

# Die Physik des Lebens verstehen

Es gibt Bakterienstämme, die so tief in der Erdkruste leben, dass sie abgeschlossen vom Sonnenlicht ihre Energie aus dem radioaktiven Zerfall des umgebenden Gesteins gewinnen.

Obwohl der Tunneleffekt eines der bizarrsten Quantenphänomene ist, kommt er in lebenden Zellen vor und ist sogar ein wichtiger Antrieb für die Evolution sowie eine potenzielle Ursache von Krebserkrankungen.

Nicht nur Zugvögel nehmen magnetische Felder wahr, auch Bakterien nutzen sie zur Orientierung, und beim Menschen helfen Magnetfelder, neurologische Erkrankungen wie multiple Sklerose zu diagnostizieren.

Elektrische Ströme tragen Nervenimpulse weiter und transformieren Energie. Sie wärmen aber auch frierende Babys, die dafür in ihren Zellen einen elektrischen Kurzschluss erzeugen.

Mithilfe von Linsenaugen nehmen viele Arten, von der Würfelqualle bis zum Menschen, Informationen auf. Bestimmte Tiefseefische wollen aber gleichzeitig nach oben und nach unten schauen – und nutzen dafür Spiegelaugen.

## Warum Biologen Physik lernen sollten ... und Physiker Biologie

Ohne Physik können wir nicht verstehen, wie Leben funktioniert. Wir können es sammeln, beschreiben und klassifizieren. Wir können Organe sezieren, Muskeln benennen und Nerven präparieren. Wir können Stoffwechselwege analysieren, Hormone isolieren und Gene sequenzieren. Doch bei alldem wissen wir nicht, was wir tun, solange wir nicht die grundlegenden Prinzipien der Physik verstanden haben. Wir sortieren Schmetterlinge nach der Färbung ihrer Flügel – und ahnen nicht, wie diese Farbe zustande kommt. Wir lernen den Aufbau von Nervenfasern – ohne zu begreifen, warum sie ausgerechnet auf diese Weise organisiert sind. Wir manipulieren die Struktur der DNA – und haben keine Ahnung, was die Doppelhelix zusammenhält. Ohne Physik

bleiben wir bei der Erforschung des Lebens zwangsläufig an der Oberfläche.

Umgekehrt bietet das Leben interessierten Physikern ein faszinierendes Forschungsgebiet voller Schönheit und vertrackter Rätsel. Im Gegensatz zu den reduzierten Modellen, technischen Apparaturen und isolierten Objekten, mit denen sie sich meistens beschäftigen, machen sich in biologischen Systemen stets Mechanismen aus den unterschiedlichsten physikalischen Teildisziplinen bemerkbar. Biomoleküle, Zellen und Organismen sind zugleich mechanisch und quantenmechanisch, fest und fluid, materiell und energetisch und natürlich immer thermodynamisch agil. Ein biologisches Objekt zu beschreiben und zu modellieren, ist eine ganz andere Aufgabe als der Umgang mit Sensoren und Operatoren – es ist ... lebendiger.

## Physikalische Konzepte aus der Sicht des Lebens

Obwohl die Physik und die Lebenswissenschaften einander also überaus viel zu bieten haben, ist ihr Verhältnis in Forschung und Lehre häufig ein wenig schwierig. Vereinfachend gesagt ist die Physik vielen Biologen und Mediziner zu abstrakt und mathematisch, während das Phänomen Leben vielen Physikern zu komplex und chaotisch erscheint. Dementsprechend verlaufen Vorlesungen für Studierende der Lebenswissenschaften, die Physik als Nebenfach belegen müssen, leider allzu oft unbefriedigend für Lernende wie Lehrende. Die Dozenten sind frustriert, weil die Studierenden selbst einfachste Konzepte nicht begreifen, und die Studierenden fragen sich die ganze Vorlesung über, was das alles mit ihrem eigentlichen Fach zu tun haben soll.

Hier setzt das Lehrbuch *Physik für Biologen und Mediziner* an. Es unterstützt die Vorlesung auf eine neue Weise, indem es nicht einfach nur das physikalische Wissen zusammenfasst, wie es auch reine Physikbücher tun, sondern *Physik für Biologen und Mediziner* schlägt eine Brücke zwischen den

beiden Wissenschaften sowie zwischen Lehrenden und Lernenden. Anstelle von stark vereinfachten technischen Modellen ohne Bezug zum Leben nutzen wir konkrete biologische und medizinische Objekte, an denen wir uns das physikalische Wissen erarbeiten. Beispielsweise untersuchen wir die Prinzipien der Kinematik und Dynamik anhand des Gehvorgangs und der Kräfte, die dabei auf das Kniegelenk und die Sehnen wirken. Die Wellenoptik erschließen wir mit den Farben von Pflanzen, Tieren und Spinnennetzen. Isotope lernen wir anhand der Isotopendiskriminierung kennen, mit der Pflanzen bevorzugt unterschiedliche Arten von Kohlenstoff fixieren. Die Physik erwächst also aus den biologisch-medizinischen Fragestellungen und entwickelt sich damit sehr viel praxisnäher mit einer ständigen Verbindung zum Leben. Dieser im doppelten Wortsinne *natürliche* Zugang zur Denkweise der Physik steigert erheblich die Motivation und damit die Lernbereitschaft. Aus dem Zwang „Ich muss das lernen“ wird der Wunsch „Ich will das wissen!“ – genau der Gedanke, der jeden Wissenschaftler antreibt.

Die enge Verflechtung von Physik und Leben bringt es mit sich, dass *Physik für Biologen und Mediziner* alle Teilgebiete der Physik umfasst – von der Quantenmechanik bis hin zur Thermodynamik. Einzig die Relativitätstheorie ist ausgespart, da ihre Aussagen nur bei so gewaltigen Massen oder extremen Geschwindigkeiten einen nennenswerten Vorteil gegenüber der klassischen Physik bieten, wie sie in biologischen Systemen nicht vorkommen. Außerdem verzichten wir im Buch auf die mathematischen Herleitungen der physikalischen Gesetze, damit in der Fülle der Formeln nicht die entscheidende Gleichung untergeht. Stattdessen besprechen wir ausführlich die Bedeutungen der einzelnen Komponenten und Terme, um die Aussage der Gesetze zu begreifen. In Kombination mit einer Vorlesung, in welcher der Dozent die Formeln herleitet, erarbeiten wir uns so ein umfassendes Verständnis für die formale Struktur *und* die innewohnende Bedeutung physikalischer Gesetze.

Diese neue lebensnahe Herangehensweise an die Physik zeigt sich auch daran, dass sich *Physik für Biologen und Mediziner* an beide Seiten richtet: Studienanfänger in den Lebenswissenschaften und Dozenten der Vorlesungen für Physik als Nebenfach. Wegen ihrer unterschiedlichen Sichtweisen und Vorkenntnisse empfehlen sich zwei verschiedene Herangehensweisen an das Buch.

## Wie Studierende dieses Buch optimal nutzen

Wenn Sie Biochemie, Biologie, Medizin, Pharmazie oder eine andere Lebenswissenschaft studieren und Physik als Nebenfach belegt haben, bietet Ihnen *Physik für Biologen und Mediziner* eine umfassende Einführung in die Konzepte der Physik und deren Wirken in lebenden Organismen. Sein vol-

les Potenzial entwickelt das Buch aber erst, wenn Sie es parallel zur Vorlesung einsetzen. Optimal wäre folgende Vorgehensweise:

1. Lesen Sie das entsprechende Kapitel im Buch, sobald in der Vorlesung ein neues Thema beginnt. Dabei brauchen Sie noch nicht alle Formeln auswendig zu lernen, vielmehr kommt es darauf an, grundsätzlich zu verstehen, welche Art von Phänomen behandelt wird und wo es in lebendigen Systemen vorkommt.
2. Mit diesem Wissen können Sie der Vorlesung bedeutend leichter folgen und besser einschätzen, welche Bedeutung die vorgestellten Theorien und Gleichungen für Ihr Hauptfach haben. In der Vorlesung erfahren Sie auch, auf welche Schwerpunkte es in den Prüfungen für Ihr Fach ankommt und welche Fakten und Formeln Sie tatsächlich kennen müssen.
3. Wenn Sie nach der Vorlesung noch einmal den betreffenden Abschnitt im Buch nacharbeiten, werden Sie weitere Zusammenhänge herstellen, und vieles, was Sie sonst stupide auswendig lernen müssten, ergibt sich plötzlich wie von selbst. Falls Sie einzelne Aspekte nicht verstehen, können Sie Ihren Dozenten in der nächsten Stunde gezielt danach fragen.

Das Buch hilft Ihnen mit verschiedenen didaktischen Mitteln, schnell den Überblick zu einem Thema zu gewinnen und die wesentliche Aspekte zu erkennen:

1. Jedes Kapitel zeigt zu Beginn Bilder von biologischen Systemen und den physikalischen Phänomenen, die wir an ihnen beobachten können. Dadurch sehen Sie auf einen Blick, welche Bedeutung das jeweilige Thema für Ihr Studium hat.
2. Innerhalb der Kapitel veranschaulichen Übersichten im Stil von Pull-down-Menüs die Zusammenhänge und Strukturierung des Themas. So erfassen Sie schnell, in welchem physikalischen Kontext ein Effekt steht.
3. Im Haupttext sind in jedem Absatz **einzelne Wörter oder Wortgruppen durch Fettdruck hervorgehoben**. Sie weisen auf den Inhalt des jeweiligen Absatzes hin und helfen Ihnen, den Überblick zu behalten.
4. Tiefergehende und zusätzliche Informationen sind in Kästen ausgelagert. Dadurch stören sie nicht den roten Faden des Haupttextes, gehen aber auch nicht verloren.

### Genauer betrachtet

## Seitenblicke für tieferes Wissen

Manche Informationen sind nicht unbedingt notwendig, um das Leben zu begreifen, und manche physikalischen Effekte treten in lebenden Organismen nicht auf. Trotzdem sind sie wichtig für ein umfassendes Verständnis des Themas. Dieser Kastentyp lässt uns über den biologisch-medizinischen Tellerrand blicken.

**Hilfsmittel und Messgeräte****Vom Stethoskop bis zur transkraniellen Magnetstimulation**

Die Arbeitsgeräte und -methoden von Forschern und praktizierenden Ärzten funktionieren nach den physikalischen Gesetzen, die im Buch besprochen werden. Dieser Kastentyp erklärt, wie die Theorie zur Anwendung wird.

**Köpfe und Ideen****Physik im biologischen Einsatz**

Eine besondere Kategorie sind die Kästen mit den Beiträgen aktiver Forscher, die uns zeigen, auf welche Weise die Physik dazu beiträgt, konkrete biologische Fragestellungen zu beantworten. In diesem Kastentyp berichten Wissenschaftler selbst, wie sie offene Fragen der Biologie und Medizin mit physikalischen Mitteln bearbeiten.

**Wissen angewandt**

Mit ihnen überprüfen wir selbst, inwieweit wir den Stoff verstanden haben und anwenden können. Am Ende des Kapitels stehen die zugehörigen Lösungen mit ausführlichen Erklärungen.

5. Den Abschluss jedes Kapitels bilden weiterführende Hinweise für all jene, die mehr erfahren möchten.

Auch wenn das primäre Ziel des neuen Konzepts und der didaktischen Methoden natürlich darin besteht, Ihnen über ein besseres Verständnis den Weg durch die Prüfungen zu erleichtern, könnte es sein, dass auch *Physik für Biologen und Mediziner* wie jeder Wirkstoff eine Nebenwirkung hat: Sie werden feststellen, dass Physik spannend sein und Spaß machen kann!

**Wie Dozenten von diesem Buch profitieren können**

Wenn Sie als Dozent eine Vorlesung zur Physik geben, sind Ihnen die physikalischen Konzepte in diesem Buch natürlich allesamt bestens vertraut. Dennoch kann *Physik für Biologen und Mediziner* Sie dabei unterstützen, Ihren Studierenden die Bedeutung der Physik für das eigene Hauptfach und das spätere Berufsleben zu vermitteln. Vor allem die zahlreichen

konkreten Anwendungsbeispiele helfen dabei, immer wieder den Bezug der Physik zur Biologie und Medizin herzustellen:

- Mit einer Vorschau auf die biologische Relevanz eines Themas ähnlich wie bei den Bildern an den Kapitelanfängen gewinnen Sie nicht nur die Aufmerksamkeit Ihrer Zuhörer, sondern helfen ihnen zugleich, den folgenden Stoff in einen Kontext einzuordnen, der zum jeweiligen Hauptfach passt.
- Scheinbar harmlose Fragen können ein Thema einleiten und seine Behandlung spannend machen. „Wozu hat der Mensch überhaupt eine Kniescheibe?“ wäre beispielsweise ein geeigneter Einstieg in die Mechanik der Hebel (Abbildung 8.6), „Warum verbraucht der Mensch auch in völliger Ruhe noch 80 Watt?“ ein Motivationsschub für die Thermodynamik (Kapitel 11).
- Eingestreute biologische Beispiele oder Herleitungen physikalischer Phänomene an biologischen Systemen anstelle reduzierter physikalischer Modelle verfestigen die Beziehung zwischen Theorie und Praxis. Sie können dem Buch nach Bedarf einzelne Beispiele entnehmen oder aber seinem roten Faden über ganze Abschnitte folgen.
- Kleine Exkurse zu verblüffenden Tatsachen aus der Biologie wecken immer neu das Interesse. Welcher Studierende weiß schon, dass die DNA ihre berühmte Doppelhelix nur durch elektrostatische Anziehungskräfte zu angelagerten Kationen erhalten kann (Abbildung 3.1)? Und wer hätte gedacht, dass genetische Mutationen durch das Tunneln von Protonen in der DNA hervorgerufen werden können (Kasten „Der Tunneleffekt“ auf Seite 32)? Besonders die Bilder und der Kastentyp *Genauer betrachtet* bieten hier viel Material.
- Die Berichte aktiver Wissenschaftler in den Kästen *Köpfe und Ideen* zeigen an Beispielen aus der aktuellen Forschung, wie die Physik an der Entstehung neuer biologisch-medizinischer Erkenntnisse beteiligt ist. Etwa wenn es um gefälschte Mumien, elektrische Reizleitung bei Pflanzen oder die Reaktionen von Grashüpfern auf den gestiegenen Umweltlärm geht.
- Rechenaufgaben erfreuen sich bei Biologen und Mediziner größerer Beliebtheit, wenn sie lebendige Systeme behandeln. Zu diesem Zweck sind im Buch vorwiegend Materialkonstanten von biologischen Substanzen aufgelistet.

Das Buch *Physik für Biologen und Mediziner* hat sein Ziel erreicht, wenn es über den stärkeren Bezug zum Phänomen Leben die Aufmerksamkeit Ihrer Studierenden erhöht und dadurch ihr physikalisches Wissen vergrößert.

Und falls Sie bei der Beschäftigung mit den biologischen Seiten der Physik selbst neugierig darauf geworden sind, wie das Leben funktioniert, wäre womöglich mein Buch *Biologie für Einsteiger – Prinzipien des Lebens verstehen* von Springer Spektrum die richtige Lektüre für Sie. Im Gegensatz zu kon-

ventionellen biologischen Lehrbüchern, die einem hierarchischen Aufbau vom Molekül zum Organismus folgen und dadurch Zusammenhänge auseinanderreißen, geht die *Biologie für Einsteiger* funktionell vor, als würde sie gemeinsam mit dem Leser ein Leben am Reißbrett entwerfen und schrittweise umsetzen. Dadurch reduziert sich die verwirrende Vielfalt des Lebens auf eine überschaubare Anzahl von Prinzipien, die vom Bakterium bis zum Menschen auf allen Ebenen gültig sind – das Buch überträgt gewissermaßen die physikalische Art zu denken auf die Biologie.

## Vielen Dank an alle Helfer!

*Physik für Biologen und Mediziner* stammt – mit Ausnahme der Kästen *Köpfe und Ideen* – aus einer Feder und ist dennoch das Werk eines großen Teams. Im Verlag Springer Spektrum hat sich Merlet Behncke-Braunbeck als Programmleiterin Life Sciences sofort für den Vorschlag begeistert, ein Physikbuch zu entwickeln, bei dem das Leben im Mittelpunkt steht, und dem Projekt alle Wege frei gemacht. Die Betreuung als Lektorin hat Dr. Meike Barth mit viel Geduld und Fingerspitzengefühl übernommen und die vielen Fäden nicht nur in der Hand gehalten, sondern auch immer zur rechten Zeit an ihnen gezogen. Mit der sprachlichen Bearbeitung des Textes sowie der Suche nach den besten Fotos mit den außergewöhnlichsten Motiven hat sich Andreas Held ausgezeichnet. Obendrein stammen einige der schönsten Bilder aus seiner eigenen Arbeit als Naturfotograf. Die hervorragenden Grafiken und Schemazeichnungen hat Stephan Meyer erstellt und damit einen neuen Standard für die bildliche Darstellung in Physikbüchern gesetzt.

Wie eng Physik und Lebenswissenschaften verknüpft sind und welche zentrale Rolle die Physik häufig in der modernen biologischen Forschung spielt, haben die Beiträge in den Kästen *Köpfe und Ideen* gezeigt, die von folgenden Wissenschaftlern stammen: Prof. Dr. Martin S. Fischer (Friedrich-Schiller-Universität Jena), Prof. Dr. Jörg Fromm (Universität Hamburg), Prof. Dr. Judith Korb (Albert-Ludwigs-Univer-

sität Freiburg), Dr. Gerhard Morgenroth (Marie-Therese-Gymnasium Erlangen), Prof. Dr. Ralf Reski (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg), Dipl.-Biochem. Markus Ritzefeld (Universität Bielefeld), Prof. Dr. Joachim Spatz (Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg), Prof. Dr. Hans-Joachim Wagner (Eberhard-Karls-Universität Tübingen) und Prof. Dr. Michael Winklhofer (Ludwig-Maximilians-Universität München). Sie alle wurden von Margit Maly betreut, die während ihres Praktikums bei Springer Spektrum eine zuverlässige und mitdenkende Hilfe für mich war.

Auf sachliche Richtigkeit haben Dipl.-Phys. Stefanie Fritsche und Prof. Dr. Dirk Sabbert (Ostfalia – Hochschule für angewandte Wissenschaften) das Manuskript und die Bilder überprüft und mir wertvolle Tipps zur Vereinfachung vieler besonders schwieriger Passagen gegeben.

Viele fleißige Hände und begabte Köpfe beim Verlag Springer Spektrum haben schließlich aus Unmengen von Dateien ein fertiges Physikbuch gezaubert, das schon durch seine Gestaltung und Wertigkeit hervorsteht. Sie verschicken Informationsmaterialien und Rezensionsexemplare, stellen das Buch den Händlern und Dozenten vor und verpacken die Bestellungen. Erst durch sie gelangt das Buch zu seinen Lesern.

Schließlich wagt der Verlag Springer Spektrum mit dem Buch *Physik für Biologen und Mediziner* – zum zweiten Mal nach *Biologie für Einsteiger* – das Experiment, ein Lehrbuch zu machen, das anders ist als alle bisherigen Werke zu diesem Thema. Ein Buch, das einen neuen, durchdachten Ansatz verfolgt, indem es sich als erstes Lehrbuch der Physik konsequent am Phänomen Leben orientiert.

Ihnen allen danke ich ganz herzlich für ihren Einsatz und ihr Engagement!

Und meiner Ehefrau Stefanie danke ich zudem für die unendliche Geduld (für große Werte von Unendlich), mit der sie das Projekt von der ersten Idee bis zur fertigen Druckfahne in jeder Phase begleitet und es mal wieder geschafft hat, irgendwie alles noch ein bisschen besser zu machen.

Dr. Olaf Fritsche

Heidelberg, Juni 2013

<http://www.springer.com/978-3-642-34665-1>

Physik für Biologen und Mediziner

Fritsche, O.

2013, XII, 274 S. 459 Abb., 335 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-642-34665-1