
Dank

1982, nach den Loeb-Vorlesungen an der Harvard University, entschloß ich mich zu dem Versuch, ein allgemeinverständliches Buch über Raum und Zeit zu schreiben. Es gab bereits Bücher über das frühe Universum und Schwarze Löcher, darunter sehr gute wie «Die ersten drei Minuten» von Steven Weinberg, aber auch sehr schlechte, die ich hier lieber nicht nenne. Doch stelle ich fest, daß keines sich wirklich mit den Fragen auseinandersetzt, die mich zu meinen Forschungsarbeiten in der Kosmologie und Quantentheorie veranlaßt haben: Woher kommt das Universum? Wie und warum hat es begonnen? Wird es enden? Und wenn, wie wird dies Ende aussehen? Das sind Fragen, die uns alle angehen. Doch die moderne Naturwissenschaft ist so komplex geworden, daß nur noch wenige Spezialisten über die mathematischen Voraussetzungen verfügen, um nach den Antworten auf diese Fragen zu suchen. Dennoch lassen sich die Grundgedanken über den Ursprung und das Schicksal des Universums ohne Mathematik in einer Form schildern, die auch ein Leser ohne naturwissenschaftliche Vorbildung verstehen kann. Dies versuche ich in meinem Buch. Der Leser mag beurteilen, ob es mir gelungen ist.

Man hat mir gesagt, daß jede Gleichung im Buch die Verkaufszahlen halbiert. Ich beschloß also, auf mathematische Formeln ganz zu verzichten. Schließlich habe ich doch eine Ausnahme gemacht: Es handelt sich um die berühmte Einsteinsche Formel $E = mc^2$. Ich hoffe, dies wird nicht die Hälfte meiner potentiellen Leser verschrecken.

Von dem Pech abgesehen, daß ich an ALS leide, einer unheilbaren Erkrankung des motorischen Systems, habe ich in fast jeder anderen Hinsicht Glück gehabt. Die Unterstützung, die ich von meiner Frau Jane und meinen Kindern Robert, Lucy und Timmy erhalten habe, ermöglicht es mir, ein nahezu normales Leben zu führen und mich meinen beruflichen Aufgaben mit Erfolg zu widmen. Glück hatte ich auch mit meiner Entscheidung für die theoretische Physik. Auf diesem Gebiet spielt sich alles im Kopf ab. Deshalb hat mich meine Behinderung nicht allzusehr beeinträchtigt. Meine Kollegen waren ohne Ausnahme äußerst hilfsbereit.

In der ersten, «klassischen» Phase meiner beruflichen Laufbahn habe ich vor allem mit Roger Penrose, Robert Geroch, Brandon Carter und George Ellis zusammengearbeitet. Ich bin ihnen dankbar für ihre Hilfe und die Zusammenarbeit. Die Ergebnisse aus dieser Phase sind in dem Buch «The Large Scale Structure of Spacetime» zusammengefaßt, das ich 1973 zusammen mit Ellis schrieb. Ich kann es Ihnen allerdings nicht empfehlen. Es ist sehr wissenschaftlich und kaum lesbar. Ich hoffe, daß ich inzwischen gelernt habe, mich verständlicher auszudrücken.

In der zweiten, der «Quanten»-Phase meiner Arbeit, die 1974 begann, habe ich in erster Linie mit Gary Gibbons, Don Page und Jim Hartle zusammengearbeitet. Auch sie und meine Doktoranden haben mich bei physischen wie theoretischen Problemen tatkräftig unterstützt. Die Notwendigkeit, mit meinen Studenten Schritt zu halten, war immer eine große Herausforderung und hat mich, wie ich hoffe, davor bewahrt, mich in bloßer Routine festzufahren.

Von besonderer Bedeutung für dieses Buch war die Hilfe Brian Whits, einer meiner Studenten. 1985, nach Niederschrift der ersten Fassung, bekam ich eine Lungenentzündung und mußte mich einer Tracheotomie unterziehen, die mir die Fähigkeit, zu sprechen und mich mitzuteilen, fast völlig nahm. Ich glaubte nicht, das Buch noch beenden zu können. Doch Brian half mir nicht nur bei den Korrekturen, sondern unterwies mich auch in der Verwen-

dung des Kommunikationsprogramms Living Center, das mir Walt Woltoz von der Firma Word Plus in Sunnyvale, Kalifornien, kostenlos zur Verfügung stellte. Damit kann ich Bücher, Aufsätze und Vorträge verfassen. Mit Hilfe eines Sprachsynthesizers, den ich von der ebenfalls in Sunnyvale ansässigen Firma Speech Plus erhielt, bin ich nun auch wieder in der Lage, mich mit anderen Menschen zu unterhalten. David Mason hat den Synthesizer und einen kleinen Personal Computer auf meinem Rollstuhl montiert. Dieses System hat meine Situation grundlegend verändert: Ich kann mich heute besser verständigen als vor dem Verlust meiner Stimme.

Vielen, die die vorläufige Fassung des Manuskripts durchsahen, verdanke ich Verbesserungsvorschläge. Vor allem Peter Guzzardi, mein Lektor bei Bantam Books, hat mir Seiten voller Fragen und Anmerkungen zu Punkten geschickt, von denen er meinte, ich hätte sie nicht hinreichend erklärt. Ich muß gestehen, daß ich ziemlich ungehalten war, als ich seine lange Liste mit Änderungs-vorschlägen erhielt, aber er hatte völlig recht. Ich bin sicher, es hat dem Buch gutgetan, daß er mir so zugesetzt hat.

Sehr dankbar bin ich meinen Assistenten Colin Williams, David Thomas und Raymond Laflamme, meinen Sekretärinnen Judy Fella, Ann Ralph, Cheryl Billington und Sue Masey sowie meinen Krankenschwestern. All dies wäre nicht möglich gewesen ohne die finanzielle Unterstützung für wissenschaftliche und medizinische Ausgaben, die ich vom Gonville and Caius College, vom Science and Engineering Research Council und von den Stiftungen Leverhulme, McArthur, Nuffield und Ralph Smith erhielt. Allen diesen Institutionen bin ich zu großem Dank verpflichtet.

Stephen Hawking

20. Oktober 1987

Einleitung

Wir bewältigen unseren Alltag fast ohne das geringste Verständnis der Welt. Wir denken kaum darüber nach, welcher Mechanismus das Sonnenlicht erzeugt, dem wir das Leben verdanken, was es mit der Schwerkraft auf sich hat, die uns an der Erde festhält und ohne die wir in den Weltraum davonwirbeln würden, oder mit den Atomen, aus denen wir bestehen und von deren Stabilität unsere Existenz entscheidend abhängt. Von Kindern abgesehen (die zu wenig wissen, um auf die wichtigen Fragen verzichten zu können), zerbrechen sich nur wenige von uns länger den Kopf darüber, warum die Natur so ist, wie sie ist, welchen Ursprung der Kosmos hat oder ob es ihn schon immer gegeben hat, ob die Zeit eines Tages rückwärts verlaufen wird, so daß die Wirkungen den Ursachen vorangehen, und ob der menschlichen Erkenntnis unüberschreibbare Grenzen gezogen sind. Es gibt sogar Kinder – ich bin einigen begegnet –, die wissen möchten, wie ein Schwarzes Loch aussieht, welches das kleinste Stück Materie ist, warum wir uns an die Vergangenheit und nicht an die Zukunft erinnern, wie es kommt, daß heute offensichtlich Ordnung herrscht, wo doch am Anfang das Chaos war, und warum es ein Universum gibt.

In unserer Gesellschaft pflegen Eltern und Lehrer solchen Fragen noch meist mit einem Achselzucken oder mit einem vagen Hinweis auf religiöse Auffassungen zu begegnen. Manche beschäftigen sich nur ungern mit solchen Themen, weil sie ihnen die Grenzen des menschlichen Verstehens allzu deutlich vor Augen führen. Doch viele Teile der Philosophie und der Wissenschaft

sind aus solchen Fragestellungen hervorgegangen. Immer mehr Erwachsene sind bereit, sich mit ihnen auseinanderzusetzen, und gelegentlich stoßen sie auf erstaunliche Antworten. Gleich weit entfernt von den Atomen und den Sternen, erweitern wir unsere Erkenntnishorizonte durch die Erforschung der kleinsten und der größten Dimensionen.

Im Frühjahr 1974, etwa zwei Jahre, bevor die Raumsonde Viking auf dem Mars landete, besuchte ich in England eine von der Londoner Royal Society organisierte Tagung über die Suche nach außerirdischem Leben. Während einer Kaffeepause bemerkte ich, daß in einem Nachbarsaal eine sehr viel besser besuchte Veranstaltung stattfand. Neugierig trat ich ein. Rasch wurde mir klar, daß ich einem alten Brauch beiwohnte, der Aufnahme eines neuen Mitglieds in die Royal Society, eine der ältesten wissenschaftlichen Gesellschaften. In der ersten Reihe saß ein junger Mann in einem Rollstuhl und trug seinen Namen sehr langsam in ein Buch, das auf einer der ersten Seiten den Namenszug Isaac Newtons trägt. Als er endlich fertig war, erhob sich ohrenbetäubender Beifall. Schon damals war Stephen Hawking eine Legende.

Hawking hat heute den Lucasischen Lehrstuhl für Mathematik an der Cambridge University inne, den vor ihm Wissenschaftler wie Newton und P. A. M. Dirac bekleideten, zwei Männer, die durch ihre Beiträge zur Erforschung der Welt der größten und der kleinsten Ausdehnungen berühmt geworden sind. Hawking ist ein würdiger Nachfolger. Die vorliegende Arbeit, sein erstes Buch, das sich nicht ausschließlich an den Fachmann wendet, ist für den Laien in vielerlei Hinsicht interessant, nicht nur wegen der Vielfalt der Themen, sondern auch wegen des Einblicks in das Denken des Autors. Eine faszinierende Welt offenbart sich dem Leser, während er Hawking in die Gebiete folgt, in die Physiker, Astronomen und Kosmologen heute vordringen, und er erfährt auch, wieviel Mut dieses Unterfangen erfordert.

«Eine kurze Geschichte der Zeit» ist auch ein Buch über Gott...

oder vielleicht über die Nichtexistenz Gottes. Das Wort Gott ist auf diesen Seiten überall präsent. Hawking stellt sich Einsteins berühmter Frage, ob Gott irgendeine Wahl gehabt habe, das Universum zu erschaffen. Hawking versucht, wie er ausdrücklich feststellt, «Gottes Plan» zu verstehen. Und um so überraschender ist das – zumindest vorläufige – Ergebnis dieses Versuchs: ein Universum, das keine Grenze im Raum hat, weder einen Anfang noch ein Ende in der Zeit und nichts, was einem Schöpfer zu tun bliebe.

Carl Sagan

Cornell University

Ithaca, New York

Unsere Vorstellung vom Universum

Ein namhafter Wissenschaftler (man sagt, es sei Bertrand Russell gewesen) hielt einmal einen öffentlichen Vortrag über Astronomie. Er schilderte, wie die Erde um die Sonne und die Sonne ihrerseits um den Mittelpunkt einer riesigen Ansammlung von Sternen kreist, die wir unsere Galaxis nennen. Als der Vortrag beendet war, stand hinten im Saal eine kleine alte Dame auf und erklärte: «Was Sie uns da erzählt haben, stimmt alles nicht. In Wirklichkeit ist die Welt eine flache Scheibe, die von einer Riesenschildkröte auf dem Rücken getragen wird.» Mit einem überlegenen Lächeln hielt der Wissenschaftler ihr entgegen: «Und worauf steht die Schildkröte?» – «*Sehr* schlau, junger Mann», parierte die alte Dame. «Ich werd's Ihnen sagen: Da stehen lauter Schildkröten aufeinander.»

Die meisten Menschen werden über die Vorstellung, unser Universum sei ein unendlicher Schildkrötenturm, den Kopf schütteln. Doch woher nehmen wir die Überzeugung, es besser zu wissen? Was wissen wir vom Universum und wieso wissen wir es? Woher kommt das Universum und wohin entwickelt es sich? Hatte es wirklich einen Anfang? Und wenn, was geschah *davor*? Was ist die Zeit? Wird sie je ein Ende finden? Neuere Erkenntnisse in der Physik, die teilweise phantastischen neuen Technologien zu verdanken sind, legen einige Antworten auf diese alten Fragen nahe. Eines Tages werden uns diese Antworten vielleicht so selbstverständlich erscheinen wie die Tatsache, daß die Erde um die Sonne

kreist – oder so lächerlich wie der Schildkrötenurm. Nur die Zukunft (was immer das sein mag) kann uns eine Antwort darauf geben.

Schon 340 v. Chr. brachte der griechische Philosoph Aristoteles in seiner Schrift «Vom Himmel» zwei gute Argumente für seine Überzeugung vor, daß die Erde keine flache Scheibe, sondern kugelförmig sei. Erstens verwies er auf seine Erkenntnisse über die Mondfinsternis. Sie werde, schrieb er, dadurch verursacht, daß die Erde zwischen Sonne und Mond trete. Der Erdschatten auf dem Mond sei immer rund, also müsse die Erde eine Kugel sein. Wäre sie eine Scheibe, hätte der Schatten eine längliche, elliptische Form, es sei denn, die Mondfinsternis träte immer nur dann ein, wenn sich die Sonne direkt unter dem Mittelpunkt der Scheibe befände. Zweitens wußten die Griechen von ihren Reisen her, daß der Polarstern im Süden niedriger am Himmel erscheint als in nördlichen Regionen. (Aufgrund der Lage des Polarsterns über dem Nordpol scheint er sich dort direkt über einem Beobachter zu befinden, während er vom Äquator aus betrachtet knapp über dem Horizont zu stehen scheint.) Aus der unterschiedlichen Position des Polarsterns für Beobachter in Ägypten und Griechenland glaube Aristoteles sogar den Erdumfang errechnen zu können. Er kam auf 400 000 Stadien. Die exakte Länge eines Stadions ist nicht bekannt, sie dürfte aber über 180 Meter betragen haben, wonach Aristoteles' Schätzung doppelt so hoch läge wie der heute angenommene Wert. Die Griechen hatten noch ein drittes Argument dafür, daß die Erde eine Kugel sein muß. Wie sollte man es sich sonst erklären, daß man von einem Schiff, das am Horizont erscheint, zuerst die Segel und erst dann den Rumpf sieht?

Aristoteles glaubte, die Sonne, der Mond, die Planeten und die Sterne bewegten sich in kreisförmigen Umlaufbahnen um die Erde, während diese in einem unbewegten Zustand verharre – eine Auffassung, der seine mystische Überzeugung zugrunde lag, daß die Erde der Mittelpunkt des Universums und daß die kreisförmige Bewegung die vollkommenste sei. Diese Vorstellung ge-

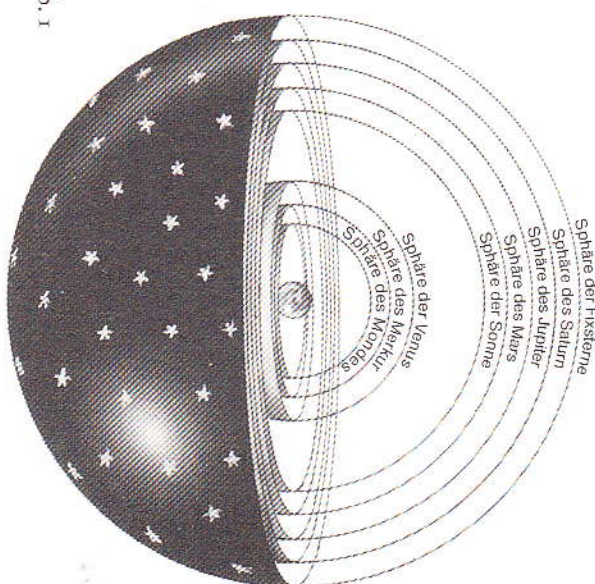


Abb. 1

staltete Prolemäus im 2. Jahrhundert n. Chr. zu einem vollständigen kosmologischen Modell aus. In ihm bildet die Erde den Mittelpunkt, umgeben von acht Sphären, die den Mond, die Sonne, die Sterne und die fünf Planeten tragen, die damals bekannt waren – Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn (Abb. 1). Die Planeten selbst bewegten sich in kleineren Kreisen, die mit ihren jeweiligen Sphären verbunden sind. Diese Annahme war nötig, um die ziemlich komplizierten Bahnen zu erklären, die man am Himmel beobachtete. Die äußerste Sphäre trägt in diesem Modell die sogenannten «Fixsterne», die immer in der gleichen Position zueinander bleiben, aber gemeinsam am Himmel kreisen. Was jenseits der letzten Sphäre lag, wurde nie deutlich erklärt; mit Sicherheit aber gehörte es nicht zu dem Teil des Universums, der menschlicher Beobachtung zugänglich war.