

Wissenspeicher

Physikalische Chemie

A large, stylized white logo consisting of two 'W' characters. The logo is centered on a grid background. The grid is composed of black lines on a blue background for the left half and blue lines on a black background for the right half. The 'W' characters are white and have a slight shadow effect.

WW



VEB DEUTSCHER VERLAG FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE

Physikalische Chemie – Wissenspeicher

Von FSD Dipl.-Chem. Dipl.-Gwl. Heinz Bergmann und
FSD Dipl.-Chem. Dipl.-Gwl. Kurt Trieglaff

Mit 130 Bildern und 13 Tabellen

3., durchgesehene Auflage



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie · Leipzig

» Als berufsbildende Literatur für die Ausbildung der Lehrlinge zum Facharbeiter und für Werk tätige, die zum Facharbeiter ausgebildet werden, für verbindlich erklärt. «

Minister für Chemische Industrie

Berlin, den 10. Juni 1983

Die einzelnen Abschnitte wurden verfaßt von

FSD Dipl.-Chem. Dipl.-Gwl. Heinz Bergmann
Abschnitt 2.; 3. bis 3.2.; 4.4., 4.5. und 5.2.2.3.

FSD Dipl.-Chem. Dipl.-Gwl. Kurt Trieglaff
Abschnitt 1.; 3.3.; 4. bis 4.3. und 5. bis 5.2.

Annotation

Das Buch, das teilweise Wissensspeichercharakter, teilweise Lehrbuchcharakter aufweist, ist für die theoretische Ausbildung der Laboranten im Lehrgang »Physikalische Chemie« bestimmt. Auf der Grundlage der verbindlichen Ausbildungsunterlage neu konzipiert und gestaltet, vereint es Teile von Lehrinhalten des früheren Lehrbuches »Physikalische Chemie für Laboranten« und des bisher verbindlichen Buches »Physikalische Chemie – Wissensspeicher«. Im einzelnen werden folgende Lehrstoffe behandelt: Einführung in die physikalische Chemie, Eigenschaften stofflicher Zustände, Gleichgewichtslehre, Elektrochemie sowie Grundlagen optisch-spektralanalytischer Analysenverfahren.

3., durchgesehene Auflage

© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1975

Durchgesehene Auflage: © VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1984

VLN 152-915/4/84

LSV 1212

Einbandgestaltung: G. Raschpichler

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Fachbuchdruck Naumburg

Redaktionsschluß: 1. 6. 1983

Bestell-Nr.: 541 605 0

00775

Vorwort

Die Erfüllung der anspruchsvollen Aufgaben, die Partei und Regierung für ein weiteres kontinuierliches Wachstum der Volkswirtschaft auch in den 80iger Jahren gestellt haben, erfordert ein hohes Entwicklungstempo der Produktivkräfte. Das vorliegende Lehrmaterial soll diesem Anliegen vorrangig bei der Berufsausbildung im Grundberuf »Laborant« dienen. Es ist so konzipiert, daß neben lehrbuchgemäßen Methoden der Stoffdarbietung Elemente des Wissensspeichers enthalten sind. Die gezeigten Bemühungen, die dazu beigetragen haben, den Lehrstoff faßlich und überschaubar darzustellen, befreien den künftigen Laboranten jedoch nicht von einer aktiven, schöpferischen Beschäftigung mit diesem Lehrstoff.

Die Weiterentwicklung des Lehrmaterials aus dem Lehrbuch »Physikalische Chemie für Laboranten« und dem »Wissensspeicher Physikalische Chemie« in einer relativ kurzen Zeit war nur durch die Unterstützung von Vertretern der Berufsausbildung der Arbeitsgruppe Berufsbildende Literatur bei der Zentralstelle für Berufsbildung des Ministeriums für Chemische Industrie und dem verantwortlichen Wirtschaftsorgan Kombinat VEB Chemische Werke Buna möglich.

Bei der Vorbereitung der 3. Auflage wurden von den Autoren neben methodischen Verbesserungen einige Bilder aktualisiert oder durch neue ersetzt. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden für die Bilder Bildunterschriften eingefügt. Die Verweise auf weitere berufsbildende Literatur wurden erweitert.

Den Gutachern Herrn Dr. Kimmer, Halle, und Herrn Leithold, Bitterfeld, sowie der Arbeitsgruppe Berufsbildende Literatur sei an dieser Stelle für ihre wertvollen Hinweise gedankt.

Vorschläge, die der weiteren Verbesserung des Lehrbuches dienen, bitten wir an den Verlag zu richten.

Autoren und Verlag

Inhaltsverzeichnis

1.	Physikalische Chemie - Methoden und Anwendung - Grundzüge der Bewertung von Meßergebnissen	
1.1.	Forschungsmethoden der physikalischen Chemie	9
1.2.	Anwendung der Erkenntnisse der physikalischen Chemie	10
1.3.	Bewertung physikalisch-chemischer Analysenverfahren.	11
1.4.	Beurteilung der Präzision von Analysenverfahren	12
2.	Eigenschaften stofflicher Zustände	
2.1.	Zustandsformen, Zustandsgrößen, Zustandsänderungen	15
2.2.	Gase	18
2.2.1.	Ideale Gase	18
2.2.1.1.	Zustandsänderungen idealer Gase	18
2.2.1.2.	Thermodynamische Temperaturskale	21
2.2.1.3.	Avogadro'sche Regel und ihre Anwendung	22
2.2.1.4.	Allgemeine Zustandsgleichung	23
2.2.1.5.	Isotherme, adiabatische und polytrope Zustandsänderung	26
2.2.1.6.	Kinetische Gastheorie	28
2.2.1.7.	Gasmischungen	31
2.2.2.	Reale Gase	34
2.2.2.1.	Ideales und reales Verhalten	34
2.2.2.2.	Van-der-Waals'sche Zustandsgleichung	35
2.2.2.3.	Gasverflüssigung	37
2.3.	Flüssigkeiten	40
2.3.1.	Allgemeine Eigenschaften der Flüssigkeiten.	40
2.3.2.	Flüssige Mischphasen	45
2.4.	Feste Stoffe	49
2.4.1.	Aufbau der festen Stoffe	49
2.4.2.	Amorphe und teilkristalline Stoffe	53

3.	Gleichgewichtslehre	
3.1.	Grundlagen der Gleichgewichtslehre	57
3.1.1.	Umkehrbare chemische Reaktionen	57
3.1.2.	Reaktionsgeschwindigkeit	58
3.1.3.	Chemisches Gleichgewicht	60
3.1.4.	Massenwirkungsgesetz	63
3.1.5.	Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf Gasreaktionen.	64
3.1.5.1.	Gleichgewichtskonstante bei Verwendung verschiedener	
	Konzentrationsmaße	64
3.1.5.2.	Beeinflussung von Gasgleichgewichten durch Druckänderung	66
3.1.5.3.	Beeinflussung von Gasgleichgewichten durch Konzentrationsänderung	67
3.1.6.	Anwendung des Prinzips von <i>Le Chatelier</i> auf Temperaturänderungen im Gleichgewichtszustand	69
3.1.7.	Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf Reaktionen in Elektrolytlösungen	70
3.1.7.1.	Elektrolyt und Elektrolytlösung	70
3.1.7.2.	Anwendung des Massenwirkungsgesetzes auf die Dissoziation	72
3.1.7.3.	Ionenprodukt des Wassers und pH-Wert	73
3.1.7.4.	<i>Brönstedtsche Säure-Base-Theorie</i>	76
3.1.7.5.	Löslichkeitsprodukt	81
3.2.	Phasengleichgewichte	83
3.2.1.	Gleichgewichte in Einkomponentensystemen	84
3.2.2.	Gleichgewichte in Mehrkomponentensystemen	86
3.2.2.1.	Dampfdruck von Mischungen und Lösungen mit einer verdampfbar Komponente	86
3.2.2.2.	Gefrierpunkt Erniedrigung und Siedepunkt Erhöhung	89
3.2.2.3.	Dampfdruck von Mischungen und zwei verdampfbar Komponenten	90
3.2.3.	Stofftrennung durch Destillation	93
3.2.3.1.	Siedediagramme	93
3.2.3.2.	Anwendung der Siedediagramme	94
3.2.4.	Schmelzdiagramme binärer Systeme	98
3.2.5.	Löslichkeit von Gasen	100
3.2.6.	Verteilungsgesetz	101
3.3.	Gleichgewicht an Grenzflächen	105
3.3.1.	Adsorption	106
3.3.2.	Chromatografische Trennungsvorgänge	110
3.3.2.1.	Systematik chromatografischer Verfahren	111
3.3.2.2.	Arbeitsverfahren der Chromatografie	115
4.	Elektrochemie	
4.1.	Elektrische Größen und Einheiten sowie ausgewählte Grundgesetze der Elektrik	123
4.1.1.	Elektrische Größen und Einheiten.	123
4.1.2.	Ausgewählte Grundgesetze der Elektrik	130
4.2.	Leitfähigkeit der Elektrolyte	131
4.2.1.	Ladungstransport in wässrigen Lösungen	131
4.2.1.1.	Grundlagen.	131

4.2.1.2.	Elektrolytische Leitfähigkeit in wäßrigen Lösungen	132
4.2.1.3.	Leitfähigkeitsmessung und ihre Anwendung	138
4.2.2.	Ladungstransport in Elektrolytschmelzen	141
4.3.	Elektromotorische Kräfte – EMK –	144
4.3.1.	Grenzflächenpotentiale	146
4.3.1.1.	Wichtige Grenzflächenpotentiale	148
4.3.1.2.	Galvanisches Element und elektromotorische Kraft	149
4.3.2.	Standardpotentiale	150
4.3.2.1.	Standardmetallelektroden	151
4.3.2.2.	Standardredoxelektroden	152
4.3.3.	Berechnung von Einzelpotentialen und der EMK galvanischer	153
	Ketten	153
4.3.3.1.	Berechnung der Einzelpotentiale von Elektroden	154
4.3.3.2.	Berechnung der EMK galvanischer Ketten	156
4.3.4.	EMK-Messung und ihre Anwendung	158
4.3.4.1.	Bezugslektroden	159
4.3.4.2.	Potentiometrische pH-Messung	161
4.3.4.3.	Potentiometrische Maßanalyse	164
4.3.5.	Technische Anwendung galvanischer Elemente für die Energie-	166
	gewinnung	166
4.3.5.1.	Primärelemente	166
4.3.5.2.	Sekundärelemente	168
4.3.5.3.	Brennstoffzellen	169
4.4.	Elektrolyse	172
4.4.1.	Vorgänge an Elektroden	173
4.4.1.1.	Polarisation	174
4.4.1.2.	Abscheidungspotential und Zersetzungsspannung	176
4.4.1.3.	<i>Faradaysche</i> Gesetze	180
4.4.2.	Anwendung der Elektrolyse	182
4.4.2.1.	Technische Elektrolysen zur Metallerzeugung oder Metallraffination	182
4.4.2.2.	Elektrolysen zur Herstellung nichtmetallischer Stoffe	184
4.4.2.3.	Galvanotechnik	185
4.4.2.4.	Analysenverfahren	186
4.5.	Metallkorrosion und Korrosionsschutz von Metallen	188
4.5.1.	Elektrochemische Korrosion	189
4.5.2.	Korrosionsschutz von Metallen	191

5. Grundlagen optisch-spektralanalytischer Analyseverfahren

5.1.	Elektromagnetische Strahlung und Stoff sowie Atombau und Quantenzahlen	193
5.1.1.	Elektromagnetische Strahlung	194
5.1.1.1.	Natur des Lichtes	194
5.1.1.2.	Elektromagnetisches Spektrum	195
5.1.2.	Wechselwirkung zwischen Stoff und elektromagnetischer Strahlung sowie Atommodelle und Quantenzahlen	196
5.1.2.1.	Spektrum des Wasserstoffs	197
5.1.2.2.	Atommodelle und Quantenzahlen	199

5.2.	Angewandte Verfahren der Spektralanalyse	203
5.2.1.	Grundlagen spektralanalytischer Verfahren	203
5.2.1.1.	Beziehungen zwischen der Erzeugung von Spektren, elementaren Prozessen und Anregungsenergien	203
5.2.1.2.	Darstellungsmethoden und Arten von Spektren sowie ihre Dispersion und Aufzeichnung	204
5.2.2.	Ausgewählte spektralanalytische Verfahren	208
5.2.2.1.	UV-Emmissionsspektralanalyse der Metalle	208
5.2.2.2.	UV-Absorptionsspektralanalyse	209
5.2.2.3.	Grundlagen der Fotometrie und Kolorimetrie	210
5.2.2.3.1.	Wichtige Begriffe	210
5.2.2.3.2.	<i>Lambert-Beersches</i> Gesetz	212
5.2.2.4.	Infra- bzw. Ultrarotspektralanalyse (IR bzw. UR)	213
5.2.2.5.	Elektronenspinresonanz ESR	215
5.2.2.6.	Kernspinresonanz KMR	217
	Ergebnisse zu den Aufgaben	220
	Sachwörterverzeichnis	221

Hinweise zur Benutzung

Zur besseren und schnelleren Erfassung bestimmter Lehrstoffteile werden zu deren Kennzeichnung Symbolelemente angewendet, die im einzelnen folgende Bedeutung haben:

- Aussagen, die sich der Lernende einprägen sollte, die aber nicht den Charakter eines Merksatzes oder einer Definition haben.
 - Aufzählungen, die keine strikte Reihenfolge verlangen, z. B. von Eigenschaften eines Stoffes, von Bauteilen eines Gerätes usw.
 - Kennzeichnung von Ergänzungswissen (untergeordnete Lehrstoffteile). Dieser Lehrstoff ist in einem kleineren Schriftgrad ausgedruckt.
 - ! Kennzeichnung von Lehrstoffen, die Hinweise zum Arbeitsschutz zum Inhalt haben.
- ↗ Verweise auf weitere berufsbildende Literatur, z. B. (↗ WSCh 3.3.).

Merksätze sind in halbfetter Schrift ausgedruckt.

Bilder, Gleichungen und Aufgaben sind abschnittsweise und innerhalb der Abschnitte fortlaufend nummeriert.

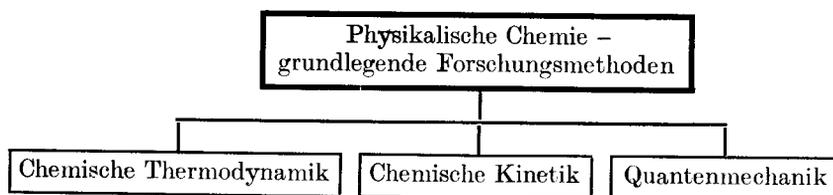
Erläuterung der Handhabung von Literaturhinweisen

Für die Literatur, auf die im Text verwiesen wird, werden Kurzzeichen benutzt, die folgende Bedeutung haben:

- TCh Tabellenbuch Chemie
- RP Rechenpraxis in Chemieberufen
- LP-CP Laborpraxis – Chemisch-technische Analysen und physikalisch-chemisches Praktikum
- LP-EQ Laborpraxis – Einführung und quantitative Analyse
- WSCh Allgemeine, anorganische und organische Chemie – Wissensspeicher

Das Zeichen (↗ WSCh 3.3.) besagt, daß ausführliche Informationen in dem Buch »Allgemeine, anorganische und organische Chemie – Wissensspeicher«, Abschnitt. 3.3., enthalten sind.

1.1. Forschungsmethoden der physikalischen Chemie



Wesen der chemischen Thermodynamik

- Grundlagen sind der I. und II. Hauptsatz der Wärmelehre (Energiesätze)
- Gegenstand sind die Ermittlung von Beziehungen zwischen den Zustandsgrößen, zum Beispiel:

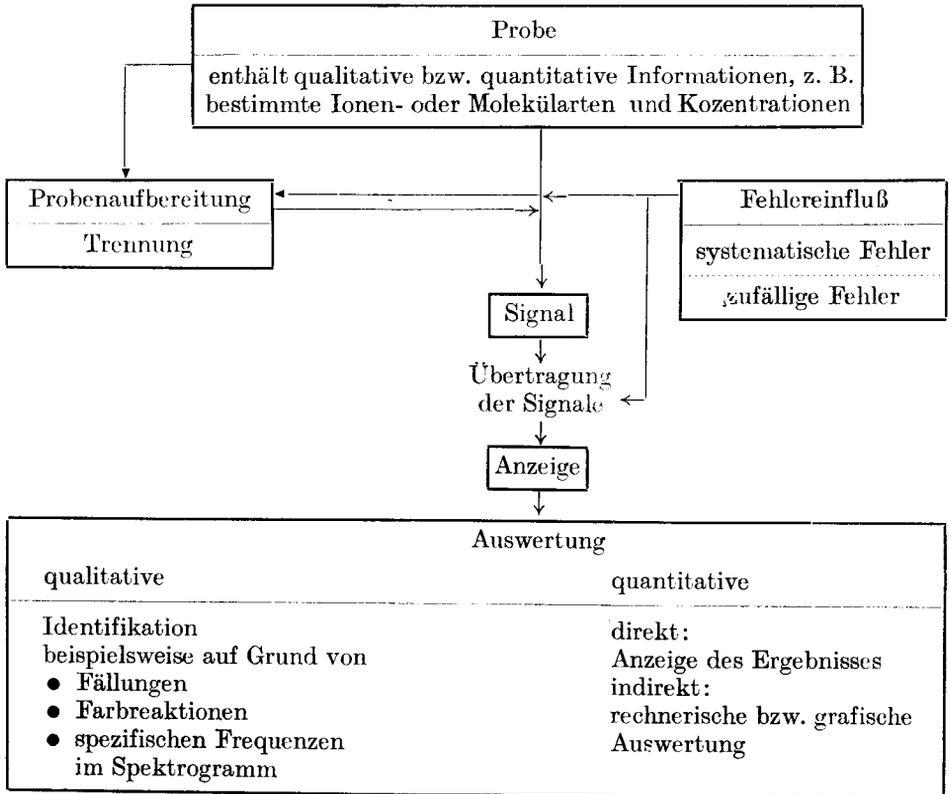
Gasgesetze $v = f(p; T)$

- Die chemische Thermodynamik liefert Aussagen über
 - chemische Gleichgewichte,
 - elektrochemische Gleichgewichte,
 - Phasengleichgewichte.

Wesen der chemischen Kinetik

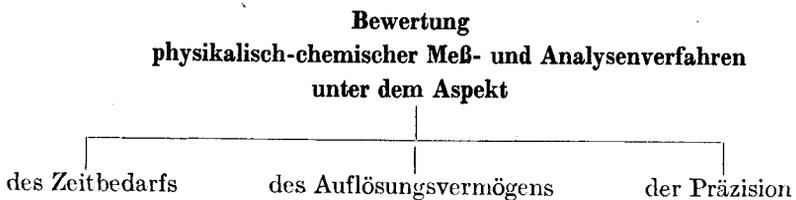
- Gegenstand ist die Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Ablauf chemischer Reaktionen und der Zeit als Parameter.
- Die chemische Kinetik liefert Aussagen über
 - Messung und Vorausberechnung der Geschwindigkeit chemischer Reaktionen
 - Aufklärung von Reaktionsmechanismen, zum Beispiel: Katalysatorforschung, Elektrokinetik (Korrosionsvorgänge)

Systematik analytischer Verfahren



1.3. Bewertung physikalisch-chemischer Analysenverfahren

- Rationalisierung der Laborarbeit
 - Erhöhung der Produktivität der Laborarbeit
 - Verringerung des Zeitbedarfs für die Durchführung von Messungen und Analysen
- Verbesserung der Qualität der Produkte
 - Sinnvolle Erhöhung der Genauigkeit von Meß- und Analysenverfahren zur immer besseren Versorgung der Werk tätigen und der Industrie mit qualitativ hochwertigen Produkten (Gütekontrolle)
 - Schaffung der analytischen Prüfmethode n für den Weltstandsvergleich der erzeugten Produkte



Zeitbedarf

- Prinzip der Ökonomie
Erhöhung der Produktivität der Laborarbeit
- Objektivität
Erzielung objektiverer Ergebnisse durch Verringerung des Zeitbedarfs für die Analysen (wichtig für schnellverlaufende Prozesse)

Auflösungsvermögen

- Trennung der in der Probe enthaltenen Informationen
- Möglichkeit der störungsfreien Anzeige qualitativer und quantitativer Informationen ähnlicher Probenbestandteile
- Empfindlichkeit der Verfahren

Präzision

- ergibt sich aus der Beurteilung der Fehlereinflüsse
- wird durch die Genauigkeit der erhaltenen Ergebnisse ausgedrückt
- ergibt sich aus Reihen von Messungen mit Hilfe statistischer Verfahren (Fehlerrechnung)

1.4. Beurteilung der Präzision von Analysenverfahren

Fehlerarten

Zufällige Fehler

- sind dem Wesen nach Beobachtungsfehler, z. B. Ablesefehler an der Bürette
- schwanken regellos nach Größe und Vorzeichen
- Ausgleich durch mehrere Parallelbestimmungen und Fehlerausgleichsrechnung

Systematische Fehler

- liegen dem Wesen nach im Versuchsaufbau begründet, z. B. Volumensmessung mit der Bürette bei einer Temperatur, die nicht gleich der Eichtemperatur ist (↗ LP – EQ 5.3.)
- haben bei Messungen unter gleichen Bedingungen gleiche Größe und Vorzeichen
- Ausgleich bei Kenntnis der Funktion des Fehlereinflusses rechnerisch bzw. apparativ, z. B. Korrektur von Ergebnissen aus Wägungen durch den Luftauftrieb (rechnerisch)

Empfindlichkeit und Genauigkeit

$$\text{Empfindlichkeit} = \frac{\text{Änderung der Anzeige}}{\text{Änderung der Meßgröße}} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Ursache} \\ \text{Wirkung} \end{array} \right|$$

Beispiel

Messung von Stromstärken und Spannungen mit dem Multizetgerät (verschiedene Meßbereiche, verschiedene Empfindlichkeiten)

Genauigkeit – Präzision von Analysenwerten

Die Genauigkeit wird durch die Fehlertoleranzen ausgedrückt.

Definition

absoluter Fehler = Näherungswert – wahrer Wert

$$\Delta x = a - x$$

relativer Fehler = $\frac{\text{absoluter Fehler}}{\text{wahrer Wert}}$

relativer Fehler in % = $\frac{\Delta x}{x} \cdot 100$

Der wahre Wert x ist eine theoretische Größe und dient der Fehlerdefinition.

- In der Praxis geht man von Meßreihen aus und ermittelt deren arithmetisches Mittel \bar{x} (\bar{x} ist ein Schätzwert):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \begin{array}{l} \sum x_i \text{ Summe der Einzelmessungen } x_i \\ n \text{ Anzahl der Messungen} \end{array}$$

- Standardabweichung s

- Entspricht der zufallsbedingten Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert
- Kann näherungsweise der Unsicherheit des Durchschnitts gleichgesetzt werden

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \begin{array}{l} \sum (x_i - \bar{x})^2 \text{ Summe der Quadrate der Differenzen} \\ \text{von Einzelwerten und Mittelwert} \end{array}$$

- Vertrauensintervall des Mittelwertes

obere Grenze	untere Grenze	t abhängig von der geforderten Präzision der Messung (einer Tabelle zu entnehmen)
$\bar{x} + \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s$	$\bar{x} - \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s$	

- Präzision des aus den Messungen erhaltenen Mittelwertes

Die Präzision gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der der ermittelte Mittelwert in den Grenzen von

$$\bar{x} + \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s \quad \text{bis} \quad \bar{x} - \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s \quad \text{liegt.}$$

- t kann für eine Präzision von 68 % und eine größere Anzahl von Messungen n gleich eins gesetzt werden.

Beispiel: Präzision 68 % (P 68 %)

Von 1000 Meßwerten liegen 680 im Bereich des Vertrauensintervalls des Mittelwertes

- Streuung der Einzelmeßwerte um den Mittelwert

$$\Delta \bar{x} = \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot s \quad t \text{ ist für } P \text{ 68 \% etwa } 1$$

Beispiel

Die Bestimmung des HCl-Gehalts im Liter ($\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) einer gefärbten Beizlösung wurde auf maßanalytischem Wege mit konduktometrischer Endpunktserkennung durchgeführt.

Es wurden folgende Werte für den Verbrauch erhalten:

V_i (ml 1 N NaOH) $\triangleq x_i$

$$x_1 = 4,20 \text{ ml}$$

$$x_2 = 4,18 \text{ ml}$$

$$x_3 = 4,21 \text{ ml}$$

$$x_4 = 4,18 \text{ ml}$$

$$x_5 = 4,24 \text{ ml}$$

$$x_6 = 4,24 \text{ ml}$$

$$x_7 = 4,22 \text{ ml}$$

Es sind die Standardabweichung und der mittlere Fehler des Mittelwerts der Meßreihe zu errechnen

x_i/ml	$(x_i - \bar{x})/\text{ml}$	$(x_i - \bar{x})^2/\text{ml}^2$
4,20	$-1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
4,18	$-3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-4}$
4,21	± 0	± 0
4,18	$-3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-4}$
4,24	$+3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-4}$
4,24	$+3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-4}$
4,22	$+1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
$\bar{x} = 4,21$		$38 \cdot 10^{-4} = \sum(x_i - \bar{x})^2$

(\nearrow RP 7.4.3.)

Standardabweichung s

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad s = \pm \sqrt{\frac{38 \cdot 10^{-4} \text{ ml}^2}{6}} \quad n = 7$$

$$s = \pm 0,025 \text{ ml}$$

Mittlerer Fehler des Mittelwertes (Vertrauensintervall für $P = 68\%$)

$$\Delta \bar{x} = \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \Delta \bar{x} = \pm \frac{0,025 \text{ ml}}{\sqrt{7}} = 0,0094 \text{ ml}$$

$$\Delta \bar{x} \approx \pm 0,01 \text{ ml}$$

Angabe des wahrscheinlichen Verbrauchs durch Mittelwert und Vertrauensintervall

$$V = 4,21 \text{ ml} \pm 0,01 \text{ ml} \quad 1 \text{ N NaOH-Lösung}$$



2.1. Zustandsformen, Zustandsgrößen, Zustandsänderungen

Zustandsformen

Die Stoffe können in drei verschiedenen Zustandsformen (*Aggregatzuständen*) – fest, flüssig, gasförmig – auftreten.



Beispiele

- Diamantkristall mit vielen regelmäßig angeordneten Kohlenstoffatomen
- Natriumchloridkristall mit vielen Ionen in regelmäßiger Anordnung

Beispiele

- flüssiges Wasser mit Molekül-assoziationen der Formel $(H_2O)_4$
- geschmolzener Schwefel mit Molekülen der Formel S_8

Beispiele

- Wasserstoffgas mit Wasserstoffmolekülen
- Luft mit Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen

Die drei Zustandsformen können nach wesentlichen physikalischen Eigenschaften unterschieden werden.

Fester Zustand

- bestimmtes Volumen
- bestimmte Gestalt
- Volumenänderung unter Einwirkung von Kräften **gering** (Formelastizität)

Ordnungszustände der atomaren oder molekularen Teilchen in **großen Bereichen** (Fernordnung)

Kräfte zwischen den atomaren oder molekularen Bausteinen **sehr groß**

Flüssiger Zustand

- bestimmtes Volumen
- gestaltlos
- Volumenänderung unter Einwirkung von Kräften **gering** (Volumenelastizität)

Ordnungszustände der atomaren oder molekularen Teilchen in **kleinen Bereichen** (Nahordnung)

Kräfte zwischen den atomaren oder molekularen Bausteinen **groß**

Gasförmiger Zustand

- kein bestimmtes Volumen
- gestaltlos
- Volumenänderung unter Einwirkung von Kräften **groß**

Ordnungszustände der atomaren oder molekularen Teilchen **fehlen**

Kräfte zwischen den atomaren oder molekularen Bausteinen
– **fehlen** (ideal)
– **gering** (real)

Zustandsgrößen

Der Zustand der Stoffe wird durch Zustandsgrößen beschrieben:

- Druck, z. B. Gasdruck, gemessen mit einem Manometer,
- Temperatur, gemessen mit einem Thermometer,
- Volumen, bei Gasen z. B. mit einem Gasvolumeter gemessen.