

Jan Hoinkis

Chemie für Ingenieure

Aufgaben und Lösungen



Jan Hoinkis

Chemie für Ingenieure

**Beachten Sie bitte auch weitere interessante Titel
zu diesem Thema**

Baerns, M., Behr, A., Brehm, A.,
Gmehling, J., Hofmann, H., Onken, U.,
Renken, A., Hinrichsen, K.-O., Palkovits, R.

Technische Chemie

2. Auflage

2013

Print ISBN: 978-3-527-33072-0; auch in
elektronischen Formaten verfügbar

Bergler, F.

Physikalische Chemie

für Nebenfächler und Fachschüler

2013

Print ISBN: 978-3-527-33363-9; auch in
elektronischen Formaten verfügbar

Kühl, O.

Allgemeine Chemie

für Biochemiker, Lebenswissenschaftler,
Mediziner, Pharmazeuten...

2012

Print ISBN: 978-3-527-33198-7; auch in
elektronischen Formaten verfügbar

Kuypers, F.

Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler

Band 1: Mechanik und Thermodynamik,
3. Auflage

2012

Print ISBN: 978-3-527-41135-1; auch in
elektronischen Formaten verfügbar

Kühl, O.

Organische Chemie

für Biochemiker, Lebenswissenschaftler,
Mediziner, Pharmazeuten...

2012

Print ISBN: 978-3-527-33199-4; auch in
elektronischen Formaten verfügbar

Kuypers, F.

Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler

Band 2: Elektrizität, Optik und Wellen,
3. Auflage

2012

Print ISBN: 978-3-527-41144-3; auch in
elektronischen Formaten verfügbar

Wurm, T.

Chemie für Einsteiger und Durchsteiger

2012

Print ISBN: 978-3-527-33206-9; auch in
elektronischen Formaten verfügbar

Jan Hoinkis

Chemie für Ingenieure

Aufgaben und Lösungen

WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA

Autor

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

Hochschule Karlsruhe – Technik und
Wirtschaft

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

Deutschland

■ Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

**Bibliografische Information der
Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2016 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,
Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig,
Deutschland

Druck und Bindung Markono Print Media
Pte Ltd, Singapur

Print ISBN 978-3-527-33751-4

ePDF ISBN 978-3-527-68459-5

ePub ISBN 978-3-527-68457-1

Mobi ISBN 978-3-527-68458-8

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort VII

1	Atomaufbau und Periodensystem	1
2	Die chemische Bindung	5
3	Die Aggregatzustände	9
4	Chemische Reaktionen	15
5	Chemische Gleichgewichte	21
6	Die Elemente	27
7	Anorganische Verbindungen	31
8	Organische Verbindungen	35
9	Kunststoffe	41
10	Elektrochemie	47
11	Spektren und ihre Anwendungen	53
12	Biochemie und Biotechnologie	57
13	Umwelttechnik	61
	Antworten	69
A.1	Antworten zu <i>Atomaufbau und Periodensystem</i>	69
A.2	Antworten zu <i>Die chemische Bindung</i>	73
A.3	Antworten zu <i>Die Aggregatzustände</i>	79
A.4	Antworten zu <i>Chemische Reaktionen</i>	88
A.5	Antworten zu <i>Chemische Gleichgewichte</i>	95
A.6	Antworten zu <i>Die Elemente</i>	102
A.7	Antworten zu <i>Anorganische Verbindungen</i>	111
A.8	Antworten zu <i>Organische Verbindungen</i>	117
A.9	Antworten zu <i>Kunststoffe</i>	128

A.10	Antworten zu <i>Elektrochemie</i>	140
A.11	Antworten zu <i>Spektren und ihre Anwendungen</i>	153
A.12	Antworten zu <i>Biochemie und Biotechnologie</i>	161
A.13	Antworten zu <i>Umwelttechnik</i>	168

Vorwort

Das zugehörige Lehrbuch, welches nun bereits in der 14. Auflage erscheint, bietet eine umfassende, praxisorientierte Einführung in die für den Ingenieur relevante Chemie, erarbeitet die erforderlichen theoretischen Grundlagen und ist als studienbegleitendes Lehrbuch gedacht, aber auch geeignet zum Selbststudium. Es soll ferner dem in der Praxis tätigen Ingenieur eine Hilfe sein und soll ihm durch die zahlreichen Tabellen und Zahlenangaben als erstes Nachschlagewerk dienen.

Der Text wurde so verfasst, dass er ohne naturwissenschaftliche Vorkenntnisse verständlich wird. Insbesondere wurden alle Fachausdrücke, die über den Rahmen der Alltagssprache hinausgehen, bei ihrem ersten Auftauchen erklärt. Es erwies sich als besonders nützlich, dabei von der ursprünglichen Bedeutung der betreffenden Wörter auszugehen. Diese Worterklärung kann man später anhand des Sachregisters rasch wiederfinden.

Diese 14. Auflage wurde vollständig überarbeitet und aktualisiert. Hierbei wurden insbesondere das Layout und viele Abbildungen übersichtlicher gestaltet. Die Kontroll- und Übungsfragen wurden in einem eigenen Übungsbuch zusammengefasst und deutlich erweitert.

Das vorliegende Lehrbuch ist wohl die aktuellste und umfassendste Einführung in die Chemie für Ingenieure. Da in ihm besonders die anwendungsbezogenen Themen ausführlich behandelt werden, hat es sich an vielen Universitäten, Fachhochschulen und Berufsakademien bewährt. Es ist vornehmlich für folgende Fachrichtungen geeignet: Verfahrenstechnik, Umwelttechnik, Maschinenbau, Mechatronik, Sensortechnik, Fahrzeugtechnologie, Energietechnik, Nachrichtentechnik, Informatik, Wirtschaftsingenieurwesen.

Eine Beschäftigung mit der Chemie ist und bleibt für den Ingenieur für die Bewältigung zukünftiger technischer Probleme von großer Bedeutung. So soll dieses Lehrbuch einen kleinen Beitrag dazu leisten, dass die menschlichen Existenzgrundlagen mithilfe der Technik weiter ausgebaut werden, damit auch in Zukunft ein gesundes und menschenwürdiges Leben auf der Erde gesichert bleibt.

Ich möchte mich bei meinen Kollegen und Studenten für die zahlreichen Verbesserungsvorschläge bedanken. Insbesondere danke ich Herrn Miroslaw Wawak für seine Unterstützung bei den Arbeiten für die neue Auflage und das Übungsbuch sowie für die Bearbeitung zahlreicher Abbildungen.

1

Atomaufbau und Periodensystem

- 1.1 Womit befasst sich die Chemie?
- 1.2 Was versteht man unter dem Begriff „Stoff“?
- 1.3 Was sind homogene Stoffe?
- 1.4 Was sind heterogene Stoffe?
- 1.5 Was bezeichnet man als Phase?
- 1.6 Was sind Substanzen?
- 1.7 Was versteht man unter stofflichen Umsetzungen oder chemischen Reaktionen?
- 1.8 In welchen Teilen der Atome ereignen sich Veränderungen bei chemischen Reaktionen?
- 1.9 Von welcher Größenordnung sind a) Atomdurchmesser, b) Atomkerndurchmesser?
- 1.10 Welche Elementarteilchen enthält a) die Atomhülle, b) der Atomkern? Welches Vorzeichen haben die elektrischen Ladungen der Elementarteilchen?
- 1.11 Was sind chemische Elemente und wie werden sie gekennzeichnet?
- 1.12 Nennen Sie die chemischen Symbole für die Elemente Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel, Chlor, Natrium, Kalium, Calcium, Eisen, Silber und Quecksilber!
- 1.13 Was bedeutet die Massenzahl eines Atoms und wie wird sie gekennzeichnet?

- 1.14 Was zeigt die Kernladungszahl (Ordnungszahl) an und wie wird sie gekennzeichnet?
- 1.15 Was sind Isotope?
- 1.16 Wie viele Neutronen haben die Uranisotope?
- 1.17 Wie heißen die Isotope des Wasserstoffs und wie werden sie gekennzeichnet?
- 1.18 Worin müssen die Atome einer Nuklidart übereinstimmen?
- 1.19 Wie viele Elektronen kann die erste Elektronenschale (K-Schale) maximal haben?
- 1.20 Wie viele Elektronen kann ab der zweiten Elektronenschale (L-Schale) die jeweils äußerste Elektronenschale maximal enthalten?
- 1.21 In welchem Atommodell werden die Elektronen als um den Kern (wie Planeten um die Sonne) kreisende Teilchen dargestellt?
- 1.22 Was besagt die Heisenberg'sche Unschärferelation?
- 1.23 Was besagt die Schrödinger-Gleichung?
- 1.24 Welchen Dualismus kann man bei Elektronen feststellen?
- 1.25 Was bezeichnet die Hauptquantenzahl n im Atom?
- 1.26 Wie bezeichnet man die innerste Elektronenschale (erste Schale) im Atom? Wie die zweite, dritte und vierte Schale?
- 1.27 Was gibt die Nebenquantenzahl l an?
- 1.28 Welche Gestalt haben s-, welche p-, d- und f-Orbitale?
- 1.29 Geben Sie die Elektronenanordnung der Elemente Sauerstoff, Calcium, Kupfer und Brom an!
- 1.30 Wie heißen die vier Quantenzahlen?
- 1.31 Was besagt das Pauli-Prinzip?
- 1.32 Was besagt die Hund'sche Regel?

- 1.33** Was versteht man unter dem Begriff „Edelgaskonfiguration“?
- 1.34** Wie bezeichnet man die waagerechten Zeilen im Periodensystem der Elemente? Wie nennt man die senkrechten Spalten?
- 1.35** Im Periodensystem: Wo stehen die Metalle, wo die Nichtmetalle? Wie verläuft die Grenze zwischen beiden?
- 1.36** Was sind Hauptgruppenelemente, Nebengruppenelemente, was Lanthanoide und Actinoide? Was versteht man unter inneren und äußeren Übergangselementen?
- 1.37** Welche Gruppenbezeichnungen kennen Sie für die Elemente der ersten, zweiten, sechsten, siebten und achten Hauptgruppe?
- 1.38** Was sind Ionen, was Kationen, was Anionen?
- 1.39** Was versteht man unter dem Begriff „Elektronegativität“?
- 1.40** Wie ändern sich die Ionisierungsenergie, die Elektronegativität, die Atom- und Ionendurchmesser und der metallische Charakter mit der Lage der Elemente im Periodensystem?

2

Die chemische Bindung

- 2.1 Wie heißen die drei Arten der chemischen Bindung und wie die drei Arten der zwischenmolekularen Wechselwirkungen?
- 2.2 Was versteht man unter einem Molekül?
- 2.3 Was bedeutet in der Elektronenformel ein Punkt bzw. ein Strich am Elementsymbol?
- 2.4 Was bedeutet die in einer chemischen Gleichung vor einer chemischen Formel stehende Zahl, was die schräg unten rechts am Elementsymbol geschriebene Zahl?
- 2.5 Wie entsteht eine σ -Bindung? Welche Elektronenorbitale können σ -Bindungen eingehen?
- 2.6 Wie kommt eine π -Bindung zustande?
- 2.7 Was ist eine chemische Verbindung?
- 2.8 Aus welchen Bindungsarten sind Doppelbindungen, aus welchen Dreifachbindungen aufgebaut?
- 2.9 Wie entsteht eine Ionenbindung?
- 2.10 Was sind Salze?
- 2.11 Was versteht man unter Kristallhydraten?
- 2.12 Welches Vorzeichen und welche Ladungszahl haben Alkalimetallionen, Erdalkalimetallionen und Halogenionen in Ionenverbindungen?

2.13 Wie erklärt das Elektronengasmodell die metallische Bindung und die elektrische Leitfähigkeit der Metalle?

2.14 Geben Sie bei den folgenden Stoffen jeweils den Typ der chemischen Bindung an (unpolare/polare Atombindung, Ionenbindung, Metallbindung)! Verwenden Sie hierzu die in Tab. 1.8 aufgeführten Elektronegativitäten! KCl, Ti, HCl, N₂, H₂O, Ba, CaCl₂, CO, Cl₂, MgO.

2.15 Wie entsteht ein Dipolmolekül? Geben Sie jeweils Beispiele für ein zwei- und dreiatomiges Molekül an! Wie kann man den Dipolcharakter eines Moleküls in einer chemischen Formel ausdrücken?

2.16 Was versteht man unter

- a) Ion-Dipol-Wechselwirkung
- b) Dipol-Dipol-Wechselwirkung
- c) Van-der-Waals-Kräften
- d) Wasserstoffbrücken?

Nennen Sie jeweils ein Beispiel für Moleküle, bei denen die Wechselwirkung auftritt!

2.17 Geben Sie bei den folgenden Elementpaaren jeweils an, welche Art der Bindung – unpolare Atombindung, polare Atombindung oder Ionenbindung – vorliegt, und begründen Sie Ihre Entscheidung.

- a) K und Br
- b) H und S
- c) N und N
- d) P und Cl
- e) C und S
- f) Si und Cl

Verwenden Sie hierzu die in Tab. 1.8 aufgeführten Elektronegativitäten.

2.18 Ordnen Sie die folgenden Bindungen nach zunehmender Polarität und geben Sie die Begründung dafür an.



Welches Atom trägt jeweils die negative Partialladung?

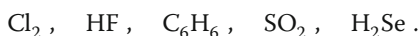
2.19 Welche der folgenden Bindungen sind stärker polar und warum?

- a) N–H oder P–H
- b) C–O oder C–S

- c) N–Cl oder N–Br
- d) S–Cl oder S–F

2.20 Geben Sie an, bei welchen der folgenden Verbindungen es sich um polare Moleküle handelt und begründen Sie Ihre Wahl: CS_2 (linear), CF_4 (tetraedisch), H_2S (gewinkelt), PH_3 (pyramidal), SCO (linear). Die jeweilige Molekülstruktur ist in Klammern angegeben.

2.21 Geben Sie für die folgenden Moleküle alle intermolekularen Wechselwirkungen an und begründen Sie Ihre Antwort:



2.22 Erklären Sie anhand der zwischenmolekularen Wechselwirkungen folgende Beobachtungen:

- a) die Verdampfungswärme von Neon ist niedriger als die von Xenon,
- b) der Siedepunkt von HF liegt viel höher als der von HCl und HBr,
- c) der Schmelzpunkt von Cl_2 ist niedriger als der von I_2 ,
- d) CH_4 ist bei Raumtemperatur und 1 bar gasförmig, CCl_4 ist eine Flüssigkeit, während CBr_4 ein Feststoff ist.

2.23 Bei welchen Molekülen treten Wasserstoffbrücken-Wechselwirkungen auf und warum?



2.24 Ordnen Sie folgende Stoffe – von links nach rechts – nach steigendem Siedepunkt und begründen Sie Ihre Entscheidung: NaF, O_2 , HCl, He, HF.

2.25 Erklären Sie anhand der zwischenmolekularen Wechselwirkungen, warum die Siedepunkte der Halogenwasserstoffe in der Reihenfolge HCl, HBr, HI ansteigen, obwohl die Unterschiede in der Elektronegativität zwischen H und den Halogenen in dieser Reihenfolge geringer werden!

2.26 Warum hat Ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ eine niedrigere Viskosität als Ethylenglykol $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$?

2.27 Welche der folgenden Substanzen hat jeweils die höhere Siedetemperatur? Begründen Sie Ihre Antwort!

- a) H_2S oder H_2O
- b) KCl oder CH_3Cl
- c) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ oder CH_3OCH_3
- d) CH_4 oder C_4H_{10}

2.28 Erklären Sie die folgenden Eigenschaften mithilfe der jeweils auftretenden zwischenmolekularen Wechselwirkungen. Bei 20 °C und 1 bar Druck gilt folgendes:

- KCl ist ein Feststoff,
- PCl_3 ist eine Flüssigkeit,
- Cl_2 liegt gasförmig vor.

2.29 Erläutern und begründen Sie die folgenden Stoffeigenschaften:

- a) Der Siedepunkt von NH_3 beträgt -33°C , während der von NF_3 bei -129°C liegt (jeweils bei 1 bar).
- b) Der Dampfdruck von Methanol (CH_3OH) ist größer als der von Wasser.
- c) Es tritt folgende Reihenfolge der Schmelzpunkte auf: $\text{I}_2 > \text{IBr} > \text{ICl}$.
- d) Der Siedepunkt von SO_2 beträgt bei 1 bar -10°C und SO_2 wird im elektrischen Feld abgelenkt. Die Sublimationstemperatur von CO_2 bei 1 bar beträgt -79°C und es wird nicht im elektrischen Feld abgelenkt.

2.30 Ordnen Sie die Siedepunkte (bei 1 bar) -48 ; -42 ; 97 ; 118 ; 290°C den folgenden Stoffen 1-Propanol $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$, Propan C_3H_8 , Propantriol (Glycerin) $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$, Propen C_3H_6 , 1-Butanol $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ zu und begründen Sie Ihre Entscheidung.

2.31 Warum besitzt H_2O einen höheren Schmelzpunkt (0°C) als HF (-83°C), obwohl die HF-Bindung stärker polar als die H–O-Bindung ist ($\Delta\text{EN} = 1,9$ im Vergleich zu $\Delta\text{EN} = 1,4$)?

2.32 Was besagen die Gesetze von den konstanten und multiplen Proportionen?

2.33 Was versteht man unter der relativen Atommasse, was unter der relativen Molekülmasse?

2.34 Warum kommt es bei den Zahlenwerten der relativen Atommassen von vielen Elementen zu erheblichen Abweichungen von den ganzzahligen Werten?

2.35 Was ist ein Mol?

2.36 Berechnen Sie die molare Masse folgender Verbindungen: CH_4 , SO_2 , CaCl_2 und CuSO_4 !

2.37 Welche Größenordnung hat die Avogadro-Konstante?

2.38 Wie viele Atome sind in einem Würfel aus Kupfer (Dichte: $d = 8,92 \text{ g/cm}^3$) mit der Kantenlänge 1 cm enthalten?

3

Die Aggregatzustände

3.1 Aus einem Drucktank, gefüllt mit Stickstoff (25 bar, 250 l, 20 °C), wird Gas entnommen. Dabei sinken Druck und Temperatur auf 20 bar und 15 °C. Berechnen Sie die Masse an entnommenem Stickstoff.

3.2 Welche Auswirkungen haben die zwischenmolekularen Wechselwirkungen auf den Aggregatzustand eines Stoffes bei Raumtemperatur?

3.3 Was sind die modellmäßigen Grundlagen des idealen Gases? Unter welchen Bedingungen sind diese Annahmen bei Gasen annähernd erfüllt?

3.4 Eine Gasflasche mit Sauerstoff hat bei 20 °C einen Druck von 200 bar. Wie groß ist der Druck bei 35 °C (*Annahme*: Sauerstoff = ideales Gas)?

3.5 Zum Betrieb eines Personenbusses mit Brennstoffzellen (siehe Abschn. 10.3.3 im Lehrbuch) sind im Dach sieben mit Wasserstoff gefüllte Hochdruckbehälter angebracht (Volumen jeweils $V = 150$ l, Druck $p = 300$ bar). Wie groß ist die gespeicherte Wasserstoffmenge in kg (*Annahme*: Wasserstoff = ideales Gas; $T = 25$ °C)?

3.6 Für einen Heißluftballon findet man folgende Angaben: Volumen $V = 4250$ m³, Leergewicht $m_L = 288$ kg, Temperatur der Heißluft $T_H = 105$ °C, maximale Tragfähigkeit $m_T = 912$ kg. Überprüfen Sie die Angabe der Tragfähigkeit durch eine theoretische Abschätzung bei Umgebungsbedingungen von 20 °C und 1 bar (*Annahme*: ideale Gase).

3.7 Was besagt das Gesetz von Avogadro?

3.8 Welche Einflussgrößen muss man bei einem realen Gas berücksichtigen?

3.9 Was versteht man unter dem Joule-Thomson-Effekt?

3.10 Was ist die kritische Temperatur, was der kritische Druck eines Gases?

- 3.11 Wodurch unterscheiden sich Flüssigkeiten und Schmelzen von festen Stoffen?
- 3.12 Was versteht man unter Anisotropie?
- 3.13 Welche Gittertypen hat das kubische Kristallsystem?
- 3.14 Was gibt die Gitterenergie eines Ionenkristalls an, und welche Stoffeigenschaften werden durch sie bestimmt?
- 3.15 Welche Struktur haben amorphe Feststoffe?
- 3.16 Was versteht man unter homogenen, was unter heterogenen Mischungen?
- 3.17 Wo muss man Raumentlüftungen anbringen, wenn man mit diesen die folgenden Gase oder Dämpfe durch Absaugen aus den Räumen entfernen will: H_2 (Wasserstoffgas); CH_4 (Methan, Erdgas); Cl_2 (Chlorgas); CO_2 (Kohlendioxid); C_3H_8 (Propan); C_4H_{10} (Butan)?
- 3.18 Was sind physikalische Gemenge?
- 3.19 Was sind Emulsionen, was Suspensionen?
- 3.20 Was sind kolloide Lösungen oder Dispersionen?
- 3.21 Woran kann man kolloide Lösungen erkennen?
- 3.22 Welche der folgenden Stoffe sollten vermutlich gut, welche schlecht in Wasser löslich sein (begründen Sie Ihre Entscheidung): CH_3OH , C_2H_6 , NaF , HCl , O_2 ?
- 3.23 Welche der folgenden Stoffe sollten vermutlich besser in Wasser, welche besser in Benzin löslich sein: Br_2 , CH_4 , KCl , HCl , I_2 , NH_3 ? Begründen Sie Ihre Entscheidung!
- 3.24 Erklären Sie folgende Beobachtungen:
- Ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ist mit Wasser mischbar, während Pentanol $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ in Wasser nur noch sehr wenig löslich ist.
 - I_2 löst sich besser in Ethanol als in Wasser.
- 3.25 Was versteht man unter dem Stoffmengengehalt?
- 3.26 Was bedeutet die Gehaltsangabe ppm?