellen, Halbzellenpotentiale sind wenn möglich anzugeben.

- Sämtliche Mengen sollen angegeben werden. Besonders bei synthetischen Versuchen sollen auch die jeweils eingesetzten Anzahl Mol Substanz vermerkt werden. Reaktionsbedingungen (Temperatur, Reaktionszeit etc.) sind exakt anzugeben. Die Herkunft und Reinheit der verwendeten Stoffe ist anzugeben, ebenso deren Giftigkeit, Gefährlichkeit etc.
- Verwendete Apparaturen sollen vermerkt und evtl. skizziert werden.
- Bei Synthesen ist eine genaue Beschreibung des Reaktionsablaufs (Farbänderungen, Gasentwicklung, Erwärmung, Niederschlagsbildung etc.) und die Ausbeute ( $\text{Ausbeute} = \frac{[\text{Produkt}]}{[\text{Edukt}]} \cdot 100 \%$ ) anzugeben. Das Produkt soll charakterisiert (Aussehen, Farbe, Schmelz- resp. Siedepunkt etc.) und mit Literaturwerten verglichen werden. Die Molmassen sowohl der Edukte als auch der Produkte sind anzugeben.
- Bei Messungen ist eine Fehlerabschätzung durchzuführen.
- Die Resultate und Erkenntnisse sind ausführlich zu diskutieren.

Sprachlich ist darauf zu achten, dass der Bericht im **Imperfekt / Passiv** gehalten ist. Im Folgenden ist ein Musterbericht angegeben. Dieser soll nur als Hinweis verstanden werden. Jeder Versuch verlangt eine dafür entsprechende Organisation und Darstellung.

Name: \_\_\_\_\_

Labor/Platznummer: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Assistent: \_\_\_\_\_ Unterschrift des Ass.: \_\_\_\_\_

---

---

## Redox-Prozesse in der analytischen Chemie

### Einführung:

Für eine allgemeine Betrachtung siehe Skript und Literatur [1] und [2].

*Nicht mehr als 4-5 Sätze als allgemeine Einführung!!*

### Versuchsziel:

- a) Bestimmung des Wassergehalts von Oxalsäure mittels permanganometrischer Titration
- b) Iodometrische Titration einer Cu(II)-Lösung zur quantitativen Analyse

### Prinzip:

Analysenmethode erklären, Reaktionsgleichungen mit Oxidationszahlen!, Indikator etc.<sup>[1,2]</sup>

*Insgesamt nicht mehr als eine DIN A4 Seite!*

### **Versuchsdurchführung:**

- a) Manganometrie:
- b) Iodometrie:

Detaillierte Beschreibung der Durchführung der Versuche. Genaue Mengenangaben! Der experimentelle Teil ist eine Beschreibung dessen, was Sie selbst *tatsächlich* durchgeführt und beobachtet haben (und kein Lehrbuch und keine allgemeine Vorschrift). Er ist deshalb in der *Vergangenheitsform* zu schreiben. Beschreiben Sie nur, was tatsächlich passiert ist und schreiben Sie nicht einfach ab, was in der Versuchsvorschrift steht.

*Insgesamt nicht mehr als ca. eine DIN A4 Seite.*

### **Versuchsergebnisse und Auswertung:**

Tabellarische Auflistung der verbrauchten Titervolumina, Mittelwertberechnung, eventuell Fehlerabschätzung und Diskussion von Ausreißern, Berechnung 1) des Wassergehalts von Oxalsäure und 2) Angabe der Menge an Cu(II) in der bereitgestellten Lösung. Falls nötig, diskutieren Sie eventuelle Diskrepanzen, fehlgeschlagene Versuche.

*Insgesamt nicht mehr als ca eine DIN A4 Seite.*

### **Literaturangaben:**

- [1] Jander, Jahr, *Massanalyse*, W. de Gruyter, Berlin **1989**
- [2] Jander, Blasius, *Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum*, Hirzel Verlag, Stuttgart, **1995**.

Beachten Sie bitte auch die folgenden formellen Hinweise:

- Das ausführliche Protokoll wird von Ihrem Assistenten mit einer ganzen Note (6 bis 1) bewertet. Diese Note geht mit **10%** in den praktischen Teil des Praktikums ein.

***Wichtig:*** Protokolle werden nur bis eine Woche nach Ende des chemischen Praktikumsteils entgegengenommen! Bitte die zeitliche Gruppeneinteilung beachten.)

- Geben Sie die Protokolle bitte zeitgemäß in gedruckter Fassung ab. Dies ist eine Übung für Ihre weiteren wissenschaftlichen Arbeiten und erleichtert Ihnen überdies die Korrektur der Protokolle. Bitte versehen Sie alle Protokolle mit dem im Musterprotokoll aufgeführten Kopfteil, der als Laufzettel dient und sicherstellt, dass die Protokolle zügig und fristgerecht korrigiert und testiert werden.
- Legen Sie bitte Wert auf korrekte Rechtschreibung und eine wissenschaftliche, prägnante und präzise Ausdrucksweise. Vermeiden Sie Laborjargon und eigene Abkürzungen.
- Bitte lassen Sie auf der linken und rechten Seite mindestens 2.5 cm Platz für Heftung und Korrekturzeichen. Bitte benutzen Sie für den Textkörper einen Schriftgrad von 12 pt.

### 3. Fehlerrechnung

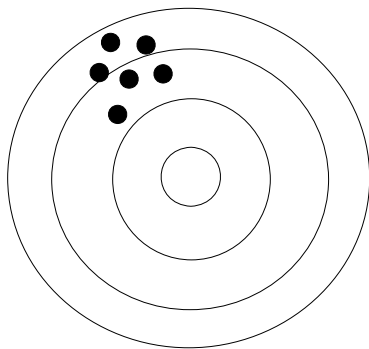
Keine Messung einer beliebigen Grösse  $x$  (Masse, Volumen, Druck, Extinktion etc.) liefert den wahren Wert exakt. Es können zwei Arten von Fehlern auftreten:

- **Systematische Fehler:** Diese Fehler bleiben während einer Messung immer gleich (z.B. eine falsch gehende Uhr, eine nicht auf Null gestellte Waage, eine Pipette, die fälschlicherweise immer ausgeblasen wird). Sie beeinflussen die Richtigkeit eines Resultates und lassen sich nur durch exakte Versuchsplanung und -durchführung vermeiden. Systematische Fehler sind einfach zu behandeln, wenn sie bekannt sind (eine Eichung kann systematische Fehler eliminieren). Man korrigiert die Messwerte und ihre statistischen Fehler entsprechend.

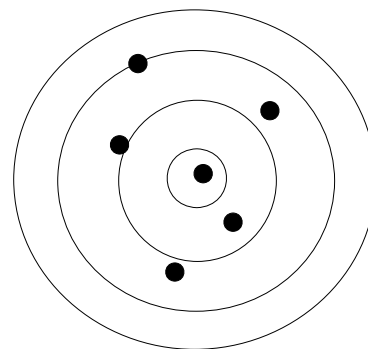
Systematische Fehler beeinflussen die Richtigkeit (accuracy) der Resultate.

- **Zufallsfehler:** Sie lassen sich nicht völlig vermeiden und treten statistisch verteilt auf (häufig können die Fehler durch eine Gauss'sche Fehlerverteilung beschrieben werden), müssen daher mathematisch erfasst werden (z.B. Ableseungenauigkeit bei der Waage).

Zufallsfehler beeinflussen die Präzision (precision) der Resultate.



Präzision gut  
Richtigkeit schlecht



Präzision schlecht  
Richtigkeit gut

Zur Behandlung der Zufallsfehler führt man die Messung mehrfach (möglichst oft,  $N$ -mal) durch und numeriert die Einzelergebnisse  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ). Als Näherung für den wahren Wert  $x$  benutzt man den arithmetischen **Mittelwert**

$$\bar{x} \approx x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Um die zufallsbedingte Streuung der Messwerte zu beschreiben, verwendet man die

empirische **Varianz**: 
$$s_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_i^N (x_i - \bar{x})^2$$

und die

empirische **Standardabweichung** (Standard Deviation SD); sie ist ein Mass für die Streuung der  $x_i$  um  $\bar{x}$ :

$$s_x = \sqrt{s_x^2}$$

Messresultate werden in der Form  $\bar{x} \pm s_x$

angegeben, wobei gleichzeitig die Zahl der Messungen N angegeben werden soll.

Achtung: Taschenrechner meinen mit Fehler nicht immer dasselbe. Ausser  $s_x$  existiert auch der mittlere Fehler des Mittelwertes  $s_{\bar{x}}$  (Mass für die Streuung der Mittelwerte  $\bar{x}$  um den wahren Wert  $x$ ), der folgendermassen definiert ist:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_i^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Mit folgenden Resultaten kann überprüft werden, was der Taschenrechner für Resultate liefert:

Messung i:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wert $x_i$ :	21.5	20.9	22.0	20.8	21.4	21.7	20.9	21.6	21.9	21.8

Man erhält:

$$\bar{x} = 21.45, s_x = 0.44, s_{\bar{x}} = 0.14$$

Das Ergebnis würde lauten:  $21.5 \pm 0.4$

Beachte: Es soll mit allen Dezimalstellen gerechnet werden. Das Resultat soll dann auf eine sinnvolle Anzahl Stellen gerundet werden.

Gelegentlich ist es sinnvoll, die Fehler relativ zum Messergebnis und in % anzugeben. Der **relative Fehler** ist definiert als:

$$s_{x,rel} = 100 \frac{s_x}{\bar{x}} \qquad r_{x,rel} = 100 \frac{r_x}{\bar{x}}$$

$s_{x,rel}$  wird auch als **relative Standardabweichung** bezeichnet.

**Fehlerfortpflanzung:**

Häufig kommt es vor, dass man aus mehreren gemessenen Mittelwerten mit einer Formel einen weiteren Wert berechnen muss. Man kann davon ausgehen, dass jeder Mittelwert mit einem Fehler behaftet ist, der sich auf den zu berechnenden Wert auswirkt. Grundsätzlich gilt, dass sich Fehler addieren, sich aber auch kompensieren können. Das Gauss'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz trägt dem Rechnung (Messwerte müssen unabhängig voneinander sein):

Es sei  $z$  die Zielgröße mit  $z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$s_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot s_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot s_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot s_n\right)^2}$$

Setzt sich die Zielgröße aus einer Summe oder Differenz zusammen, so erhält man folgenden Spezialfall des Fehlerfortpflanzungsgesetzes:

$$\pm s_z = \pm \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_n^2}$$

Nehmen wir das Beispiel einer Dichtebestimmung aus zwei Messreihen für  $m$  und  $V$  mit

$$m = \bar{m} + s_m \quad V = \bar{V} + s_v$$

Für die Dichte gilt  $\rho = \bar{\rho} + s_\rho$   $\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}}$

Mit der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung erhalten wir für  $s_\rho$ :

$$s_\rho = \sqrt{\left(\frac{s_m}{\bar{V}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{m} \cdot s_v}{\bar{V}^2}\right)^2}$$

### Theoretischer Fehler

Zur Abschätzung der Richtigkeit der Resultate ist es am einfachsten, wenn man die relative Standardabweichung eines Resultates mit der theoretischen relativen Standardabweichung vergleicht. Da bei einer Versuchsdurchführung eine Summe von Fehlern auftritt, kann der Spezialfall des Fehlerfortpflanzungsgesetzes verwendet werden:

$$s_{\text{theo}} = \sqrt{s_{1,\text{rel}}^2 + s_{2,\text{rel}}^2 + \dots + s_{n,\text{rel}}^2}$$

wobei  $s_n$  die Fehler beim Vorgehen bezeichnet. So setzt sich der gesamte Fehler bei einer Titration aus folgenden drei Fehlern zusammen:

- $s_{1,rel}$ : Relative Standardabweichung bei der Probenentnahme
 

- Ablesefehler der Pipette	$\pm 0.03 \text{ mL}$
- Eichfehler der Pipette	$\pm 0.02 \text{ mL}$
- Auslauffehler der Pipette (1 Tropfen)	$\pm 0.05 \text{ mL}$
	$\pm 0.10 \text{ mL}$

Wurde eine 10 mL Pipette verwendet, so berechnet sich der relative Fehler nach:

$$s_{1,rel} = 100\% \frac{0.1 \text{ ml}}{10 \text{ ml}} = 1.0\%$$

- $s_{2,rel}$ : Relative Standardabweichung bei der Konzentration der Natronlauge z.B.

$$s_{2,rel} = 0.3\%$$

- $s_{3,rel}$ : Relative Standardabweichung beim Titrationsvolumen

- Ablesefehler bei der Bürette	$\pm 0.1 \text{ mL}$
- Eichfehler bei der Bürette	$\pm 0.1 \text{ mL}$
- Ablesefehler bei Endpunktsbestimmung	$\pm 0.1 \text{ mL}$
	$\pm 0.3 \text{ mL}$

Wurden für die Titration 25.2 mL (Mittelwert) Titer verwendet, so erhält man:

$$s_{3,rel} = 100\% \frac{0.3 \text{ ml}}{25.2 \text{ ml}} = 1.2\%$$

Es ergibt sich der totale relative Fehler:

$$s_{theo} = \sqrt{s_{1,rel}^2 + s_{2,rel}^2 + s_{3,rel}^2} = 1.6\%$$

Durch Vergleich der experimentellen und theoretischen Standardabweichung können zwei Fälle unterschieden werden:

Fall 1: Die experimentelle relative Standardabweichung ist grösser als die theoretische: Die Messung ist **nicht signifikant**. Es liegen entweder systematische Fehler vor (z.B. ungenügend genaue Methode, weil die verwendete Reaktion nicht quantitativ abläuft) oder es wurde nicht sauber gearbeitet. Evtl. war auch die Fehlerabschätzung zu optimistisch. Die Messung muss neu durchgeführt werden, unter Umständen mit einer anderen Methode.

Fall 2: Die experimentelle relative Standardabweichung ist kleiner als die theoretische: Die Messung ist **signifikant**.

#### 4. pK-Werte einiger Säuren bei 25°C

Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).....	9.23 .....	0 M
Borsäure ( $\text{B}(\text{OH})_3$ ).....	9.14, 12.74, 13.80.....	0.1 - 0.01 N
Essigsäure ( $\text{HOAc}$ , $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).....	4.75	“
Ethylendiamintetraessigsäure.....	2.0, 2.69, 6.18, 10.15.....	0.1M $\text{KNO}_3$
( $\text{H}_4\text{EDTA}$ , $\text{H}_4\text{Y}$ )		
Glycinium ( $\text{Hgly}^+$ , $\text{NH}_3^+\text{CH}_2\text{COOH}$ ) ...	2.35, 9.78 .....	0.1 - 0.01 N
Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) .....	6.37, 10.25	“
Oxalsäure ( $\text{H}_2\text{ox}$ , $\text{HOCCOOH}$ ) .....	1.23, 4.19	“
Phosphorsäure ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) .....	2.12, 7.21, 12.67	“
Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) .....	-1.43 .....	0 M
Salzsäure ( $\text{HCl}$ ) .....	-6.1 .....	0 M
Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).....	-8.0, 1.92 .....	0 M
Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) .....	7.04, 19 .....	0.1 - 0.01 N
„Htris <sup>+</sup> “ ( $\text{NH}_3^+\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_3$ ) .....	8.09 .....	0.1 M $\text{KNO}_3$

## 5. pH-Indikatoren

Indikator	saure Farbe	pH Bereich des Umschlagspunktes	pK	alkalische Farbe
Alizarinrot	gelb	10.4 - 12.0	11	rosa
Bromkresolgrün	gelb	3.8 - 5.4	4	blau
Bromkresolpurpur	gelb	5.2 - 6.8	5	violett
Bromthymolblau	gelb	6.0 - 7.6	7	blau
Kresolrot	gelb	0.4 - 1.8		rot
	gelb	7.0 - 8.8	8	violett
Lackmus	rot	4.4 - 6.2	6	blau
Methylrot	rot	4.8 - 6.0	5	gelb
Neutralrot	rot	6.8 - 8.0	7	gelb
Phenolphthalein	farblos	8.2 - 10.0	9	rot
Phenolrot	gelb	6.6 - 8.0	7	violett
Thymolblau	rot	1.2 - 2.8	2	gelb
	gelb	8.0 - 9.6	9	blau

Des Weiteren werden folgende Indikatoren verwendet:

	saure Farbe	basische Farbe
für die <b>Komplexometrie</b> : Murexid	violett	blau
Erio T	violett-braun	rot

sowie **Universalindikatoren**. Dabei handelt es sich um einen Mischindikator, der über einen weiten pH Bereich verschiedene Farbumschläge zeigt. Er setzt sich aus Phenolphthalein, Methylrot, Dimethylaminoazobenzol, Bromthymolblau und Thymolblau in Alkohol zusammen, wobei die einzelnen Komponenten in 0.025-0.1%-iger Konzentration vorliegen. Die Farbänderung in Abhängigkeit des pH-Wertes ist:  
 pH 3 - rot - orange - gelb - grün - blau - violett - pH 10

Alizarin und Lackmus sind Naturstoffe. Alizarin wird aus der Krappwurz gewonnen, durch Substitution verschiedener funktioneller Gruppen erhält man eine breite Palette verschiedener Alizarinfarbstoffe.

Lackmus wurde ursprünglich aus Flechten gewonnen und diente früher vor allem in den Niederlanden und Skandinavien als Lebensmittelfarbstoff.

Bromkresolgrün ist als Farbstoff für Kosmetika zugelassen, die nicht lange auf der Haut bleiben, wie Wasch- und Reinigungsmittel. Phenolphthalein wird in der Human- und Veterinärmedizin als Wirkstoff bei Katarrh sowie als Abführmittel eingesetzt. Phenolrot ist ein Hilfsmittel bei der Nierenfunktionsprüfung.

Eine gewisse Toxizität weisen vor allem Kresolrot (schwach wassergefährdend) und Neutralrot (Reizstoff, schwach wassergefährdend, LD<sub>50</sub> Ratte oral: 112 mg/kg) auf.

Thymolblau (LD<sub>50</sub> Ratte oral: 980 mg/kg), wird als harmlos eingestuft.

Da alle Indikatoren nur in ganz geringen Mengen zum Einsatz kommen, können alle Lösungen, die Indikatoren beinhalten, ansonsten aber als harmlos eingestuft werden, bedenkenlos verworfen werden.

## 6. Standard Reduktionspotentiale

	$E^0$ (V)
$\text{Ag}^+/\text{Ag}$ .....	0.7996
$\text{AgCl}/\text{Ag}$ .....	0.2223
$\text{Br}_2/2 \text{Br}^-$ .....	1.065
$\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ (1 M $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).....	1.4587
$\text{Cl}_2/2 \text{Cl}^-$ .....	1.3583
$\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$ (3 M $\text{HNO}_3$ ).....	1.842
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}/[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ .....	0.1
$\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{2+}$ .....	-0.41
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2 \text{Cr}^{3+}$ .....	1.33
$\text{Cs}^+/\text{Cs}$ .....	-2.923
$\text{Cu}^+/\text{Cu}$ .....	0.522
$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ .....	0.158
$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$ .....	0.3402
$\text{F}_2/2 \text{F}^-$ .....	2.87
$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ .....	0.770
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ (1 M $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).....	0.69
$2 \text{H}^+/\text{H}_2$ .....	0.0000
$\text{H}_2\text{O}_2/2 \text{H}_2\text{O}$ .....	1.776
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2/2 \text{Hg}$ (Kalomel) (ges. $\text{KCl}$ ).....	0.2415
$\text{I}_2/2 \text{I}^-$ .....	0.535
$\text{K}^+/\text{K}$ .....	-2.924
$\text{Li}^+/\text{Li}$ .....	-3.045
$\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$ .....	1.208
$\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_4^{2-}$ .....	0.564
$\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_2$ .....	1.679

$\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ .....	1.510
$\text{Na}^+/\text{Na}$ .....	-2.7109
$\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}$ .....	-0.23
$\text{O}_2/2 \text{H}_2\text{O}$ .....	1.229
$\text{Rb}^+/\text{Rb}$ .....	-2.925
$\text{S}/\text{S}^{2-}$ .....	-0.508
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ .....	0.09
$\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$ .....	-0.7628

## 7. Komplexbildungskonstanten

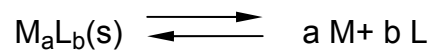
a) EDTA-Komplexe (pK-Werte von H<sub>4</sub>Y: 2.0, 2.69, 6.18, 10.15; 20°C, 0.1 M KNO<sub>3</sub>)

M	T (°C)	Medium	log K <sub>1</sub>
Mg <sup>2+</sup>	20	0.1 M KNO <sub>3</sub>	5.6
Ca <sup>2+</sup>	25	"	4.72
Sr <sup>2+</sup>	20	"	4.2
Ba <sup>2+</sup>	25	"	3.8
Al <sup>3+</sup>	20	"	14.8
Sc <sup>3+</sup>	22	0.5 M NaCl	21.84
La <sup>3+</sup>	20	0.1 M KNO <sub>3</sub>	13.0
Mn <sup>2+</sup>	20	"	11.7
Fe <sup>2+</sup>	20	"	10.7
Co <sup>2+</sup>	20	"	13.8
Ni <sup>2+</sup>	20	"	17.4
Cu <sup>2+</sup>	20	"	19.6
Zn <sup>2+</sup>	20	"	13.1
Cd <sup>2+</sup>	20	"	10.4
Hg <sup>2+</sup>	25	"	17.50
Pb <sup>2+</sup>	20	"	13.5

b) NH<sub>3</sub>-Komplexe (pK von NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 9.24, 25°C, I → 0)

M	T (°C)	Medium	log K <sub>1</sub>	log K <sub>2</sub>	log K <sub>3</sub>	log K <sub>4</sub>	log K <sub>5</sub>	log K <sub>6</sub>
Co <sup>2+</sup>	30	2 M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2.11	1.63	1.05	0.76	0.18	-0.62
Ni <sup>2+</sup>	"	"	2.78	2.27	1.65	1.31	0.65	0.08
Cu <sup>2+</sup>	"	"	4.14	3.52	2.87	2.15		
Zn <sup>2+</sup>	"	"	2.45	2.28	2.64	2.11		
Ag <sup>+</sup>	25	"	3.35	3.90				

## 8. Löslichkeitsprodukte



$$K_L = [M]^a \cdot [L]^b$$

Festkörper	pK <sub>L</sub> (Gültig für 25°C)
AgCl	9.80
AgBr	12.27
AgI	16.07
Ag <sub>2</sub> S	50.22
CdS	25.10
CuS	36.22
FeS	18.22
HgS	52.70
MnS	13.52
NiS	20.97
PbS	27.52
ZnS	24.70

## 9. Naturkonstanten und Umrechnungsfaktoren

Avogadro-Zahl  $N_0 = 6.02214 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Planck-Konstante  $h = 6.6261 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

Faraday-Konstante  $F = 9.6485 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$   
 $= 9.6485 \cdot 10^4 \text{ As mol}^{-1}$

Boltzmann-Konstante  $k = R/N_0 = 1.38066 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

Gaskonstante  $R = 8.3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$   
 $= 1.9872 \text{ cal K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Lichtgeschwindigkeit  $c = 2.997925 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N m} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$1 \text{ J} = 0.2390 \text{ cal}$$

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N m}^{-2} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$
$$= 0.986923 \text{ atm} = 750.062 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr} = 1.01325 \text{ bar}$$

$$\ln x = 2.3026 \log x$$

## 10. Nomenklatur in der anorganischen Chemie

Stark gekürzter und vereinfachter Auszug aus „Internationale Regeln für die chemische Nomenklatur und Terminologie“, Band 2, Verlag Chemie, 1970; (Chemiebibliothek 128A)

### 1. Systematische Namen (IUPAC)

1.1 Binäre Verbindungen (aus zwei Elementen bestehend): Der elektro-positive Bestandteil wird unverändert vorangestellt, gefolgt vom elektronegativen Teil, der die Endung **-id** erhält. Falls dieser Name nicht eindeutig ist, werden entweder die multiplikativen Vorsilben (**mono, di, tri, tetra, penta, hexa** usw.) benützt oder man gibt die **Oxidationszahl** (römisch in runden Klammern) an.

Beispiele: 1 - 7

1.2 Höhere Verbindungen, bei denen eine Zerlegung in Komplexionen (zusammengesetzte Ionen) möglich ist (evtl. nur ein Komplexion): Man bestimmt die Gesamtladung der Ionen und gibt zuerst die positiven, dann alle negativen Ionen an. Für die Komplexionen gilt folgende Schreibweise:

1.2.1 Positive Komplexionen: Zuerst werden die **Liganden** (Namen in Tab. I) in alphabetischer Reihenfolge mit den gleichen multiplikativen Vorsilben wie in 1.1 angegeben. Anionische Liganden haben die Endung **-o**. Am Schluss steht unverändert das **Zentralatom**.

Beispiele: 11, 13, 14, 21

1.2.2 Negative Komplexionen: Analog 1.2.1, aber das Zentralatom erhält meistens die Endung **-at**. Ausnahmen in Tab. II.

Beispiele: 9, 10, 12, 16, 17, 20

1.3 Höhere Verbindungen, die nicht in Komplexionen zerlegt werden können: Entweder Benennung nach 1.1, wobei jeder negative Bestandteil die Endung **-id** erhält, oder, falls eine komplexe Einheit bekannt ist, Benennung nach 1.2.1.

Beispiele: 8, 15, 18, 19

Ist ein Teil, der schon Zahlwörter nach 1.1 enthält, mehrfach vorhanden, werden die multiplikativen Vorsilben **bis**, **tris**, **tetrakis** usw. verwendet.

## 2. Trivialnamen

In einigen Fällen, insbesondere bei Komplexanionen mit Sauerstoff als Ligandatom, werden ausschliesslich Trivialnamen oder Abkürzungen der systematischen Namen verwendet. Liste in Tab. III.

## 3. Formeln

Man unterscheidet **empirische Formeln** (einfachste ganzzahlige Formeln, falls nur die stöchiometrische Zusammensetzung bekannt ist) und **Molekularformeln** (diskrete Moleküle bekannt). Es werden wiederum zuerst die elektropositiven, dann die elektronegativen Einheiten angegeben in alphabetischer Reihenfolge der Symbole.

Ausnahmen: In Komplexionen wird das Zentralatom vorangestellt und die Liganden werden in der Reihenfolge anionische, neutrale und kationische, je alphabetisch geordnet, angegeben. Das ganze Komplexion wird in [ ]-Klammern gesetzt. Bei linearen Molekülen gibt man, sofern bekannt, die richtige Reihenfolge an.

## 4. Bezeichnung von Isomeren

Die Vorsilben **cis-**, **trans-**, **fac-** und **mer-** werden benützt.

Tabelle I Ligandnamen

	Ion		Ion
H <sup>-</sup> .....	Hydrido.....	Hydrid	O <sub>2</sub> <sup>2-</sup> ...Peroxo .....
F <sup>-</sup> .....	Fluoro.....	Fluorid	S <sup>2-</sup> .....
Cl <sup>-</sup> .....	Chloro .....	Chlorid	Thio .....
Br <sup>-</sup> .....	Bromo .....	Bromid	HS <sup>-</sup> ....
I <sup>-</sup> .....	Iodo .....	Iodid	Hydrogensulfido. Hydrogensulfid
O <sup>2-</sup> ....	Oxo .....	Oxid	CN <sup>-</sup> ....
OH <sup>-</sup> ...	Hydroxo.....	Hydroxid	Cyano.....
H <sub>2</sub> O... Aqua	-	-	Cyanid
			SCN <sup>-</sup> .Thiocyanato-N ... Thiocyanat
			Thiocyanato-S
			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ..Nitrito-O/-N .....
			Nitrit
			Nitro.....
			Nitrit

NH <sub>3</sub> ... Ammin	-	NO <sup>+</sup> ..Nitrosyl
CO .... Carbonyl	-	

Tabelle II Komplexanionen ohne Endung -at

N <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Azid	C <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	Acetylid	O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ozonid
NH <sup>2-</sup>	Imid	OH <sup>-</sup>	Hydroxid	S <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	Disulfid(2-)
NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Amid	O <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	Peroxid	I <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Triiodid(1-)
CN <sup>-</sup>	Cyanid	O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Hyperoxid	HF <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Hydrogendifluorid

Tabelle III Trivialnamen

H-Verbindungen: Wasser (H<sub>2</sub>O), Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Hydrazin (H<sub>2</sub>N-NH<sub>2</sub>), Phosphin (PH<sub>3</sub>), alle Kohlenwasserstoffe

Oxosäuren:

Formel	Trivialname (evtl. syst. Name)	Ionen
HClO.....	Hypochlorsäure,	ClO <sup>-</sup> ..... Hypochlorit,
HClO <sub>2</sub> .....	Chlorigsäure	ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ..... Chlorit
HClO <sub>3</sub> .....	Chlorsäure	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ..... Chlorat
HClO <sub>4</sub>	Perchlorsäure Analog für Cl, Br, I	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> Perchlorat
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	Schwefelsäure	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ..... Hydrogensulfat(1-) SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ..... Sulfat, Tetraoxosulfat(2-)
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> .....	Schwefligsäure	HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ..... Hydrogensulfit SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ..... Sulfit
H <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...	Thioschwefelsäure	HS <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-</sup> ..... Hydrogenthiosulfat S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> Thiosulfat

$\text{HNO}_3$ .....	Salpetersäure	$\text{NO}_3^-$ .....	Nitrat, Trioxonitrat(1-)
$\text{HNO}_2$ .....	Salpetrigsäure	$\text{NO}_2^-$ .....	Nirit
$\text{H}_3\text{PO}_4$ .....	Phosphorsäure	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ .....	Dihydrogenphosphat(1-)
		$\text{HPO}_4^{2-}$ .....	Hydrogenphosphat(2-)
		$\text{PO}_4^{3-}$ .....	Phosphat
$\text{H}_2\text{PHO}_3$ ..	Phosphonsäure	$\text{HPO}_3^-$ .....	Hydrogenphosphonat
		$\text{PHO}_3^{2-}$ .....	Phosphonat
$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ...	Diphosphorsäure	$\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ .....	Diphosphat

Die angegebenen systematischen Namen dienen nur zur Erläuterung des Prinzips, sollen aber in diesen Fällen nicht verwendet werden.

### Beispiele

1	KI	Kaliumiodid
2	$\text{LaCl}_3$	Lanthanchlorid
3	HCl	Hydrogenchlorid
4	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Eisen(III)-chlorid-hexahydrat, Eisen(III)-chlorid-6-Wasser
5	$\text{P}_2\text{O}_5$	Phosphor(V)-oxid, Diphosphorpentoxid
6	$\text{P}_4\text{O}_{10}$	Phosphor(V)-oxid, Tetraphosphordecaoxid
7	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2$	Quecksilber(I)-chlorid, Diquecksilber-dichlorid
8	$\text{BiOCl}$	Bismut-chlorid-oxid
9	$\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	Aluminium-kalium-sulfat-12-Wasser
10	$\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$	Pentacalcium-fluorid-tris(phosphat)
11	$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$	Hexaaquachrom(III)-chlorid, Hexaaquachromtrichlorid
12	$\text{H}[\text{AuCl}_4]$	Hydrogen-tetrachloroaurat(III), evtl. Tetrachloro-gold(III)-säure
13	$\text{cis-}[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$	cis-Tetraammindichlorocobalt(III)-chlorid
14	$[\text{CoSO}_4(\text{NH}_3)_5]\text{Br}$	Pentaamminsulfatocobalt(III)-bromid

15	$trans\text{-[PtCl}_2\text{(NH}_3\text{)}_2\text{]}$	<i>trans</i> -Diammindichloroplatin(II)
16	$K_3\text{[Fe(CN)}_6\text{]}$	Kalium-hexacyanoferrat(III)
17	$Na\text{[Fe(CN)}_5\text{(NO)]}$	Natrium-pentacyanonitrosylferrat(III)
18	$[\text{CoH(CO)}_4]$	Tetracarbonylhydridocobaltat(I)
19	$[\text{Ni(CO)}_2\text{(Ph}_3\text{P)}_2]$	Dicarbonyl-bis(triphenylphosphin)-nickel(0)
20	$Na_3\text{[Co(NO}_2\text{)}_6\text{]}$	Natrium-hexanitrocobaltat(III)
21	$[\text{Co(ONO)NH}_3\text{)}_5\text{]SO}_4$	Pentaamminnitritocobalt(III)-sulfat