

dtv

Seit der englische Erzbischof James Ussher im 17. Jahrhundert steif und fest behauptete, die Welt sei haargenau am 22. Oktober 4004 vor Christus entstanden, haben sich die Meinungen ein bisschen geändert. Für die Entstehung des Universums steht heute die Theorie vom Urknall, dem Big Bang, wie ihn der große Physiker Fred Hoyle nannte, der seinerseits gar nichts dafür übrig hatte. Simon Singh führt ein in die Geheimnisse dieser Theorie. Dabei erklärt er nicht nur die Entstehung der Welt, sondern auch den Zusammenhang von Raum, Materie und Zeit. Er stellt die Frage, warum manche Theorien sich durchsetzen und andere nicht. Wie funktioniert diese Suche nach Wahrheit? Oft genug ist sie in der Wissenschaft ein leidenschaftlicher Kampf der Protagonisten. In diesem Buch ist sie ein außergewöhnliches Lesevergnügen.

Simon Singh, geboren 1964, ist Physiker und Wissenschaftsjournalist bei der BBC und der erste Autor, der mit einem Buch über Mathematik an die Spitze der Bestsellerlisten gelangte. Das war ›Fermats letzter Satz. Die abenteuerliche Geschichte eines mathematischen Rätsels‹ ([dty 33052](#)), das inzwischen Millionen Leser erreicht hat. Weitere Veröffentlichungen: ›Geheime Botschaften. Die Kunst der Verschlüsselung von der Antike bis in die Zeiten des Internet‹ ([dty 33071](#)), ›Codes. Die Kunst der Verschlüsselung‹ ([dty 62167](#)).

Simon Singh

Big Bang

Der Ursprung des Kosmos
und die Erfindung der
modernen Naturwissenschaft

Aus dem Englischen von
Klaus Fritz

Deutscher Taschenbuch Verlag

Bei dtv von Simon Singh außerdem erschienen:
Fermats letzter Satz (33052)
Geheime Botschaften (33071)
Codes (das ist die Jugendfassung der ›Geheimen Botschaften‹, 62167)

**Ausführliche Informationen über
unsere Autoren und Bücher
finden Sie auf unserer Website
www.dtv.de**



Lizenzausgabe mit Genehmigung des Carl Hanser Verlags München

4. Auflage 2011

2007 Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG,
München

© Simon Singh 2004

Diagrams © Raymond Turvey

Titel der englischen Originalausgabe: ›The Most Important Scientific Discovery of All Time
and Why You Need to Know About it‹ (Fourth Estate, London/New York 2004)

© 2005 der deutschsprachigen Ausgabe: Carl Hanser Verlag München.

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich
geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist
ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und
Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlagkonzept: Balk & Brumshagen

Satz: Fotosatz Reinhard Amann, Aichstetten

Druck und Bindung: Druckerei C. H. Beck, Nördlingen

Gedruckt auf säurefreiem, chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany · ISBN 978-3-423-34413-5

*Dieses Buch wäre nicht entstanden ohne Carl Sagan,
James Burke, Magnus Pyke, Heinz Wolff,
Patrick Moore, Johnny Ball, Rob Buckman,
Miriam Stoppard, Raymond Baxter und ohne
die Produzenten und Regisseure
von Wissenschaftssendungen, die mein Interesse
an der Naturwissenschaft geweckt haben.*

*Legt man drei Sandkörner in eine riesige Kathedrale,
ist die Kathedrale dichter mit Sand gefüllt als der Welt-
raum mit Sternen.* James Jeans

*Der Versuch, das Universum zu verstehen, gehört zu
den sehr wenigen Dingen, die das menschliche Leben
ein wenig mehr sein lassen als eine Farce und ihm etwas
von der Anmut der Tragödie verleihen.*

Steven Weinberg

*In der Wissenschaft versucht man den Menschen auf
allgemeinverständliche Weise etwas zu sagen, was bis-
lang noch niemand wußte. Aber in der Dichtung ist es
genau andersherum.* Paul Dirac

*Das ewig Unbegreifliche an der Welt ist ihre Begreif-
lichkeit.* Albert Einstein

Inhalt

1. DIE ANFÄNGE

Von der Mythologie zur Kosmologie,
von der Frühgeschichte bis 1900

11

2. THEORIEN DES UNIVERSUMS

Wie Einsteins Theorie der Schwerkraft
auf einen Moment der Schöpfung verwies

95

3. DIE GROSSE DEBATTE

Wie durch Beobachtung des Universums
eine kosmische Expansion entdeckt wurde

175

4. FREIBEUTER DES KOSMOS

Wie Theorie und Beobachtung
gemeinsam das Urknallmodell ergaben

275

5. PARADIGMENWECHSEL

Der Streit zwischen
konkurrierenden kosmologischen Theorien
wird schließlich beigelegt

367

EPILOG

Welche offenen Fragen gibt es zum Urknallmodell?
475

Was ist Wissenschaft?
503

ANHANG

Glossar 509 · Weiterführende Literatur 517 · Danksagungen 525
Abbildungsnachweise 529 · Register 531

Über hundert Milliarden Galaxien sind in unserem Weltall verstreut, und jede Galaxie enthält wiederum etwa hundert Milliarden Sterne. Um wie viele dieser Sterne sich Planeten drehen, wissen wir nicht, doch ist sicher, daß auf mindestens einem Planeten Leben entstanden ist. Insbesondere gibt es eine bestimmte Lebensform, die fähig und kühn genug ist, um über den Ursprung dieses gewaltigen Universums nachzudenken.

Seit Tausenden von Generationen richten die Menschen den Blick hoch in den Weltraum, doch unsere Generation kann als erste von sich behaupten, daß sie die Entstehung und Entwicklung des Universums auf ernstzunehmende, begründete und in sich schlüssige Weise beschreiben kann. Das Modell des Urknalls bietet eine elegante Erklärung für den Ursprung all dessen, was wir am nächtlichen Himmel sehen, und damit ist es eine der größten Errungenschaften des menschlichen Geistes. Es ist die Frucht unersättlicher Neugier, machtvoller Vorstellungskraft, exakter Beobachtung und kühler Logik.

Noch großartiger ist, daß die Theorie des Urknalls von fast allen verstanden werden kann. Als ich im Teenageralter erstmals mit diesem Gedanken in Berührung kam, war ich erstaunt, wie einfach und elegant die Theorie ist und daß ich ihre Prinzipien größtenteils mit meinen Schulkenntnissen in Physik begreifen konnte. Charles Darwins Theorie der natürlichen Auslese ist für die meisten intelligenten Menschen ebenso grundlegend wie verständlich, und auch das Modell des Urknalls läßt sich auf eine Weise erklären, die selbst für Nicht-

spezialisten nachvollziehbar ist, ohne daß die Schlüsselbegriffe der Theorie verwässert werden müßten.

Doch ehe wir uns mit den frühesten Anfängen des Urknallmodells vertraut machen, muß der Boden bereitet werden. Das Urknallmodell des Universums wurde in den letzten hundert Jahren entwickelt, und dies war nur möglich, weil die bahnbrechenden Erkenntnisse des zwanzigsten Jahrhunderts auf einem Sockel von Beobachtungen und Theorien aus früheren Jahrhunderten aufbauen konnten. Diese Theorien und Himmelsbeobachtungen fanden ihren Platz in einem wissenschaftlichen Bezugsrahmen, der im Lauf von zwei Jahrtausenden sorgfältig geschmiedet worden war. Geht man noch weiter zurück, stellt man fest, daß die wissenschaftliche Methode als Weg zur objektiven Wahrheit über die materielle Welt erst aufblühen konnte, als der Einfluß der Mythen und des Aberglaubens im Schwinden begriffen war. Kurz, die Wurzeln des Urknallmodells und des Bedürfnisses nach einer wissenschaftlichen Theorie des Universums können bis zum Niedergang des mythischen Weltbilds des Altertums zurückverfolgt werden.

Von den riesenhaften Weltenschöpfern zu den griechischen Philosophen

Einem chinesischen Schöpfungsmythos aus der Zeit um 600 v. Chr. zufolge entschlüpfte der Schöpferriese Phan Ku einem Ei und machte sich daran, die Welt zu erschaffen, indem er mit einem Meißel Täler und Berge in die Landschaft schlug. Dann setzte er die Sonne, den Mond und die Sterne an den Himmel; er starb, sobald er diese Aufgaben erledigt hatte. Der Tod des Schöpferriesen gehörte selbst noch zur Schöpfung, denn Teile seines Körpers dienten der Vollendung der Welt. Phan Kus Schädel bildete das Himmelsgewölbe, sein Fleisch den Erdboden, seine Knochen wurden zu Steinen, und sein Blut ließ Flüsse und Seen entstehen. Aus seinem letzten Atemhauch wurden Wind und Wolken, sein Schweiß wurde zu Regen. Sein Haar fiel zur Erde und ließ das pflanzliche Leben entstehen, und die Flöhe, die in seinem Haar genistet hatten, waren der Keim der menschlichen Gat-

tung. Da unsere Geburt den Tod unseres Schöpfers verlangt hatte, standen wir fortan bis in alle Ewigkeit unter dem Fluch von Kummer und Leid.

Im Gegensatz dazu begann die Schöpfung im isländischen Mythos, der »Prosa-Edda«, nicht mit einem Ei, sondern im Gähnenden Abgrund. Dieser Abgrund trennte die gegensätzlichen Reiche von Muspellsheim und Niflheim, bis eines Tages die lodernde Flammenhitze von Muspellsheim den Schnee und das Eis von Niflheim zum Schmelzen brachte und die Feuchtigkeit, die in den Gähnenden Abgrund tropfte, das Leben in Gestalt des Riesen Ymir entstehen ließ. Nun erst konnte die Schöpfung der Welt beginnen.

Das Volk der Krachi im westafrikanischen Togo spricht von einem anderen Riesen, dem gewaltigen blauen Gott Wulbari, der uns vertrauter ist unter dem Namen Himmel. Einst ruhte er ein wenig oberhalb der Erde, aber eine Frau, die mit einem langen Stock Getreide stampfte, stupste und trietzte ihn, bis er sich weiter in die Höhe begab, um die Plage loszuwerden. Allerdings befand sich Wulbari immer noch in Reichweite der Menschen, die seinen Bauch als Handtuch benutzten und sich Stückchen von seinem blauen Körper schnappten, um ihre Suppe zu würzen. Allmählich stieg Wulbari höher hinauf, bis der blaue Himmel in weiter Ferne war, und dort ist er seither geblieben.

Für die ebenfalls westafrikanischen Yoruba war Olorun der Besitzer des Himmels. Als er hinabblickte auf das leblose Sumpfland, bat er ein anderes göttliches Wesen, eine Muschel hinab zur urzeitlichen Erde zu bringen. Die Muschel enthielt eine Taube, eine Henne und ein klein wenig Erdreich. Das Erdreich wurde über dem Sumpf verstreut, worauf Henne und Taube so lange scharrrten und pickten, bis aus dem Sumpfland fester Grund geworden war. Olorun schickte das blaue Chamäleon hinunter, die Welt zu erkunden, und während es vom Himmel zur Erde sank, färbte es sich braun und zeigte damit, daß Henne und Taube ihre Arbeit erfolgreich getan hatten.

Die Kulturen rund um die Welt haben ihre je eigenen Mythen darüber ausgebildet, wie die Welt entstand und sich entwickelte. In diesen recht unterschiedlichen Schöpfungsmythen spiegeln sich immer die Gesellschaft und die Umwelt, in der sie entstanden sind. In Island

sind es die vulkanischen Kräfte und die Unbilden des Wetters, die den Hintergrund für die Geburt von Ymir abgeben, während es bei den westafrikanischen Yoruba die vertraute Henne und die Taube sind, die den festen Erdboden entstehen lassen. Dennoch haben all diese einzigartigen Schöpfungsmythen gemeinsame Merkmale. Sei es der geschundene blaue Riese Wulbari oder der sterbende Gigant von China, in diesen Mythen tritt unweigerlich mindestens ein übernatürliches Wesen auf den Plan, das eine entscheidende Rolle in der Erklärung der Schöpfung spielt. Zudem stellt jeder Mythos für seine Gesellschaft die absolute Wahrheit dar. Das Wort »Mythos« entstammt dem Griechischen und kann »Geschichte« oder »Redensart« bedeuten, aber auch »Wort« im Sinne von »letztem Wort«. Und tatsächlich, wer immer es wagte, diese Erklärungen in Frage zu stellen, handelte sich den Vorwurf der Häresie ein.

Daran änderte sich im wesentlichen nichts bis ins sechste Jahrhundert v. Chr., als es unter den Gebildeten zu einer jähren Blüte der Toleranz kam. Zum erstenmal stand es den Philosophen frei, herkömmliche mythische Erklärungen des Universums zu verwerfen und ihre eigenen Theorien zu entwickeln. Anaximandros von Milet etwa vertrat die Auffassung, die Sonne sei ein Loch in einem feuergefüllten Ring, der die Erde umgibt und sich um sie dreht. Auch der Mond und die Sterne seien nichts weiter als Löcher in diesem Firmament, durch die das dahinterliegende Feuer zu sehen sei. Hingegen glaubte Xenophanes von Kolophon, die Erde dünste brennbare Gase aus, die sich nachts ansammelten, bis sie eine kritische Masse erreichten, sich entzündeten und so die Sonne bildeten. Die Nacht breche wieder an, wenn die Gaskugel verbrannt sei und nur jene paar Funken übrig seien, die wir Sterne nennen. Den Mond erklärte er auf ähnliche Weise mit Gasen, die sich in einem Zyklus von achtundzwanzig Tagen entwickelten und verbrannten.

Daß Xenophanes und Anaximandros vollkommen falsch lagen, ist unwichtig, denn der wesentliche Punkt ist, daß sie Theorien entwickelten, mit denen sie die natürliche Welt erklärten, ohne auf übernatürliche Kräfte oder Gottheiten zurückzugreifen. Theorien, die behaupten, daß die Sonne ein Himmelsfeuer sei, das wir durch Löcher im Firmament wahrnehmen, oder eine Kugel aus brennendem

Gas, bewegen sich auf einer ganz anderen Ebene als der griechische Mythos, der die Sonne als einen Feuerwagen erklärt, der vom Gott Helios über den Himmel gejagt wird.

Dies soll nicht heißen, daß die neue Generation von Philosophen unbedingt die Existenz der griechischen Götter hätte bestreiten wollen, vielmehr weigerten sie sich einfach zu glauben, daß göttliche Handlungen für die natürlichen Erscheinungen verantwortlich seien.

Diese Philosophen waren die ersten *Kosmologen*, insofern sie an der wissenschaftlichen Erforschung des physikalischen Universums und seiner Ursprünge interessiert waren. Das Wort »Kosmologie« selbst stammt vom altgriechischen Begriff *kosmeo* her, der »ordnen« oder »organisieren« bedeutet und den Glauben widerspiegelt, daß das Universum verstanden werden kann und es sich lohnt, analytisch darüber nachzudenken. Der Kosmos wies bestimmte Muster auf, und die Griechen hatten den Ehrgeiz, diese Muster ausfindig zu machen, sie genau zu untersuchen und zu begreifen, was hinter ihnen steckte.

Es wäre eine gewaltige Übertreibung, Xenophanes und Anaximandros Wissenschaftler im modernen Sinne des Begriffes zu nennen, und es wäre etwas zu schmeichelhaft, ihre Ideen als ausgewachsene wissenschaftliche Theorien zu betrachten. Dennoch trugen sie zweifellos zur Geburt des wissenschaftlichen Denkens bei und hatten mit dem Ethos der modernen Wissenschaft viel gemein. Beispielsweise konnten die Ideen der griechischen Kosmologen ebenso wie in der heutigen Wissenschaft kritisiert und verglichen, verbessert oder verworfen werden. Die Griechen schätzten ein gutes Streitgespräch, und so war es üblich, daß eine Gemeinschaft von Philosophen Theorien prüfte, die Überlegungen dahinter in Frage stellte und schließlich die überzeugendste davon auswählte. In vielen anderen Kulturen dagegen wagten es einzelne nicht, die jeweilige Mythenwelt in Frage zu stellen. Jeder Mythos stellte für seine Gesellschaft einen Glaubensartikel dar.

Pythagoras von Samos trug ab etwa 540 v. Chr. dazu bei, die Grundlagen dieser neuen rationalistischen Bewegung zu festigen. Im Zuge seines philosophischen Denkens entwickelte er eine Leidenschaft für Mathematik und zeigte, wie Zahlen und Gleichungen dazu dienen können, wissenschaftliche Theorien zu formulieren. Eine sei-

ner ersten bahnbrechenden Leistungen war es, die Harmonie in der Musik anhand der Harmonie der Zahlen zu erklären. Das wichtigste Instrument in der frühen hellenischen Musik war das Tetrachord, die viersaitige Leier, doch Pythagoras erarbeitete seine Theorie durch Versuche mit dem einsaitigen Monochord. Die Saite wurde unter gleichbleibender Spannung gehalten, aber ihre Länge konnte verändert werden. Durch Zupfen einer Saite von bestimmter Länge ergab sich ein bestimmter Ton, und Pythagoras erkannte, daß er, wenn er die Länge dieser Saite halbierte, einen Ton erzeugte, der eine Oktave höher lag und mit dem Ton harmonierte, der beim Zupfen der ursprünglichen Saitenlänge erklingen war. Und tatsächlich: Wurde die Saitenlänge um einen einfachen Bruchteil oder Quotienten verändert, entstand ein Ton, der mit dem ersten harmonierte (so etwa bei einem Verhältnis von $3 : 2$, heute als Quinte bezeichnet). Wurde die Länge jedoch um ein sperriges Verhältnis geändert (z. B. $15 : 37$), ergab sich eine Disharmonie.

Nachdem Pythagoras gezeigt hatte, daß die Musik mit Hilfe der Mathematik erklärt und beschrieben werden kann, gebrauchten nachfolgende Generationen von Wissenschaftlern ebenfalls Zahlen, um von der Flugbahn einer Kanonenkugel bis hin zum chaosförmigen Verlauf des Wetters alles Erdenkliche zu erklären. Wilhelm Röntgen, der die nach ihm benannten Strahlen 1895 entdeckte, war ein überzeugter Anhänger der pythagoreischen Philosophie von der mathematischen Wissenschaft und erklärte einmal, der Physiker, der sich auf seine Arbeit vorbereite, brauche drei Dinge: »Mathematik, Mathematik und Mathematik.«

Pythagoras' Mantra lautete »Alles ist Zahl«. Von dieser Überzeugung beflügelt, versuchte er die mathematischen Regeln zu finden, denen die Himmelskörper unterliegen. Die Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten am Himmel erzeugten ihm zufolge bestimmte musikalische Töne, die von den Längen ihrer Umlaufbahnen bestimmt würden. Folglich mußten diese Umlaufbahnen und Töne in bestimmten zahlenmäßigen Verhältnissen zueinander stehen, damit das Universum in sich harmonisch sein könnte. Diese Theorie fand damals großen Anklang. Aus heutiger Sicht können wir sie erneut prüfen und fragen, inwiefern sie den strengen Anforderungen der

modernen wissenschaftlichen Methode standhält. Ein Pluspunkt ist, daß Pythagoras' Behauptung, das Universum sei von Musik erfüllt, nicht irgendeine übernatürliche Kraft in Anspruch nimmt. Auch ist die Theorie recht einfach und durchaus elegant, zwei Eigenschaften, die in der Wissenschaft hoch geschätzt werden. Zumeist erhält eine Theorie, die auf einer einzigen, kurzen und schönen Gleichung beruht, den Vorzug vor einer anderen Theorie, die auf einigen sperrigen, unansehnlichen Formeln beruht und überdies durch komplizierte und nebulöse Vorbehalte eingeschränkt wird. Der Physiker Berndt Matthias brachte dies auf den Punkt: »Wenn Sie eine Formel in der *Physical Review* sehen, die sich über eine viertel Seite erstreckt, vergessen Sie die Sache. Sie ist falsch. Die Natur ist nicht so kompliziert.« Einfachheit und Eleganz rangieren jedoch hinter der wichtigsten Eigenschaft jeder wissenschaftlichen Theorie, daß sie nämlich der Wirklichkeit entsprechen und einer Überprüfung zugänglich sein muß, und hier scheitert die Theorie der Himmelmusik gänzlich. Laut Pythagoras sind wir ständig in diese Musik getaucht, aber wahrnehmen können wir sie nicht, weil wir sie seit unserer Geburt hören und uns vollkommen an sie gewöhnt haben. Letztendlich ist jede Theorie, die eine Musik postuliert, die nie gehört werden kann, oder irgend etwas anderes behauptet, das nie aufzuspüren ist, eine miserable wissenschaftliche Theorie.

Jede echte wissenschaftliche Theorie muß etwas über die Welt voraussagen, dessen Eintreffen beobachtet oder gemessen werden kann. Wenn die Ergebnisse eines Experiments oder einer Beobachtung der theoretischen Voraussage entsprechen, ist dies ein guter Grund, die Theorie zu übernehmen und in den umfassenden wissenschaftlichen Bezugsrahmen einzufügen. Wenn hingegen die theoretische Voraussage unzulänglich ist und mit einem Experiment oder einer Beobachtung in Konflikt gerät, dann muß die Theorie verworfen oder zumindest angepaßt werden, ohne Rücksicht darauf, wie gut sie in puncto Schönheit oder Einfachheit abschneidet. Dies ist die schwierigste Anforderung und eine unerbittliche dazu, aber jede wissenschaftliche Theorie muß testbar und mit der Wirklichkeit vereinbar sein. Thomas Huxley, ein Naturforscher des neunzehnten Jahrhunderts, formulierte es so: »Die große Tragödie der Wissenschaft ist

die Hinrichtung einer schönen Hypothese durch eine häßliche Tatsache.«

Glücklicherweise arbeiteten Pythagoras' Nachfolger seine Ideen aus und verbesserten seine Verfahren. Die Naturwissenschaft entwickelte sich allmählich zu einer immer subtileren und mächtigeren Disziplin, die zu verblüffenden Leistungen fähig war, etwa zur Messung des tatsächlichen Durchmessers von Sonne, Mond und Erde und der Entfernung zwischen ihnen. Dies waren Höhepunkte in der Geschichte der Astronomie, denn es waren die ersten vorsichtigen Schritte auf dem Weg zu einem Verständnis des gesamten Universums. Sehen wir uns daher etwas genauer an, wie diese Messungen vorgenommen wurden.

Bevor die alten Griechen irgendwelche Entfernungen oder Größen am Firmament berechnen konnten, mußten sie herausfinden, daß die Erde eine Kugel ist. Diese Auffassung setzte sich in Griechenland durch, indem sich die Philosophen mit der Tatsache beschäftigten, daß Schiffe allmählich am Horizont verschwinden, bis nur noch die Spitze des Masts zu sehen ist. Dieses Phänomen ließ sich nur dadurch erklären, daß die Oberfläche des Meeres gekrümmt ist und sich nach unten neigt. Wenn das Meer eine gekrümmte Oberfläche hat, dann wohl auch die Erde, was heißt, daß sie vermutlich eine Kugel ist. Untermauert wurde diese Position durch die Beobachtung von Mondfinsternissen, bei denen die Erde einen scheibenförmigen Schatten auf den Mond wirft, wie es nun einmal von einem kugelförmigen Objekt zu erwarten ist. Ebenso wichtig war, daß alle sehen konnten, daß der Mond rund ist, und so lag die Vermutung nahe, die Kugel sei der natürliche Zustand des Seins, was der Hypothese von der runden Erde weitere Nahrung gab. Alles reimte sich nun zusammen, auch die Schriften des griechischen Historikers und Reisenden Herodot, der von Menschen im fernen Norden berichtete, die das halbe Jahr lang schliefen. Wenn die Erde eine Kugel war, dann wurden verschiedene Teile des Globus, je nach ihrer Breitenposition, unterschiedlich beleuchtet, und somit waren die polaren Winter und die sechs Monate anhaltenden Nächte auf natürliche Weise zu erklären.

Eine kugelförmige Erde warf jedoch eine Frage auf, die auch heute noch Kinder beunruhigt – wodurch wird verhindert, daß die Men-