

Unverkäufliche Leseprobe des S. Fischer Verlages

# Martin Bojowald

## Zurück vor den Urknall



Preis € (D) 19,95 € (A) 20,60 sFr. 34,90 (UVP)

352 Seiten, gebunden

ISBN 978-3-10-003910-1

S. Fischer Verlag

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Text und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

© S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main 2009

## Kapitel 1: *Einleitung*

Je abstrakter die Wahrheit ist, die Du lehren willst,  
desto mehr musst Du noch die Sinne zu ihr verführen.

Friedrich Nietzsche: Jenseits von Gut und Böse

Im letzten Jahrhundert ist die physikalische Forschung weit fortgeschritten und hat ein überragendes Theoriengebäude entworfen: die Quantentheorie und die Allgemeine Relativitätstheorie. Dies erlaubt ein Verständnis der Natur im großen wie im kleinen Maßstab, vom ganzen Universum in der Kosmologie bis hin zu einzelnen Molekülen, Atomen oder gar Elementarteilchen mit Hilfe der Quantentheorie. Zusammengenommen ergibt sich so eine präzise Beschreibung und ein tiefgreifendes Verständnis von mannigfachen Phänomenen, die eine spektakuläre Bestätigung durch Beobachtungen erfahren haben. Gerade in den letzten Jahren ist dies vor allem in der Kosmologie des frühen Universums geglückt.

Neben der technologischen Relevanz in fast allen Bereichen des alltäglichen Lebens besteht ein unverkennbares Gütezeichen dieses wissenschaftlichen Fortschrittes darin, dass schon seit einiger Zeit Teile der Forschung an traditionell von der Philosophie beanspruchte Fragestellungen stoßen. (Mit dem Physiker und Philosophen Abner Shimony kann man hier zu Recht und mit absichtlichem inneren Widerspruch von »experimenteller Metaphysik« sprechen.) Seit Aristoteles ist das Ziel der Theoriebildung die Einsicht in allgemeine Sachverhalte und ein Verständnis von deren Gründen, im Gegensatz zum Sammeln von Einzelwissen. Philosophie hingegen fragt nach den tiefsten Gründen oder Prinzipien des Seienden. In diesem Sinne ist die Verschmelzung einiger physikalischer mit philosophischen Fragestellungen durchaus als Auszeichnung des wissenschaftlichen Fortschrittes zu verstehen. Wenn Physik zu diesen Fragen vordringt, ge-

## *Kapitel 1: Einleitung*

langt sie auch in eine Position, mit der zu Diskussionen von weit allgemeinerem – und weiter reichendem – Interesse beigetragen werden kann. Für eine Kombination von Kosmologie und Quantentheorie ist die wichtigste Frage die nach der Entstehung und den ersten Stadien der Welt, was die Menschheit seit den Anfängen der Philosophie und auch schon davor bewegt hat.

Weitere Beispiele sind, sowohl in der Quantentheorie als auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie, die Rolle von Beobachtern in der Welt und die Frage nach dem, was man überhaupt beobachten kann und was möglicherweise nicht. In der Kosmologie bedeutet der Einzug von physikalischen Methoden die Entstehung empirisch überprüfbarer Weltbilder. Das Urknall-Modell des Universums beruht sowohl auf der Allgemeinen Relativitätstheorie in der Beschreibung von Raum, Zeit und der treibenden Gravitationskraft als auch auf der Quantentheorie, die für eine Kenntnis der Eigenschaften von Materie im frühen Universum wichtig ist. Insgesamt ergibt sich eine spektakuläre Erklärung für die sukzessive Entstehung von Atomkernen, Atomen und weiter zusammengesetzter Materie bis hin zu Galaxien aus einer extrem heißen Anfangsphase.

Gerade an dieser Stelle werden jedoch auch Grenzen des etablierten Weltbildes sichtbar. Trotz aller Erfolge ergibt die Allgemeine Relativitätstheorie zusammen mit der Quantentheorie, wie sie derzeit benutzt wird, keine vollständige Beschreibung des Universums. Löst man die mathematischen Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie, um ein Modell des zeitlichen Verlaufes des Universums zu erhalten, so erhält man immer einen Zeitpunkt, die sogenannte Urknall-Singularität, zu dem die Temperatur des Universums unendlich groß war. Dass das Universum in der Urknall-Phase sehr heiß war, ist keine Überraschung; schließlich war das expandierende Universum damals viel kleiner und komprimierter als heute, was einen enormen Temperaturanstieg bedeutet. Aber Unendlich als Resultat einer physikalischen Theorie bedeutet schlicht, dass die Theorie überstrapaziert wurde. Ihre Gleichungen verlieren an solch einem Punkt sämtlichen Sinn. Im Falle des Urknall-Modells sollte dies nicht als eine

Vorhersage eines Anfangs der Welt missverstanden werden, obwohl es oftmals so dargestellt wird. Ein Zeitpunkt, an dem eine mathematische Gleichung Unendlich liefert, ist nicht der Anfang (oder das Ende) der Zeit. Es ist einfach ein Punkt, an dem die Theorie ihre Begrenztheit zeigt. Trotz aller Erfolge in anderen Bereichen muss die Theorie, die durch die Allgemeine Relativitätstheorie in Kombination mit der Quantentheorie der Materie geliefert wird, erweitert werden.

Das Problem hat seine Ursache in der Unvollständigkeit der Revolution, die in der physikalischen Forschung des letzten Jahrhunderts stattfand. Die Quantentheorie wird zwar für eine Beschreibung der Materie im Universum benutzt, nicht aber für die Gravitationskraft oder gar für Raum und Zeit selbst. Letzteres ist die Domäne der Allgemeinen Relativitätstheorie, die aber weitgehend unabhängig von der Quantentheorie ist. Eine erfolgreiche Kombination von Quantentheorie und Allgemeiner Relativitätstheorie auch in den Bereichen von Raum und Zeit würde die bisher bekannte Theorie signifikant erweitern. Eine solche Kombination, die Quantengravitation, ist insbesondere für eine Beschreibung der heißen Urknall-Phase des Universums wichtig und kann, so hofft man, erklären, was an dem Unendlichkeitspunkt der Urknall-Singularität passierte. War dies wirklich der Ursprung der Welt und der Zeit, oder gab es doch etwas davor? Und wenn es etwas vor dem Urknall gab, dann was?

Leider erweist sich die Quantengravitation als äußerst kompliziert. Für sich genommen sind Allgemeine Relativitätstheorie und Quantentheorie durch einen in der vorhergehenden Physik ungekannten mathematischen Aufwand ausgezeichnet. Außerdem sind die in diesen beiden Bereichen benutzten mathematischen Methoden voneinander sehr verschieden. Eine Kombination der physikalischen Theorien verlangt auch eine Vereinigung der zugrundeliegenden mathematischen Objekte, was zu einer Potenzierung des Schwierigkeitsgrades führt. Deshalb ist, trotz vieler Jahrzehnte Forschung und starker Anstrengungen zahlreicher Wissenschaftler, noch keine vollständig ausformulierte Quantengravitation verfügbar. Was wir aber vor al-

## *Kapitel 1: Einleitung*

lem in den letzten Jahren gesehen haben, sind zahlreiche vielversprechende Indizien für ihre Eigenschaften, die bereits analysiert werden können. Die Situation, wie so oft in der Forschung, gleicht dem Anfangsstadium eines Puzzle-Spiels, in dem man das endgültige Bild vielleicht teilweise erraten kann, dennoch aber auch auf einem Irrweg sein könnte. Unser derzeitiges Bild deutet an, was eine Vervollständigung der physikalischen Theorie bewerkstelligen kann: Sie erlaubt uns zu sehen, was während und sogar vor dem Urknall geschehen sein könnte. Wir erhalten Einblick in die früheste Urzeit unseres Universums und können erstmals analysieren, wie es wohl entstand.

In diesem Buch werden sowohl jüngste Resultate der Theorie als auch für die nähere Zukunft geplante Beobachtungen im Weltraum erläutert, und es wird gezeigt, wie radikal sie unser Weltbild verändern können. Insbesondere mit der Schleifen-Quantengravitation, eine der Varianten, die derzeit für eine Kombination von Allgemeiner Relativitätstheorie und Quantentheorie gehandelt werden, sind Ansätze für eine nichtsinguläre Beschreibung des Urknalls erzielt worden. In diesem Rahmen existierte das Universum schon vor dem Urknall, und es lässt sich grob abschätzen, wie es sich damals in seinen Eigenschaften von den jetzigen unterscheiden haben könnte. Durch den Einfluss auf spätere Phasen der kosmischen Expansion, die empfindlichen Beobachtungen offenstehen, kann man diese Urgeschichte des Universums untersuchen. Aus erster Hand der Forschung wird dies im weiteren Verlauf dargestellt werden, gefolgt von einer Behandlung Schwarzer Löcher, die ebenfalls faszinierende Effekte zeigen. Die abschließenden Kapitel berühren dann weitergehende, ein allgemeines Verständnis der Welt betreffende Fragestellungen, darunter die Kosmogonie, das Rätsel der Zeit und ihrer Richtung und den Gral der »Weltformel«. Wie das wissenschaftliche Weltbild wird der menschliche Weg der Erkenntnis selbst durch Beispiele aus der modernen Forschung beleuchtet. Hierin wird etwas Einblick von einer persönlichen Perspektive aus gewährt.

Obwohl die Theorie hochmathematisch ist, sind viele Rechnungen mittlerweile intuitiv verstanden. Intuition ist nicht nur hilfreich für

die Forschung in einem unbekanntem Territorium, sondern erlaubt auch eine breitangelegte Erklärung. Dies soll, unter Verzicht auf mathematischen Formalismus (abgesehen von einer Illustration auf Seite 123), in diesem Buch realisiert werden, getreu dem am Anfang dieses Kapitels zitierten Nietzsche-Motto. Während man zum Entdecken und Einsehen solcher Sachverhalte nicht auf die Mathematik verzichten kann, ist ein anschauliches Verständnis ohne allzu viel Aufwand möglich. Man wird zwar nicht immer verstehen, warum die Dinge so und nicht anders sein sollen, aber mit etwas Vertrauen in den Reiseführer erkennt man doch einige der Zusammenhänge.

Dennoch ist eine Warnung vonnöten: Viele Bereiche der Quantengravitations-Forschung sind noch als spekulativ zu betrachten. Anders als in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, in der die Allgemeine Relativitätstheorie und die Quantentheorie entwickelt wurden, existieren (noch) keine Beobachtungen, die als Richtlinie für die theoretische Ausformulierung der Quantengravitation dienen könnten. Was derzeit die Forschung antreibt, sind konzeptionelle Erwägungen der bisher erkannten Unvollständigkeit der Allgemeinen Relativitätstheorie sowie mathematische Konsistenzbedingungen in der Formulierung von Gleichungen. Es ist zum Beispiel keineswegs garantiert, dass die Kombination gewisser mathematischer Methoden, wie sie in der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantenphysik vorkommen, überhaupt Lösungen zur verlässlichen Beschreibung des Universums zulässt. In der Tat sind die mathematischen Methoden so restriktiv, dass eine Formulierung einer Theorie mit sinnvollen Lösungen schon einen riesigen Erfolg darstellen würde. Ob es noch weitere Theorien mit dieser Eigenschaft geben könnte, ist dann eine andere, bisher unvollständig untersuchte Frage. Dies zeigt, auf welch zarten Säulen die Quantengravitation zurzeit steht. Es herrscht aber Optimismus, denn viele unabhängige Indizien, wie die in diesem Buch, deuten in dieselbe Richtung. Außerdem, und weit wichtiger, erwartet man für die nähere Zukunft kosmologische Beobachtungen, die von der Quantengravitation vorhergesagte Phänomene zeigen könnten. Solche Beobachtungen, die auch in diesem

## *Kapitel 1: Einleitung*

Buch beschrieben sind, würden die Quantengravitation endgültig zu einer empirisch überprüften Theorie machen.

Noch gleicht der Stand der Quantengravitation dem Frühstadium der Erschließung eines neuen Gebietes. Als Pionier fungiert hier die Mathematik, die neue Bereiche hinter etablierten Grenzen eröffnet. In unserem Fall sind diese Grenzen buchstäblich die des Universums und der Zeit. Die Mathematik dient auch zur Erforschung dieses neugewonnenen Territoriums, eine endgültige Absicherung in einer empirischen Wissenschaft wie der Physik kann aber nur durch Beobachtungen kommen. Dies steht bisher für die Quantengravitation aus, die somit einem Land noch voller Gefahren gleicht. Nur zu leicht verirrt man sich hier oder versinkt in den Sümpfen der Spekulation.

Ein solches Land verlangt einige Ehrfurcht vor der Natur, die allerdings nicht immer dargebracht wird. Auch wenn die Sprache der Physiker über die Natur oft sehr bestimmt (und manchmal vielleicht überheblich) klingt, so gilt allgemein nach Rudolf Carnap: »Es [ein Naturgesetz] kann richtig, aber auch falsch sein. Wenn es nicht richtig ist, ist der Wissenschaftler, nicht die Natur, der Schuldige.«<sup>1</sup> Ein Physiker stellt Naturgesetze auf, hat es aber selbst zu verantworten, wenn sie verletzt werden. Niemand ist dem Physiker Untertan, schon gar nicht die Natur. Dies gilt insbesondere für theoretische Skizzen wie die Quantengravitation. In der Zwischenzeit, bevor Beobachtungen zeigen, dass die Natur den ihr auferlegten und hier beschriebenen Gesetzen zumindest einigen Respekt zollt, dient die Intuition als Reiseführer in dem unbekanntem Land, auf einer abenteuerlichen Fahrt zurück vor den Urknall.

1 Übersetzt aus: Rudolf Carnap, *Introduction to the Philosophy of Science*, New York 1995.