

Erste Hilfe – Chemie und Physik für Mediziner

Jürgen Schatz • Robert Tammer
Hrsg.

Erste Hilfe – Chemie und Physik für Mediziner

5. Auflage

Hrsg.

Jürgen Schatz
Department Chemie und Pharmazie
– Organische Chemie
Universität Erlangen-Nürnberg
Erlangen, Deutschland

Robert Tammer
Institut für Komplexe Quantensysteme
Universität Ulm
Ulm, Deutschland

ISBN 978-3-662-69444-2

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-69445-9>

ISBN 978-3-662-69445-9 (eBook)

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2007, 2012, 2015, 2019, 2025

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: (c) robu_s/stock.adobe.com

Planung/Lektorat: Christine Stroehla

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Vorwort zur 5. Auflage

In der vorliegenden 5. Auflage unseres Buches „Erste Hilfe – Physik und Chemie für Mediziner“ wird der derzeit gültige Gegenstandskatalog der Fächer Chemie und Physik inhaltlich vollständig abgebildet. Damit sind Sie für die anstehenden Prüfungen gut gerüstet!

Aber warum überhaupt Chemie/Physik in der Medizin? Ganz einfache Antwort: Naturwissenschaften sind das Fundament, auf dem eine wissenschaftlich orientierte, moderne und nachhaltige Ausbildung in der Medizin fußt. Um den Einstieg hier möglich effizient und reibungsfrei zu gestalten, basiert auch die vorliegende Auflage auf dem Grundkonzept „Von Studierenden für Studierende“.

Zusammen mit dem Verlagsteam, Frau Ströhla und Frau Barton, haben wir diese 5. Auflage überarbeitet, indem wir Fehler korrigiert und Inhalte aktualisiert haben. Gleichzeitig wurde das Layout angepasst, um auch elektronische Versionen des Buches problemlos abbilden zu können. Recht herzlichen Dank an alle Beteiligten für diese konstruktive Unterstützung!

Noch ein redaktioneller Hinweis: Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter, auch wenn wir aus Gründen des Leseflusses auf die explizite Nennung der männlichen und weiblichen Sprachform verzichtet haben sollten.

Liebe Leserin und lieber Leser, nun viel Spaß beim Erlernen der naturwissenschaftlichen Grundlagen für *Ihr* Medizinstudium!

Jürgen Schatz

Robert Tammer

Erlangen und Ulm

Juni 2025

Vorwort zur 1. Auflage

Herzlichen Glückwunsch, Sie haben einen Studienplatz in der Medizin oder einer vergleichbaren Lebenswissenschaft bekommen. Ein erster Blick in die Studienordnung, die Stundenpläne etc. führt aber schon zur Ernüchterung, denn da finden sich auch so ungeliebte Fächer wie Physik oder Chemie. Da fällt Ihnen dann wieder ein, dass der letzte Chemieunterricht sehr lange her ist oder dass Sie das Fach Physik eh' immer gehasst haben (ist auch in beliebigen anderen Kombinationen denkbar).

So oder so ähnlich stellte sich für uns die Situation bei Gesprächen mit den Studienbeginnern in den ersten Semesterwochen dar. Als nächste Frage kam immer: „Ich will doch Medizin (oder ...) studieren – wozu braucht man dafür Physik/Chemie?“ Die Antwort ist dann immer relativ leicht: Jeder Mediziner braucht ein gewisses Maß an naturwissenschaftlichem Grundverständnis: Denken wir nur an die Funktion unserer Sinne, die Chemie unseres Stoffwechsels inklusive Medikamente, die medizintechnische Ausstattung der Kliniken, aber auch die neuesten medizinischen Forschungsgebiete der Humangenetik. Der (Wieder-)Einstieg in die Naturwissenschaften ist aber nichtsdestotrotz in den ersten Semestern für die meisten hart und auch mit einer hohen Hemmschwelle verbunden.

Die neue Approbationsordnung (2002) führte zu einer inhaltlichen Abstimmung aller Fächer der Vorklinik, um diesen Studienabschnitt zu straffen und effizient zu gestalten. Bei den gemeinsamen Gesprächen an der Universität Ulm, an der beide Herausgeber lehren/lehrt, zeigten sich immer die gleichen Hauptprobleme: Die einzelnen Studierenden bringen aus ihrer Schulzeit extrem unterschiedliche naturwissenschaftliche Kenntnisse mit, die erst auf ein einheitliches Niveau gebracht werden müssen. Nach unserer Erfahrung gibt es ein weiteres Problem: Die meist geringen mathematischen Kenntnisse erschweren einen Zugang zu Naturwissenschaften oder machen ihn in einigen Fällen fast unmöglich. (Zitat: „Was ist denn ein Logarithmus?“ – da wird es schwer mit dem pH-Wert.)

Hier setzt ERSTE HILFE ein, in dem wir einen „Mathe-Basics-Teil“ den Naturwissenschaften Chemie und Physik vorangestellt haben. Dieser entstand aus einem von der Physik und Chemie an der Universität Ulm gemeinsam durchgeführten und bewährten Mathematik-Vorkurs. Wohlbemerkt: ERSTE HILFE soll nicht dazu dienen, etablierte Lehrbücher der Chemie und Physik zu ersetzen, sondern den Zugang zu diesen oft als schwierig erachteten Fächern leichter zu machen. Deshalb ist auch hier ein anderes Konzept für ein Lehrbuch beschritten worden:

» VON STUDIERENDEN FÜR STUDIERENDE.

Die Autoren der einzelnen Kapitel haben größtenteils bei uns in Ulm die entsprechenden Kurse der Physik und Chemie erfolgreich absolviert und den 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (Physikum) hinter sich. Aus deren eigenen Erfahrungen – auch bei der Vorbereitung zu den Physikumsprüfungen – entstanden die Schwerpunkte der einzelnen Kapitel. Hier zeigte sich auch, dass Dinge, die wir im Unterricht nur sehr kurz behandeln („Ist ja trivial“), hier etwas ausführlicher darlegt sind – aber auch der umgekehrte Fall ist zu finden. Anscheinend gibt es hier doch unterschiedliche Betrachtungsweisen. Trotzdem ist der Gegenstandskatalog der Physik wie auch der Chemie abgedeckt, in einer Form, die sich – zumindest für die Autoren – als erfolgreich für alle notwendigen Prüfungen erwies. Absicht ist auch gewesen, die „Sprache der Studierenden“ möglichst zu erhalten; dies erforderte von Herausgeberseite natürlich Zurückhaltung, sollte aber ein etwas kurzweiliges Leseerlebnis garantieren.

Wir hatten als Herausgeber nur die Aufgabe (und auch das Vergnügen), die Vielzahl von Autoren „unter einen Hut“ zu bringen, was uns alle Beteiligten aber sehr leicht gemacht haben. Es war für uns erfrischend zu sehen, mit welchem Elan geschrieben, gezeichnet und diskutiert wurde, um dieses Buch möglich zu machen – und das alles neben dem normalen Semesterbetrieb oder sogar Physikumsprüfungsstress. Allen dafür vielen herzlichen Dank!!

Besonderer Dank auch an das Verlagsteam, namentlich Frau Doyon und Frau Nühse, die nicht nur die Autorinnen und Autoren zusammenhalten, sondern dazu auch noch zwei

Herausgeber lenken mussten. Ebenso sei Frau Meinrenken vom Fachlektorat gedankt, für ihre Anmerkungen, Verbesserungen und Nachfragen.

Zum Schluss wünschen wir den Leserinnen und Lesern eine schöne und erfolgreiche Zeit mit ERSTE HILFE – Chemie und Physik. Naturwissenschaften können – auch in Medizin und Lebenswissenschaften – Spaß machen!

Jürgen Schatz

Robert Tammer

München/Ulm

August 2007

Das Layout

Ein durchdachtes Layout gliedert den Inhalt und verschafft Ihnen Überblick. Hier finden Sie alle Layoutelemente, die zum Einsatz kommen.

Jedes Kapitel beginnt mit einer Übersicht der behandelten Themen:

Lernziel

- Komplexverbindung/Komplex
- Zentralteilchen/-ion
- Ligand
- Koordinationszahl
- Chelatkomplexe und Chelatoren
- Geometrie
- Isomerie

Wie jetzt? Zum Einstieg ins Thema gibt es erstmal eine Frage:

Wie jetzt? Spurenelemente

Wenn man sich mal seine morgendliche Müslipackung vornimmt oder die Flasche Multivitamin-saft, findet man häufig eine Tabelle, die angibt, welchen Anteil die „lebenswichtigen Spurenelemente“ in 100 g oder 100 ml ausmachen. Ist ja meist recht wenig, so ein paar Milligramm. „Was soll ich dann überhaupt damit? Und warum eigentlich?“, mag man sich da fragen. Was machen also eigentlich diese Spurenelemente?


Zwischendrin kommen immer wieder Merksätze:

➤ **Komplexe sind Koordinationsverbindungen aus Zentralatom und Liganden.**

Hätten Sie's gewusst? Hier gibt es Interessantes für Zwischendurch:

Hätten Sie's gewusst? Einen Komplex zu haben, ist lebenswichtig!

Man findet solche Chelatkomplexe nicht nur im Reagenzglas, sondern auch in der „freien Natur“. Dort erfüllen sie an vielen Stellen geradezu essenzielle Funktionen. Hierzu zwei wichtige Beispiele:

- **Häm-Gruppe des Hämoglobins:** Für Speicherung und Transport von Sauerstoff im Blut ist das Hämoglobin verantwortlich, genauer gesagt die Häm-Gruppe dieses Proteins, das in den Erythrozyten enthalten ist. Chemisch betrachtet ist Häm ein Eisen(II)-Chelatkomplex. Das Zentralion ist also ein Fe^{2+} -Ion mit sechs Koordinationsstellen. Vier davon werden durch den vierzähligen Liganden Porphyrin eingenommen, ein Derivat der Porphine. An der fünften Stelle bindet ein Rest des Proteins, genauer gesagt ein Histidinrest. An der verbleibenden Stelle lagert sich in der Lunge ein Sauerstoffmolekül (O_2) an ( Abb. 11.11). Da Hämoglobin vier solcher Häm-Gruppen besitzt, ist es in der Lage, vier Moleküle Sauerstoff zu transportieren. Allerdings kann hier auch Kohlenmonoxid gebunden werden. Da dieses aber 200-mal stärker bindet, führt schon das Einatmen geringer Mengen CO zum Tod durch Ersticken.

Die Kernpunkte werden kurz und knapp in einer Box zusammengefasst:

kurz & knapp

- Komplexe bestehen aus einem Zentralatom/-ion mit gebundenen Liganden.
- Als Zentralatome findet man oft Metallionen; sie haben je nach Komplex unter Umständen eine andere Koordinationszahl, häufig sind die KZ 4 und 6.

Alles verstanden? Übungsaufgaben und Lösungen helfen bei der Anwendung des Gelernten:

Aufgabe 1

Welche Oxidationsstufe/-zahl und welche Koordinationszahl hat das Zentralatom/-ion?

- $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$.
- $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$.
- $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2]^+$.
- $[\text{Cu}(\text{en})_2]\text{SO}_4$.
- $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.
- $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{SCN})_2]\text{Cl}$.

Lösung 1

Um die Oxidationszahl (OZ) zu bestimmen, muss man wissen, welche Ladung die Liganden haben bzw. die „Ausgleichsionen“, die die Gesamtladung neutralisieren. Die Koordinationszahl (KZ) ergibt sich aus der Anzahl der direkt im Komplex gebundenen Liganden, also ohne die „Ausgleichsionen“.

- Cyanid (CN^-) ist einfach negativ geladen; da im Komplex vier davon gebunden sind $[4 \cdot (-1)]$ und eine Restladung von -1 erhalten bleibt, muss das Goldion die OZ $+3$ haben. Koordiniert werden vier Cyanidionen, Au hat also die KZ 4.
- Cd^{2+} , KZ = 4.
- Cu^+ , KZ = 4.
- Cu^{2+} , KZ = 4 (en = zweizähniger Ligand).
- Kalium ist als „Ausgleichsion“ einfach positiv $[4 \cdot (+1)]$, Cyanid wieder -1 $[6 \cdot (-1)]$; es bleibt also, da das Salz neutral ist, für das Eisen nur die OZ $+2$. Koordiniert werden diesmal sechs CN^- , Fe^{2+} hat in diesem Fall also als KZ 6.
- Fe^{3+} , KZ = 6.

Und zum Schluss wird die Frage vom Anfang beantwortet:

Alles klar! Was machen die Spurenelemente im Müsli?

Zuerst muss geklärt werden, was denn überhaupt Spurenelemente sind. Hierunter versteht man laut Definition all jene Elemente, die zwar essenziell, d.h. lebensnotwendig, sind, aber eben nur in sehr geringen Mengen von weniger als 100 mg täglich mit der Nahrung aufgenommen werden müssen. Darunter fallen:

- Eisen
- Kupfer
- Zink
- Cobalt
- Mangan
- Molybdän
- Selen
- Chrom
- Iod
- Fluor

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen

1	Mathematische Grundlagen	3
	<i>Anne McDougall, Philipp Wagner, Ann-Kathrin Hartmann und Annekathrin Drensek</i>	
1.1	Gleichungen	5
1.2	Vektoren und Skalare	8
1.3	Trigonometrie	12
1.4	Potenzen und Potenzfunktionen	16
1.5	Einfache Differenziale und Integrale	21
1.6	Messen und Messunsicherheiten – Statistik	25
1.7	Grafische Darstellung von Zusammenhängen	31
2	Naturwissenschaftliche Grundlagen	39
	<i>Annekathrin Drensek, Ann-Kathrin Hartmann, Philipp Wagner und Anne McDougall</i>	
2.1	SI-Einheiten	40
2.2	Atombau, Bohr'sches Atommodell	44
2.3	Stoffe & Co.	46
2.4	Masse, Stoffmenge, Dichte und Konzentration	51
2.5	Stöchiometrisches Rechnen	54

II Physik

3	Mechanik	59
	<i>Lisa Schiefele, Stefanie Bohn und Simon Sachs</i>	
3.1	Physik starrer Körper	60
3.2	Verformbare Körper und Blutkreislauf	84
3.3	Mechanische Schwingungen und Wellen	102
4	Wärmelehre	121
	<i>Maria Heuberger und Theresa Fels</i>	
4.1	Temperatur	122
4.2	Wärme	125
4.3	Gaszustand	130
4.4	Transportphänomene	135
4.5	Stoffgemische	145
5	Elektrizitätslehre	153
	<i>Stefanie Rankl und Philipp Wagner</i>	
5.1	Elektrische Ladung und elektrisches Feld	155
5.2	Elektrische Spannung und elektrisches Potenzial	160
5.3	Einfache Stromkreise	162
5.4	Magnetismus, Induktion und elektromagnetische Welle	168
5.5	Wechselspannung, Wechselstrom, biologische Wirkung	177
5.6	Elektrizitätsleitung – Leitungsmechanismen	183
6	Optik	191
	<i>Susanne Albrecht</i>	
6.1	Licht	192
6.2	Geometrische Optik	197
6.3	Wellenoptik	213
6.4	Optische Instrumente	216

7	Ionisierende Strahlung	223
	<i>Dominik Schneidawind</i>	
7.1	Radioaktivität	224
7.2	Röntgenstrahlung	229
7.3	Wirkung ionisierender Strahlung	234
 III Chemie		
8	Allgemeine Chemie	243
	<i>Jürgen Schatz, Lisa Schiefele, Katharina Trenkle, Birgit Beyrle und Karin Baur</i>	
8.1	Einführung	244
8.2	Chemische Bindungen	245
8.3	Chemisches Gleichgewicht	263
8.4	Oxidation, Reduktion, Redoxreaktion	277
8.5	Chemische Reaktionsenergetik und -kinetik	285
9	Anorganische Chemie	301
	<i>Verena Gruber</i>	
9.1	Periodensystem (PSE)	302
9.2	Exemplarische Abhandlung der Chemie wichtiger Elemente	306
10	Organische Chemie	315
	<i>Stefanie Bohn, Dominik Buckert, Stefanie Rankl und Ricarda Krebs</i>	
10.1	Kohlenwasserstoffe	316
10.2	Organische Verbindungen mit Heteroatomen	331
10.3	Grundlegende Reaktionstypen und -mechanismen der organischen Chemie	348
10.4	Einführung in die Naturstoffe: Kohlenhydrate, Fette und Aminosäuren	363
11	Komplexchemie	387
	<i>Malte Schirrmann</i>	
11.1	Einleitung	388
11.2	Genereller Aufbau	388
11.3	Struktur und Geometrie	389
11.4	Chelatkomplexe	390
11.5	Stabilität	392
11.6	Isomerie	394
11.7	Bindungstheorien	394
12	Nomenklatur in der Chemie	397
	<i>Heike Görner</i>	
12.1	Einleitung	398
12.2	Anorganische Stoffe	398
12.3	Funktionelle Gruppen und Ausnahmen	401
12.4	Organische Stoffe	402
12.5	Komplexnomenklatur	406
13	Spektroskopie	409
	<i>Jürgen Schatz</i>	
13.1	Einleitung	410
13.2	Infrarot-Spektroskopie	411
13.3	UV/vis-Spektroskopie	412
13.4	Kristallstrukturanalyse	413
13.5	Magnetresonanz-Spektroskopie (NMR-Spektroskopie)	413
13.6	Massenspektrometrie	416

14	Medizinisch relevante Werkstoffe und Biomaterialien	419
	<i>Jürgen Schatz</i>	
14.1	Einleitung	420
14.2	Metalle und Legierungen	420
14.3	Keramische Materialien	421
14.4	Polymere	421
	Serviceteil	427
	Anhang	428
	Literatur	446
	Stichwortverzeichnis	447

Herausgeber und Autorinnen/Autoren

Über die Herausgeber



Prof. Dr. Jürgen Schatz

Professor für Organische Chemie an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU Erlangen-Nürnberg), Verantwortlich für die Ausbildung »Chemie für Mediziner«. Promotion an der Universität Regensburg in Organischer Chemie, anschließend einjähriger PostDoc-Aufenthalt am Imperial College, London; Habilitation in Organischer Chemie 2002 an der Universität Ulm. 2007 Wechsel auf eine Professur für Organische Chemie an der FAU Erlangen-Nürnberg. Seit 2004 verantwortlich in der Chemieausbildung in den Studiengängen Human- und Zahnmedizin. Gründungsmitglied der Arbeitsgemeinschaft Chemie in der Mediziner Ausbildung innerhalb der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), Mitarbeit am Chemieteil des Gegenstandskatalogs Chemie für Mediziner und Biochemie/Molekularbiologie (2014).



Dr. Robert Tammer

Lehrbeauftragter für das Praktikum der Physik für Human- und Zahnmediziner und der begleitenden Lehrveranstaltungen an der Universität Ulm. Diplom und Promotion in experimenteller Physik an der Universität Ulm. 7 Jahre Forschungs- und Lehrtätigkeit an der FH Brandenburg – unter anderem Konzeption und Durchführung von Lehrpraktika und Vorlesungen zu »Physik im Nebenfach«. Seit 2001 Lehrbeauftragter für das Praktikum der Physik für Human- und Zahnmediziner sowie seit 2006 für die begleitende Vorlesung und das Seminar mit klinischen Bezügen »Medizintechnik«.

Die Autorinnen und Autoren

Susanne Albrecht Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Karin Baur Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Birgit Beyrle Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Stefanie Bohn Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Dominik Buckert Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Annekathrin Drensek Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Theresa Fels Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Heike Görner Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Verena Gruber Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Ann-Kathrin Hartmann Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Maria Heuberger Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Ricarda Krebs Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Anne McDougall Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Stefanie Rankl Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Simon Sachs Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Lisa Schiefele Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Malte Schirrmann Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Dominik Schneidawind Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Katharina Trenkle Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland

Philipp Wagner Department Chemie und Pharmazie – Organische Chemie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Deutschland