

Die Entdeckung des Unvorstellbaren

Josef Honerkamp hat mehr als 30 Jahre als Professor für Theoretische Physik gelehrt, zunächst an der Universität Bonn, dann viele Jahre an der Universität Freiburg. Er ist Autor mehrere Lehrbücher, im Rahmen seiner Forschungstätigkeit hat er auf folgenden Gebieten gearbeitet:

Quantenfeldtheorie, Statistische Mechanik, Nicht-lineare Systeme und Stochastische Dynamische Systeme. Er ist Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften.



Josef Honerkamp

Die Entdeckung des Unvorstellbaren

Einblicke in die Physik und ihre Methode



Springer Spektrum

Josef Honerkamp
Universität Freiburg Fakultät für Physik
Freiburg, Deutschland

ISBN 978-3-662-44755-0

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

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

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 Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Planung und Lektorat: Dr. Andreas Rüdinger, Sabine Bartels

Redaktion: Dr. Sonja Bernhart

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.springer-spektrum.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	IX
1 Prolog	1
<i>Brief vom 3.7.2007</i>	1
<i>Brief vom 17.7.2007</i>	8
2 Die Bewegung	19
Das erste physikalische Gesetz in mathematischer Form und die geradlinig-gleichförmige Bewegung	19
Das Trägheitsgesetz und ideale Bezugssysteme	25
Das Galileische Relativitätsprinzip	30
Kräfte und das Gravitationsgesetz	37
Bewegungsänderungen und ihre Ursache	45
<i>Brief vom 4.9.2007</i>	51
Die Newtonsche Bewegungsgleichung	54
Nachfolger Newtons, Bewegungen starrer Körper	59
Eingeschränkte Bewegungen	67
Das Hamiltonsche Prinzip	71
Bewegungen in Nicht-Inertialsystemen	77
3 Von Blitzen, Feldern und Wellen	83
<i>Brief vom 9.10.2007</i>	83
Die Elektrisierer	84
Elektrostatik	90
Konstante Ströme	97
Die magnetische Wirkung des elektrischen Stroms	106

Erste technische Verwertungen, Telegraf und Elektromotor	113
Das Induktionsgesetz	117
Die Maxwellsche Theorie des Elektromagnetismus	122
Die Entdeckung der elektromagnetischen Wellen	130
Theorien über das Licht	138
Wellen	148
4 Thermodynamik und Statistische Mechanik	157
<i>Brief vom 8.1.2008</i>	157
Was ist Wärme	159
Energie	165
Entropie	173
Thermodynamische Kreisprozesse, Kühltisch und Wärmepumpe	181
Verhalten von Gasen und Flüssigkeiten	189
Mischungen und Zweiphasensysteme	194
Statistische Mechanik	197
Emergenz	205
5 Die Relativitätstheorien	211
<i>Brief vom 2.4.2008</i>	211
Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	213
Raum und Zeit: Der Begriff der Gleichzeitigkeit	220
Raum und Zeit: Zeitdehnung und Längenkontraktion	225
Raum und Zeit: Das Zwillingsparadoxon	228
Die Masse eines Körpers als Maß für dessen Energieinhalt	232
Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie: Das Äquivalenzprinzip	236
Folgerungen aus der Allgemeinen Relativitätstheorie	246
6 Quanten	257
<i>Brief vom 8.7.2008</i>	257
Kathoden- und Röntgenstrahlen	259

Radioaktivität	268
Wärmestrahlen	275
Lichtquanten	284
Das Bohrsche Atommodell	291
Atombau und Spektrallinien	298
Das Pauli-Prinzip	306
Die Geburt der Quantenmechanik	314
Die Unbestimmtheitsrelation	321
Schrödingers Katze	328
Das Gedankenexperiment von Einstein, Podolski und Rosen	337
Die Bellschen Ungleichungen	344
Quanteninformatik	346
7 Epilog	357
<i>Brief vom 11.2.2009</i>	357
Literatur	371
Index	375

Vorwort

Die Idee zu diesem Buch entstand aus einem Unbehagen heraus. Schon immer hatte ich dieses gespürt, wenn ich mit Freunden, Bekannten oder Kollegen, die den Naturwissenschaften fremd gegenüberstanden, ins Philosophieren geriet und dabei versuchte, einen Einblick in das Weltbild eines Physikers zu geben. Hinterher war ich immer frustriert. Zunächst hatte ich geglaubt, ich hätte so schnell nicht die richtigen Worte gefunden, aber bald hatte ich eingesehen, dass das Problem tiefer liegt. Es sind die Unterschiede im Vorverständnis, in der Ansicht, welche Fragen interessant sind, welche Kenntnisse und Fähigkeiten besonders schätzenswert sind. Das Selbstverständnis eines Faches hat man ja über viele Jahre in einer Art intellektueller Sozialisation verinnerlicht und lässt sich einem Außenstehenden nicht so schnell vermitteln.

Nachdem ich nun als Emeritus nicht mehr Physik selbst betrieb, aber immer häufiger die Gelegenheit erhielt, in allen möglichen Kreisen über Physik zu reden, wurde das Unbehagen noch größer. Und obwohl ich mir nach meinem letzten Lehrbuch geschworen hatte: „Nie wieder ein Buch“, habe ich mich nun doch entschlossen, einmal in aller Ruhe darzulegen, wie in der Regel ein Physiker seine Wissenschaft sieht und wie er sie versteht.

Es sollte also in erster Linie ein Buch über die Physik als Wissenschaft werden. Dabei sollte aber das „Metaphysische“ nicht einfach nur als Behauptung daherkommen, sondern sollte sich letztlich auch als Schlussfolgerung beim Leser selbst einstellen können, nachdem man die physikalischen Theorien und ihre Geburtswehen, ihre Eigenarten, ihre Folgen und Grenzen kennen gelernt hat.

Natürlich sollte das alles möglichst allgemein verständlich und in einem erzählerischen Ton geschehen, und bei der Überlegung, wie man das auch noch unterhaltsam gestalten könnte, erinnerte ich mich daran, dass der große Mathematiker Leonard Euler im Jahre 1769 ein Buch unter dem Titel *Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände aus der Physik und Philosophie* veröffentlicht hatte. Da es nun heute Prinzessinnen in größerer Anzahl nicht gibt, kam mir die Idee, „Briefe an eine Abiturientin über verschiedene Bereiche der Physik, nicht ohne Philosophie und Geschichte“ zu schreiben, wobei die „Abiturientin“ lediglich das Anspruchsniveau charakterisieren sollte. Diese Form schien mir wie geschaffen für mein Vorhaben: Ein Brief ist meistens so kurz, dass man ihn gerne ohne Pause liest, er kann persönlicher gehalten sein und lebendiger gestaltet werden. Nachdem ich mehrere Kapitel in dieser Art geschrieben hatte, merkte ich aber, dass man diese Form nicht ganz durchhalten kann. Briefe sind nun einmal etwas für menschliche Dinge, und ich wollte doch über die anderen Dinge dieser Welt reden. So ist eine Mischform entstanden, jedem Kapitel geht ein Brief voran, in dem Gedanken über das Thema des Kapitels ausgeführt sind. Für den Namen der „Abiturientin“ habe ich übrigens den meiner ältesten Enkelin Caroline gewählt.

Das Buch stellt die Entstehung unseres Wissens über die Natur im Bereich der Physik dar, und zwar auf drei Ebenen:

- auf einer rein physikalischen Ebene: Wichtigste physikalische Phänomene, Begriffe, Voraussetzungen, Prinzipien und Theorien werden erklärt. Man soll also wirklich etwas über Physik lernen.
- auf der wissenschaftstheoretischen Ebene: Die naturwissenschaftliche Methode und die Art ihres Anspruchs auf „Wahrheit“ werden transparent gemacht. Man soll also die Macht dieser Methode kennen lernen, aber auch die Grenzen der Theorien.
- auf wissenschaftshistorischer Ebene: Die Diskussionen im Rahmen der beiden oberen Ebenen folgen der geschichtlichen Entwicklung. Die Art des Fortschritts in der Physik wird so transparent.

Dabei liegt der Schwerpunkt auf der „alten“ Physik. Über aktuelle Fragen der Physik, z. B. über schwarze Löcher oder über den Urknall gibt es viele gute Bücher, kaum aber darüber, wie die Physik begann, wie man auf die ersten Probleme stieß, wie man sie löste und wie die naturwissenschaftliche Methode immer neue Erfolge zeitigte, die sich auch in der technischen Revolution widerspiegelten. Es soll aber auch gezeigt werden, wie bei der Entstehung dieses Wissens die Wissenschaftler erst noch auf schwankendem Boden standen, wie dieser sich allmählich festigte und wie das geistige Band, der Kanon der Theorien, immer größer, fester und kohärenter wurde.

Mit der Entwicklung der Physik bis zur Quantenmechanik hat man dann den Weg der Physik weit genug verfolgt, um das Weltbild der Physiker, deren Denkweise und deren intellektuellen Wertekanon zu verstehen. Man wird sehen, wie die Begriffe, die zur Erklärung der Welt notwendig werden, immer unanschaulicher werden, wird erkennen, dass diese Begriffe immer so neu und so unvorhersagbar sind, dass sie

durch reines Denken allein nicht zu entdecken wären. Die Beschränkung unserer Vorstellungskraft auf die Welt unserer menschlichen Erfahrungen wird deutlich werden, und man wird sich damit abfinden, dass wir die Natur außerhalb unserer menschlichen Erfahrungen nur verstehen und über sie verfügen können, wenn wir Unvorstellbares akzeptieren.

Ich habe drei Zielgruppen für dieses Buch im Auge:

- alle, die einfach einmal wissen wollen, wie die Physik „funktioniert“, um was es dort bei den prominenten Theorien geht, warum und in welcher Form es dort gesichertes Wissen gibt.
- Physiker: Diese sollten das Buch unterhaltsam finden und häufig auf etwas stoßen, was sie noch nicht wissen, vergessen haben oder so noch nie gesehen haben, insbesondere Studierende der Physik, die einen groben Überblick über die Themen ihres Studiums erhalten wollen.
- Schülerinnen und Schüler (nicht nur Abiturientinnen), in denen vielleicht die Liebe zur Physik oder einer anderen Naturwissenschaft geweckt werden kann.

Bei der Entstehung dieses Buch haben mich viele durch Wort und Tat unterstützt. Zunächst möchte ich meiner Frau danken, die alle Briefe und Abschnitte als Erste auf ihre Verständlichkeit geprüft hat, ebenso meinen Kindern Stefanie und Carsten, dann meinem Mitarbeiter Andreas Liehr, meinen Kollegen Hartmann Römer, Hans Mohr, Andreas Voßkuhle, Klaus Eichmann, Helmut Hoping sowie Klaus Scharpf, Martin Sunder-Plassmann, Christoph Horst, Christiane Zahn, die vorab alle oder einzelne Teile des Manuskripts kritisch gelesen haben und wertvolle Hinweise gegeben haben. Danken möchte ich auch den Freunden meines Rotary-Clubs und des Stammtisches Oberkirch Freiburg und den vielen weiteren,

die mich ermutigt haben und mir zeigten, dass eine solche Darstellung auf großes Interesse stoßen würde.

Der Spektrum-Verlag hat mich, insbesondere durch ihren Programmleiter Dr. Andreas Rüdinger, außerordentlich sorgfältig und kompetent bei der Veröffentlichung des Manuskripts begleitet.

Emmendingen, im November 2009

Josef Honerkamp