

Leseprobe aus:



ISBN: 978-3-499-63388-1

Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf www.rowohlt.de.

Was treibt einen jungen Studenten dazu, sich der theoretischen Physik zuzuwenden und hier gleich der Frage aller Fragen: nach dem Stoff, aus dem die Welt besteht? Der Frage, woraus Raum und Zeit gemacht sind? Der Frage, ob es «Zeit» überhaupt gibt? In diesem Buch erzählt uns der weltberühmte Physiker, wie er während seines Studiums in den USA auf dieses eigene Thema gekommen ist, wie wichtig persönliche Begegnungen und Freundschaften mit herausragenden Forschern (John Wheeler, Roger Penrose, Richard Feynman) für den oft intuitiven Prozess gewesen sind, die Brücke zwischen Einsteins Gravitationstheorie und der Quantentheorie zu schlagen. Es ist das bislang persönlichste Buch Rovellis: moderne Kosmologie, eingepackt in eine Art autobiographisches Roadmovie darüber, wie ein Grundlagenforscher zu seinen Ideen kommt, in denen die Zeit, wie wir sie kennen, keine wichtige Rolle mehr spielt.

Carlo Rovelli, geboren 1956 in Verona, ist Professor für Physik an der Universität Marseille. Zuvor forschte und lehrte er unter anderem am Imperial College London, den Universitäten Rom, Yale, dell'Aquila und Pittsburgh. Zusammen mit Lee Smolin entwickelte er die Theorie der Schleifenquantengravitation, die international als verheißungsvollste Theorie zur Vereinigung von Einsteins Gravitationstheorie und der Quantentheorie gilt.

Carlo Rovelli

Und wenn es die Zeit nicht gäbe?

Meine Suche nach den Grundlagen des Universums

Aus dem Französischen von Monika Niehaus

Rowohlt Taschenbuch Verlag

Die französische Ausgabe erschien 2014 (2. Auflage) unter dem Titel *Et si le temps n'existait pas?* bei DUNOD ÉDITEUR, Malakoff. Diese Übersetzung folgt der von Élisabeth Brune überarbeiteten französischen Ausgabe. Die italienische Originalausgabe erschien 2004 unter dem Titel *Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?* bei Di Renzo.

Deutsche Erstausgabe

Veröffentlicht im Rowohlt Taschenbuch Verlag,
Reinbek bei Hamburg, Juni 2018

Copyright © 2018 by Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg

Et si le temps n'existait pas? (seconde édition)

Copyright © 2014 by DUNOD ÉDITEUR- www.dunod.com

Lektorat Frank Strickstock

Fachlektorat Bernd Schuh

Einbandgestaltung ZERO Media GmbH, München

Einbandabbildung Sybille Sterk/Arcangel

Typografie Farnschläder & Mahlstedt, Hamburg

Satz aus der Albertina

Druck und Bindung CPI books GmbH, Leck, Germany

ISBN 978 3 499 63388 1

Inhalt

Inhalt

Vorwort

Einführung

1 Ein außergewöhnliches Problem: die Quantengravitation

Der bedauernswerte Zustand der Grundlagenphysik

2 Raum, Teilchen und Felder

Die Allgemeine Relativitätstheorie

Die Quantenmechanik

Quantengravitation

3 Geburt der Schleifentheorie

London und Syracuse

Yale

Intellektueller Anstand

Rom

4 Zwischenspiel: Die Naturwissenschaften oder die ständige Erforschung neuer Arten und Weisen, die Welt zu denken

Der Dialog zwischen Naturwissenschaft und Philosophie

Was also ist Naturwissenschaft?

Geschichte des Raums: Anaximander

Der Raum: Relation oder Entität?

Aber was wissen wir denn nun tatsächlich?

5 Die Schleifen: Raumkörnchen, Spin-Netzwerke, die Kosmologie des Urknalls und die Wärme Schwarzer Löcher

Spin-Netzwerke

John Wheeler

Die Theorie testen?

Die Kosmologie des Urknalls

Kosmologie und Planck-Sterne

6 Die Zeit existiert nicht

Die Relativität der Zeit

Die Abwesenheit der Zeit

Lee Smolin rehabilitiert die Zeit

Alain Connes und die thermodynamische Zeit

Rückkehr nach Europa

7 Schleifen, Strings und alles andere

Die Schleifentheorie heute

Strings und alles andere

Etablierte und hypothetische Theorien

Rückhalt für die Grundlagenforschung

Epilog

Danksagung

Register

Vorwort

Carlo Rovelli ist theoretischer Physiker und zählt zu den Begründern der Theorie der Schleifenquantengravitation, ein mathematisch ausgesprochen schwieriges Thema. Dennoch – als ich ihn bei einer interdisziplinären Zusammenkunft traf und ihm zuhörte, erzählte er so verständlich von seiner Arbeit, dass ihm ein Fünfzehnjähriger Schritt für Schritt hätte folgen können. Und er sprach mit so viel Begeisterung, dass der junge Zuhörer sicherlich hätte wissen wollen, wie er selbst Physiker werden könnte.

Carlo Rovelli arbeitet wissenschaftlich an vorderster Front, doch seine Forschung ist für ihn kein Selbstzweck. Die Probleme, die er lösen möchte, verliert er nicht aus dem Auge. Das macht ihn zu einem Sachbuchautor von geradezu magischer Qualität. Methodisch und klar gibt er einen knappen Überblick über die Grundlagenphysik, um ihre Lücken deutlich zu machen – die offenen Fragen, die die heutigen Physiker faszinieren.

Über die Physik hinaus sind es die Naturwissenschaften in ihrer Gesamtheit, ihre Verbindungen mit anderen Wissensgebieten und ihre Rolle in der Gesellschaft, über die er sich Gedanken macht. Physiker sind keine Techniker ohne Verbindung zur Realität – und sie können es auch nicht sein. Immerhin behaupten sie, über diese Realität zu sprechen. Die Welt, die sie mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern erforschen, und die Welt, in der sie jeden Morgen aufwachen, sind schließlich dieselbe. Besser als alle anderen Wissenschaftler lässt uns Carlo Rovelli diese enge Verbindung zwischen forschender Tätigkeit und unserem quirligen Alltag spüren.

Der italienische Herausgeber Sante Di Renzo hatte die Weitsicht, Carlo Rovelli um einen Text für neugierige junge Leser zu bitten, die sich für eine wissenschaftliche Lauf-

bahn interessieren. Aus mehreren Gesprächen über Physikvorlesungen des Physikers entstand schließlich der Text *Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?*

Da ich, nachdem ich Carlo Rovelli auf der Konferenz gehört hatte, selbst die Idee hatte, ihn zu publizieren, schlug er mir vor, diese Arbeit aufzugreifen und im Hinblick auf ihren wissenschaftlichen Inhalt wie auch auf ihre Gedanken über die Naturwissenschaften weiterzuentwickeln. Daraus ist nun ein pointierterer und umfangreicherer Text geworden, ein veritables «Gedankengebäude», das nun hier vorliegt. Man erfährt, in welche Richtung die Physik von morgen strebt und warum sie wieder auf Aristoteles trifft, woran ein «Körnchen» Raumzeit erinnert und welche wichtige Rolle derartige Fragen für die Entwicklung der Zivilisation spielen können.

Mehr noch als ein naturwissenschaftliches Werk ist dieses Buch eine Demonstration naturwissenschaftlichen Denkens, das für Kinder so natürlich ist, aber so schwer zu bewahren.

Élisa Brune

Wissenschaftsjournalistin

[...]

1

Ein außergewöhnliches Problem: die Quantengravitation

Während meines vierten Jahres auf der Universität stieß ich auf den Artikel eines englischen Physikers, Chris Isham, in dem es um *Quantengravitation* ging. An der Basis der modernen Physik gebe es ein ungelöstes Problem, hieß es in dem Artikel, das mit der Definition von Zeit und Raum verknüpft ist, also mit der Grundstruktur der Welt. Ich las diesen Artikel begierig, ohne viel vom Inhalt zu verstehen, doch die Frage, die er beleuchtete, schlug mich in ihren Bann. Im Folgenden möchte ich das Problem in groben Zügen skizzieren.

Der bedauernswerte Zustand der Grundlagenphysik

Die große wissenschaftliche Revolution des 20. Jahrhunderts basiert auf zwei Grundpfeilern: einerseits auf der *Quantenmechanik*, andererseits auf Einsteins *Allgemeiner Relativitätstheorie*. Die Quantenmechanik, die die mikroskopische Welt sehr gut beschreibt, hat all unser Wissen über Materie auf den Kopf gestellt. Die Allgemeine Relativitätstheorie, die die Gravitation (Schwerkraft) genau erklärt, hat all das radikal verändert, was wir über Zeit und Raum zu wissen meinten. Diese beiden Theorien sind weitgehend experimentell bestätigt und haben die Entwicklung eines Großteils unserer modernen Technologie ermöglicht.

Sie führen jedoch zu zwei sehr unterschiedlichen Beschreibungen der Welt, die auf den ersten Blick unvereinbar erscheinen. Beide Theorien sind so formuliert, als würde die andere nicht existieren. Das, was ein Professor seinen Studenten über Allgemeine Relativitätstheorie erzählt, scheint für seinen Kollegen, der im Hörsaal nebenan Quantenmechanik unterrichtet, unsinnig zu sein, und umgekehrt gilt das genauso. Die Quantenmechanik benutzt die alten Begriffe von Zeit und Raum, die im Widerspruch zur Allgemeinen Relativitätstheorie stehen. Und die Allgemeine Relativitätstheorie benutzt die alten Begriffe von Materie und Energie, die im Widerspruch zur Quantenmechanik stehen.

Es gibt momentan keine Situation in der Physik, in der die beiden Theorien gleichzeitig angewandt werden. Je nach Größenskala des untersuchten Problems ist es mal die eine, mal die andere. Die physikalischen Situationen, in denen beide Theorien gelten, beispielsweise bei sehr kleinen Abständen, im Zentrum eines Schwarzen Lochs oder in den ersten Augenblicken der Entstehung des Universums, füh-

ren zu Energieniveaus, die sich mit unseren Apparaturen kaum erzeugen lassen.

Wir wissen jedoch nicht, wie wir diese beiden großen Entdeckungen verbinden sollen: Wir haben kein umfassendes Naturbild. Wir befinden uns in einer schizophrenen Situation; unsere Informationen sind Stückwerk und inkompatibel. Das geht so weit, dass wir tatsächlich nicht mehr wissen, was Raum, Zeit und Materie eigentlich sind. Die heutige Grundlagenphysik befindet sich in einem bedauernden Zustand.

In der Geschichte gab es solche Situationen wiederholt, beispielsweise vor der Vereinheitlichung der Physik durch Newton. Für Kepler, der die Planeten und Sterne beobachtete, beschrieben die Objekte Ellipsen. Für Galilei, der Objekte untersuchte, die zu Boden fielen, folgten sie Parabeln. Aber Kopernikus hatte verstanden, dass die Erde ein Ort wie jeder andere ist; sie nimmt keine Sonderstellung im Universum ein. Konnte es also eine Theorie geben, die auf der Erde funktionierte, und eine andere, die am Himmel funktionierte? Newton gelang es, die beiden Sichtweisen zu einer einzigen Theorie zu vereinigen: Dieselbe Gleichung ließ sich nun auf Planeten und auf vom Baum fallende Äpfel anwenden.

Diese befriedigende Einheit hielt drei Jahrhunderte. Bis Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelte die Physik ein Ensemble von äußerst schlüssigen Gesetzen, das sich auf eine kleine Zahl von Schlüsselbegriffen wie Zeit, Raum, Kausalität und Materie gründete. Trotz wichtiger Verbesserungen sind diese Begriffe recht stabil geblieben. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts begannen sich innere Spannungen im System aufzubauen, und im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts haben Quantenmechanik und Allgemeine Relativitätstheorie diese Fundamente buchstäblich pulverisiert. Die schöne Newton'sche Einheit war dahin.

Quantenmechanik und Allgemeine Relativitätstheorie waren ungeheuer erfolgreich und sind experimentell immer wieder bestätigt worden; sie gehören mittlerweile zum gesicherten Wissen. Jede der beiden Theorien modifiziert die konzeptuelle Basis der klassischen Physik in einer Weise, die für ihren Teil schlüssig ist, aber wir haben keinen konzeptuellen Rahmen, der in der Lage ist, *beide* Theorien in Einklang zu bringen. Daher können wir nicht vorhersagen, was passiert, wenn die Gravitation beginnt, Quanteneffekte zu zeigen, also in einer Größenordnung unterhalb von 10^{-33} Zentimeter wirksam wird. Derart kleine Dimensionen sind extrem, aber man muss sie dennoch beschreiben können. Die Welt kann nicht zwei einander widersprechenden Theorien gehorchen. Phänomene, die sich in so kleinen Maßstäben abspielen, kommen in der Natur durchaus vor, zum Beispiel kurz nach dem Urknall oder in der Nähe eines Schwarzen Lochs. Wenn wir diese Phänomene verstehen wollen, müssen wir in der Lage sein zu berechnen, was sich in solchen Dimensionen abspielt. Auf die eine oder andere Weise müssen wir beide Theorien miteinander versöhnen. Diese Mission ist das zentrale Problem der *Quantengravitation*.

Es ist ganz offensichtlich ein schwieriges Problem. Aber mit der Kühnheit eines jungen Mannes von zwanzig Jahren entschloss ich mich, als es auf mein letztes Studienjahr zugeht, mein Leben dieser Herausforderung zu widmen. Mich lockte die Vorstellung, so grundlegende Konzepte wie Zeit und Raum zu untersuchen, und auch die Tatsache, dass die Situation unlösbar erschien.

In Italien arbeitete so gut wie niemand an diesem Problem. Meine wissenschaftlichen Lehrer rieten mir strikt davon ab, diese Richtung einzuschlagen: «Das ist ein Weg, der nirgendwo hinführt», «Du wirst niemals eine Stelle finden», oder auch «Du solltest dich einem starken und schon gut etablierten Team anschließen». Das einzige Ergebnis solcher Warnungen, die Erwachsene uns zukommen lassen,

besteht jedoch häufig darin, den unbeschwerten Eigensinn der Jugend zu verstärken.

Als Kind las ich die Märchen eines italienischen Schriftstellers, Gianni Rodari. Eines dieser Märchen erzählt die Geschichte von Giovannino und dem Weg, der nirgendwo hinführt. Der Held lebt in einem Dorf, in dem es eben diesen Weg gibt, der nirgendwo hinführt. Aber neugierig und dickköpfig, wie er ist, und all dem zum Trotz, was die anderen sagen, will er sich selbst ein Bild machen. Er begibt sich also auf den Weg, und natürlich findet er ein Schloss und eine Prinzessin, die ihn mit Edelsteinen überhäuft. Als er derart reich beschenkt ins Dorf zurückkehrt, machen sich alle übrigen ebenfalls auf den Weg, aber niemand findet auch nur den kleinsten Schatz. Mit der Quantengravitation hatte ich einen Weg gefunden, der nach allgemeiner Ansicht nirgendwo hinführt. Ich habe meine Prinzessin und viele Edelsteine gefunden.

[...]