

Teil I

Menschen, Ideen und Entdeckungen



1

Betrachtungen über die Welt als Ganzes

Albert Einstein und die kosmologischen Fragen

von Ernst Peter Fischer

„Betrachtungen über die Welt als Ganzes“ – unter dieser verlockenden Überschrift finden sich gegen Ende des Buches „Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie“, das Albert Einstein 1916 verfasst hat, drei kurze Kapitel mit erstaunlichen und erregenden Ansichten. Im ersten erläutert der heute weltberühmte, damals aber noch eher unbekannte Physiker einige „Kosmologische Schwierigkeiten der NEWTONschen Theorie“, um im zweiten Kapitel dem Denken „Die Möglichkeit einer endlichen und doch nicht begrenzten Welt“ zu eröffnen, bevor der dritte Textbaustein von Einsteins Betrachtungen „Die Struktur des Raumes nach der allgemeinen Relativitätstheorie“ vorstellt.

Im Vorwort zu den nicht sehr umfangreichen Ausführungen „Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie“, die bis 1988 mehr als 20 Auflagen erlebt haben und hier in einem Nachdruck aus dem Jahre 2001 zitiert werden, betont Einstein, dass er sich als Verfasser „größte Mühe gegeben hat, die Hauptgedanken möglichst deutlich und einfach vorzubringen“, ohne allerdings „auf die Eleganz der Darstellung die geringste Rücksicht zu nehmen.“ Sie sei „Sache der Schneider und Schuster“, wie Einstein schreibt, während er selbst ein anderes Ziel verfolge. Er hoffe, es sei ihm gelungen, die „Schwierigkeiten, die in der Sache begründet liegen“, „dem Leser nicht vorenthalten zu haben“, wie Einstein vorsichtig schreibt, der allgemein meinte, dass man sich zwar so einfach wie möglich ausdrücken solle, aber nicht noch einfacher. Heute würde man in dem zitierten Satz die Leserin nicht vergessen und wünschen, dass beide zusammen durch Einsteins Büchlein mit seinen kaum mehr als 100 Seiten „einige frohe Stunden der Anregung“ zu erfahren vermögen, wie der Verfasser hofft.

Dieser mehr als 100 Jahre alte Wunsch von Einstein ist aus heutiger Sicht deshalb bemerkenswert, weil er eine Qualität in Erinnerung ruft, die einmal zu dem gehört hat, was im Land der Dichter und Denker als Bildung bezeichnet wurde. Gemeint ist die Fähigkeit, bei der Suche nach Erkenntnis über die Natur geistigen Genuss zu erleben, wobei hier nur angedeutet werden kann, warum davon in

aktuellen Debatten über den Bildungsauftrag der Schulen und der Medien schon länger keine Rede mehr ist. Einen Hinweis bietet die Tatsache, dass das Feuilleton dem Soziologen Jürgen Habermas Beifall für seine Ansicht spendet, „die wissenschaftlich erforschte Natur fällt aus dem sozialen Bezugssystem von erlebenden, miteinander sprechenden und handelnden Personen heraus“. Einsteins Vergnügen an „Betrachtungen über die Welt als Ganzes“ bleibt Leuten wie Habermas fremd, die Theorien als „Ordnungsschemata“ verstehen, „die wir in einem syntaktisch verbindlichen Rahmen beliebig konstruieren“, worüber ein Theoretiker wie Einstein nur den Kopf schütteln kann. Der Autor dieser Zeilen kann sich schon länger nicht gegen den Verdacht wehren, dass die offiziell mit Bildung beschäftigten Menschen noch nie im Leben etwas von Einsteins frohen Stunden dank vorhergehender geistiger Anstrengungen gehört haben und das damit einhergehende Vergnügen nicht einmal im Ansatz kennen.

1.1 Popstar der Wissenschaft

Als Einstein 1916 seine „Betrachtungen über die Welt als Ganzes“ zu Papier brachte, war er noch nicht der Popstar der Wissenschaft, der er nach 1919 wurde. In diesem ersten Jahr nach dem Ersten Weltkrieg hatten englische Physiker unter der Leitung von Sir Arthur Eddington bei einer Sonnenfinsternis die Verschiebung in der Position von Sternen vermessen, die sich mit Teleskopen erfassen ließen, wenn man mit ihnen an dem verdunkelten Tagesgestirn vorbei in den Himmel schaute. Das Ergebnis ent-

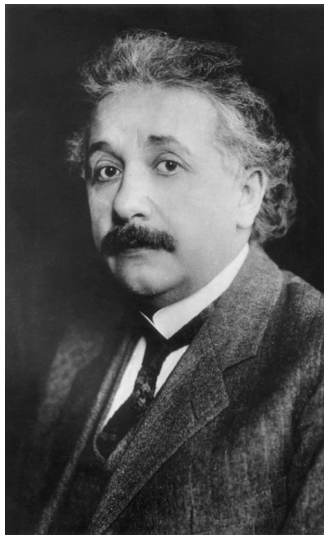


Abb. 1.1 Albert Einstein (1879–1955). *Quelle:* Bundesarchiv, Bild 183-19000-1918 / CC-BY-SA 3.0.

sprach ziemlich genau dem, was Einstein vier Jahre zuvor in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt hatte, als er das Licht in der Nähe großer Massen auf gekrümmte Bahnen schickte, weil die Materie dort die Geometrie des Raumes verändert hatte. Aus der ebenen Welt, die Euklid in der Antike beschrieben hatte, waren verbogene Raumgebiete hervorgegangen, die Mathematiker im 19. Jahrhundert zu berechnen begonnen hatten, bevor Einstein sie als die in der realen Welt angetroffene Geometrie des Kosmos Welt identifizieren konnte. Als Eddington und sein Team diese Vorhersage bestätigten, reagierte die Menschheit verblüfft: „Die Sterne waren nicht da, wo sie zu sein schienen oder wo man sie den Rechnungen nach erwartete“, wie große Zeitungen – zum Beispiel die *London Times* oder die *New York Times* – auf ihren Titelseiten meldeten, während sie zugleich versicherten, dass sich niemand sich Sorgen machen müsse. Tatsächlich taten die

Menschen das Gegenteil. Sie jubelten nach den Kriegsjahren mit Nahrungsmittelknappheit über einen großen friedvollen Fortschritt in Kultur und Wissenschaft, und sie freuten sich, einen neuen Helden der Menschheit mit geistigen statt militärischen Siegen feiern zu können. Der über Nacht berühmt gewordene Mann mit dem wirren Haar sah zudem ungewöhnlich fröhlich aus und vergnügte sein Publikum mit eingänglichen Sätzen, die beim genauen Hinhören höchst Tiefsinniges enthielten. Einstein (Abb. 1.1) meinte zum Beispiel: „Früher hat man geglaubt, wenn alle Dinge aus der Welt verschwinden, so bleiben noch Raum und Zeit übrig; nach der Relativitätstheorie verschwinden aber Zeit und Raum mit den Dingen.“

1.2 Astronomische Konsequenzen

Anfang 1916 war von dem Status eines Popstars der Physik noch nichts zu ahnen, und eigentlich hatte Einstein in seiner Relativitätstheorie nur vorgeführt, wie die von Isaac Newton mathematisch erfasste Kraft namens Gravitation, mit der sich Massen über Entfernungen gegenseitig anziehen, durch geometrische Ein- und Auswirkungen der sich in der Raumzeit aufhaltenden Materie zustande kommen und mit der dadurch bewirkten Biegung der Geometrie erklärt werden könne. Im Herbst 1916 besuchte der in Berlin tätige Einstein Freunde und Kollegen in der holländischen Universitätsstadt Leiden, und hier traf er mit dem Astronomen Willem de Sitter zusammen. De Sitter hatte sich zuvor in drei Arbeiten Gedanken „Über Einsteins Theorie der Gravitation und ihre astronomischen Konsequenzen“ gemacht, die er vor allem in der Notwendigkeit sah, Einsteins Ideen auf das Weltall als Ganzes anzuwenden, was nicht als trivial anzusehen und eher schwierig war.

Nach seiner Rückkehr nach Deutschland hielt Einstein im Februar 1917 einen Vortrag vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften über eben diese Frage, und er erörterte dabei, wie man mit seiner Allgemeinen Relativitätstheorie das gesamte Universum in den Blick bekommen könne. Er geht dabei auf die in der Physik wohlbekannten „Kosmologischen Schwierigkeiten der NEWTONschen Theorie“ ein, mit denen seine „Betrachtungen über die Welt als Ganzes“ beginnen, wobei an dieser Stelle daran zu erinnern ist, dass in der hier beschriebenen Epoche die Menschheit noch davon überzeugt war, dass die heimatliche Galaxie, die Milchstraße, das gesamte Universum ausmache. Erst 1923 sollte der amerikanische Astronom Edwin Hubble zeigen, dass der als Andromeda-Nebel bekannte Lichthaufen in Wirklichkeit eine weitere Galaxie darstellte, wobei der Wissenschaft damit nur der erste Schritt in ein immer größer werdendes Universum gelungen war, das als Ganzes bis heute weiterwächst. Einstein wird zu Beginn der 1930er Jahre mit Hubble zusammentreffen, wie später geschildert wird, und diese Begegnung wird ihm das Ganze der Welt in völlig neuem Licht zu sehen erlauben. Doch noch trägt Einstein seine alten Überzeugungen vor der Preußischen Akademie in Berlin vor und teilt seinem Publikum das Folgende mit: „Wenn man sich die Frage überlegt, wie die Welt etwa als Ganzes zu denken sei, so ist die nächstliegende Antwort wohl diese. Die Welt ist räumlich

(und zeitlich) unendlich. [. . .] Wie weit man auch durch den Weltraum reisen mag, überall findet sich ein loses Gewimmel von Fixsternen von etwa der gleichen Art und der gleichen Dichte“, doch das kann nicht sein, wie der Redner weiß und betont, denn „diese Auffassung ist mit der NEWTONschen Theorie unvereinbar“, da die letztere verlangt, „dass die Welt eine Art Mitte habe, in welcher die Dichte der Sterne eine maximale ist, und dass die Sterndichte von dieser Mitte nach außen abnehme, um weit außen einer unendlichen Leere Platz zu machen. Die Sternenwelt müsste eine endliche Insel im unendlichen Ozean des Raumes bilden“, wie Einstein seinem vermutlich erstaunten und vielleicht verwirrten Publikum zu bedenken gibt.

Eine solche Materialansammlung, so erläutert Einstein weiter, würde durch die Schwerkraft in sich zusammenstürzen und damit kein Weltall liefern, das sowohl schon länger existieren konnte als auch in alle Ewigkeit Bestand haben kann. Auch ein bis ins Unendliche gleichförmig mit Materie ausgefülltes Universum, in dem es keine ausgezeichnete Richtung gibt und die in verschiedene Richtungen ziehenden Kräfte sich gegenseitig aufheben, konnte das gewünschte Ergebnis einer stabilen Welt nicht liefern, wie Physiker und Astronomen schon am Ende des 19. Jahrhunderts bemerkt hatten. Einer von ihnen hat auf dieses Dilemma mit einem besonderen Vorschlag reagiert, den Einstein in seinen „Betrachtungen über die Welt als Ganzes“ anführt. Er erwähnt den in München tätigen Astronomen Hugo von Seeliger, der „das NEWTONsche Gesetz dahin modifiziert hat, dass er die Anziehung zweier Massen bei großen Distanzen stärker als nach dem Gesetz $1/r^2$ abnehmen lässt“, wie Einstein die Tat von Seeliger umschreibt, die ihrem Wesen nach darin besteht, dass der Astronom aus München in das Gesetz der anziehenden Gravitation eine zusätzliche Kraft mit abstoßender Wirkung eingeführt hat, die bei ausreichend großen Entfernungen, wie sie in der Kosmologie beim Durchschreiten des Weltalls vorkommen, die Anziehungskraft sogar überwinden kann.

1.3 Das kosmologische Glied

Als Einstein seine neue Theorie der Raumzeit – die der Allgemeinen Relativität – auf die Materie des ganzen Weltalls anzuwenden versuchte, stieß er auf die gleiche Schwierigkeit, die Seeliger und Kollegen mit Newtons Schwerkraft hatten. Einsteins Gleichungen lieferten keineswegs ein statisches Universum, wie man es gerne gehabt hätte, jedenfalls nicht auf Anhieb. Aber als der berühmte Kopf seine Theorie noch einmal überprüfte, fiel ihm auf, dass die Regeln, mit denen er sein kosmologisches Gebäude errichtet hatte, es ihm erlaubten, neben der anziehenden Gravitation noch eine abstoßende Kraft aufzunehmen und in die Gleichungen einzufügen. Die Korrektur spielte im Bereich der Planeten und selbst im Rahmen der Milchstraße keine Rolle, und sie bekam ihre physikalische Bedeutung erst bei den Betrachtungen der Welt als großes Ganzes. Das Wunderbare an den ergänzten Gleichungen für den Kosmos bestand darin, dass sie ein statisches Weltall auszurechnen erlaubten, was mit den Vermutungen der Astronomen im frühen 20. Jahrhundert übereinstimmte. Während innerhalb der Heimatgalaxie und erst recht im Sonnensystem mit seinen Planeten die

Schwerkraft die dominierende Rolle spielte, übernahm über Entfernungen von Milliarden von Lichtjahren der Teil der Gravitationsgleichungen das Sagen, der vorher vergessen und ausgelassen worden war. Er wurde durch eine neue Naturkonstante angegeben, die als kosmologisches Glied bekannt geworden ist und von Einstein mit dem griechischen Buchstaben Λ (Lambda) bezeichnet wurde. Mit dem Λ in den Gleichungen lieferte die Mathematik ein Weltall, das im Gleichgewicht ist, und unter diesen Umständen fühlte sich Einstein zufrieden und am Ziel seiner theoretischen Träume. Doch wie Wissenschaftshistoriker wissen, muss man gerade in solchen Situationen damit rechnen, dass sich die berühmte Weisheit von Wilhelm Busch bemerkbar macht, die aus dem 19. Jahrhundert stammt und in den allgemein bekannten Zeilen ausgedrückt wird, „Erstens kommt es anders, und zweitens als man denkt.“

Ein erstes „anders“ kommt unmittelbar bei den „Betrachtungen über die Welt als Ganzes“ durch die bereits erwähnte Eigenschaft von Einsteins Theorie zustande, die sich darin zeigt, dass der von ihr beschriebene Kosmos im Gegensatz zu dem von Newton erfassten Universum gekrümmt ist. In Einsteins Welt funktioniert die normale Geometrie à la Euklid nicht mehr, und die Winkelsumme eines Dreiecks addiert sich nicht mehr zu 180° . Dies stellte keine besondere Überraschung dar, da in Einsteins Theorie Schwerfelder den Raum krümmen, was es Menschen letztendlich erlaubt, sich „Die Möglichkeit einer endlichen und doch nicht begrenzten Welt“ vorzustellen, die Einstein ihnen anbietet. Die widersprüchlich wirkende und unmöglich scheinende Kombination „endlich und unbegrenzt“ kann man sich eine Dimension tiefer am Beispiel einer Kugeloberfläche oder durch den Blick auf einen Globus veranschaulichen, wie er früher auf vielen Schreibtischen stand. Das damit präsentierte Modell der Erde ist sicher nicht unendlich groß, erlaubt es aber, auf ihm unbegrenzt auf der Welt umherzuwandern und den Weg mit einem endlosen Strich zu markieren. Das zweite „anders“ sollte nicht lange auf sich warten lassen.

1.4 Zeitlich veränderliche Weltmodelle

Zunächst war die Welt für Einstein noch in Ordnung, weil er auf einen gleichförmig mit Materie gefüllten Kosmos blicken konnte, der sich im Gleichgewicht befand. Diese Ruhe wurde gestört, als Willem de Sitter 1917 in einer Arbeit zeigen konnte, dass Einsteins Gleichungen auch zeitlich veränderliche Weltmodelle zulassen. Die durchschnittliche Dichte der Materie in dem Kosmos von de Sitter lag zwar bei null, was keine Anziehungskraft zuließ, aber Einsteins kosmologische Konstante übte ihre abstoßende Wirkung weiter aus, weshalb de Sitter mit ihrer Hilfe eine Welt beschreiben konnte, die expandierte. Einstein „was not amused“, und seine Verwunderung oder gar Verärgerung nahm zu, als der russische Meteorologe Alexander Friedman im Jahre 1921 allgemein zeigen konnte, dass Einsteins Gleichungen – mit oder ohne kosmologisches Glied – Lösungen erlaubten, die zu Weltmodellen führten, die expandieren oder in sich zusammenfallen können. Einstein fühlte sich

irritiert und wenig begeistert, und erst als er in Friedmans Rechnungen meinte, einen Fehler gefunden zu haben, beruhigte sich sein Gemüt. Dieser Zustand hielt aber nicht lange an, denn bald stellte sich heraus, dass nicht Friedman, sondern Einstein sich verrechnet hatte, was ihn immer noch nicht dazu brachte, seine Überzeugung aufzugeben, dass nur statische Modelle die wirkliche Welt als Ganzes richtig beschreiben. Dabei hielt Einstein sein kosmologisches Glied für unentbehrlich, um „die Verteilung der Materie zu ermöglichen, wie sie der Tatsache der kleinen Sternengeschwindigkeiten entspricht“, wie Einstein 1917 geschrieben hat und was es genauer zu verstehen gilt.

Als Einstein an den hier vorgestellten kosmologischen Themen arbeitete, hatten die Astronomen längst erkannt, dass die Erde mit ihrem Zentralgestirn und Milliarden anderer Sonnen mit der Milchstraße ein eher flaches Raumgebiet einnehmen, um dessen Zentrum sich Sterne der Galaxie drehen, und zwar mit etwa hundert Kilometer pro Sekunde, wie gemessen worden war. Das sind die oben erwähnten „kleinen Sternengeschwindigkeiten“, und da Einstein keine anderen erwähnt, wusste er offenbar nicht, dass neben diesen Objekten einige Nebelwölkchen mit viel größeren Geschwindigkeiten durch den Weltraum zogen. Interessanterweise war bereits 150 Jahre vorher Immanuel Kant auf diese Nebelschwaden aufmerksam geworden, und als der Philosoph, ihre Bewegung zu deuten, versuchte, kam er zu der zutreffenden Ansicht, sie seien scheibenförmige Ansammlungen von Sternen. Als Einstein lebte, wurde über diese nebulösen Gebilde als leuchtende Gasschwaden spekuliert, was aber nicht zu den Geschwindigkeiten von 300 km/sec passen wollte, die bei elliptischen Nebelflecken gemessen worden waren. Diese Zahl ließ immer mehr den Verdacht aufkommen, dass die beobachteten Objekte vielleicht gar nicht zur Milchstraße gehörten und es möglicherweise noch viele weitere Dinge außerhalb von ihr im Weltraum geben könnte.

1.5 Auftritt Edwin Hubble

Der Beweis dieser sich weitenden Weltsicht erfolgte im Jahre 1923, als der amerikanische Astronom Edwin Hubble (Abb. 1.2) so genannte Nova-Sterne untersuchte, deren Helligkeit sich periodisch ändern kann – durch thermonukleare Explosionen, wie die Wissenschaft heute zu sagen weiß –, was sie zu Himmelsobjekten macht, die zum Cepheiden-Typ gehören. Sie waren ein Jahrzehnt zuvor von der Astronomin Henrietta Leavitt bemerkt und ins Visier genommen worden, die festgestellt hatte, dass sich aus dem Zusammenhang zwischen der Leuchtkraft und der Periode eines solchen Sterns die Möglichkeit ergab, seine Entfernung von der Erde zu bestimmen. Als Hubble Leavitts Methode auf die Objekte seiner Begierde anwandte, stellte er fest, die von ihm untersuchten Sterne befanden sich in einem Abstand von fast einer Million Lichtjahre von der Erde, was zehnmal weiter als die Ausdehnung der Milchstraße war und der Menschheit plötzlich endlose scheinende Räume eröffnete.

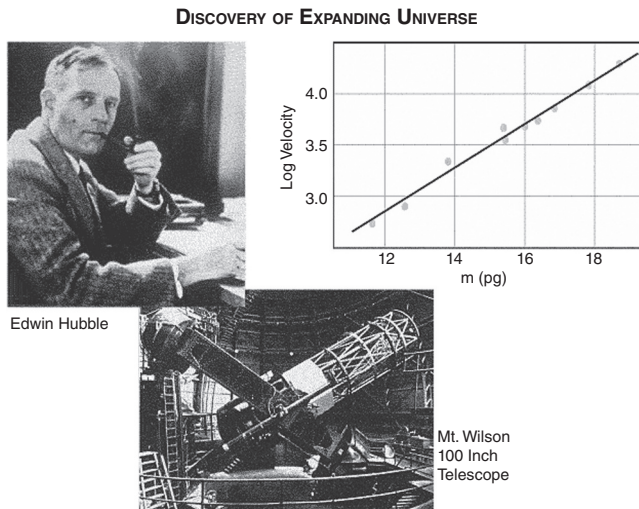


Abb. 1.2 Edwin Hubble entdeckte jenseits der Milchstraße nicht nur weitere Welteninseln, sprich Galaxien. Vielmehr beobachtete er mithilfe seines leistungsstarken 100-Zoll-Teleskops auf dem Mount Wilson mittels der Spektralanalyse des einfallenden Lichts eine Verschiebung der Spektrallinien zum roten Ende des elektromagnetischen Spektrums, also zu den größeren Wellenlängen hin. Seine richtige Folgerung: Die Galaxien bewegen sich voneinander fort – der Weltraum expandiert! *Quelle: NASA / gemeinfrei.*

Kurzum: Hubble hatte am Himmel eine neue Galaxie entdeckt – die zweite neben der Milchstraße –, und das war erst der Anfang einer vollständigen Neuvermessung der Welt, die nach und nach das Universum größer werden und auch die Zahl der Galaxien weiterwachsen ließ. All diese Entwicklungen wurden darüber hinaus von den Beobachtungen getoppt, mit deren Hilfe Edwin Hubble und der in seiner Jugend als Maultiertreiber beschäftigte Milton Humason an Messungen von Vesto Slipher anknüpfen konnten. Der in Arizona tätige Wegbereiter der modernen Kosmologie hatte zwischen 1912 und 1917 bemerkt, dass das Licht entfernter Galaxien das Phänomen der Rotverschiebung erkennen lässt, was die Physiker durch den so genannten Doppler-Effekt deuten, der, aus der Frequenzänderung eines Signals auf die Geschwindigkeit der bewegten Quelle zu schließen, erlaubt. Sliphers Messungen zeigten, dass die elektromagnetischen Wellen des Lichts einen sich ausdehnenden Raum durchqueren mussten, um auf der Erde empfangen werden zu können, und Hubble und Humason konnten nicht nur bestätigen, dass sich die Galaxien mit erkennbarer Rotverschiebung von der Erde wegbewegten. Sie konnten bis 1929 zudem zeigen, dass zwischen der von dem Heimatplaneten der Menschen weg gerichteten Fluchtgeschwindigkeit und der Entfernung der Galaxien ein einfacher linearer Zusammenhang besteht. Die Geschwindigkeit v ist proportional der Distanz d , wie die Messungen ergaben, und die Proportionalitätskonstante heißt heute H , was gewöhnlich als Hubble-Konstante bezeichnet wird, aber von Kennern der Wissenschaftsgeschichte auch als Humason-Konstante verstanden werden könnte.

1.6 Auftritt George Lemaître

Ein tiefer gehender Blick in die Geschichte zeigt, dass die empirisch ermittelte Verbindung zwischen Distanz und Geschwindigkeit und damit die Vorstellung eines expandierenden Weltalls zuvor schon bei theoretischen Bemühungen auf- und angefallen war, wenn auch an einem unwahrscheinlichen Ort. Gemeint ist der Kopf des belgischen Theologen und Astrophysikers George Lemaître (Abb. 1.3), der großen Wert darauf legte, Forschungsthemen und Glaubensfragen voneinander zu trennen. Der Priester beschäftigte sich seit 1925 mit den Gleichungen von Einstein, und seine kosmologischen Überlegungen führten ihn zu Lösungen, wie sie bereits Friedman und de Sitter ins Auge gefasst hatten und die auf ein sich ausdehnendes Universum hinausliefen. Lemaître fand, dass die Geschwindigkeit, mit der sich zwei Galaxien durch die Expansion des Raumes voneinander entfernen, mit ihrem Abstand zunimmt, wie Hubble es gemessen hatte. Nachdem er seine Arbeit in einem eher unter Ausschluss der Öffentlichkeit erscheinenden Journal veröffentlicht hatte, kontaktierte Lemaître Einstein direkt, um ihn zu fragen, was er von diesen Überlegungen halte. „Ihre Physik ist scheußlich“, kanzelte der große Mann der Wissenschaft den kleinen Mann der Kirche ab, der sich aber nicht entmutigen ließ, weil es ihm persönlich so vorkam, als ob Einstein die jüngsten Ergebnisse der astronomischen Forschung ziemlich selektiv wahrnahm.

Die Daten von Edwin Hubble und die Analysen von George Lemaître werden heute so gedeutet, dass die Welt mit einem Urknall – einem Big Bang – oder mit einem Uratom angefangen hätte, die in der heutigen Physik mathematisch als Singularität behandelt werden. Der höchst populäre und inzwischen in der Alltagssprache angekommene Ausdruck eines Urknalls – in historischen Schriften ist zum Beispiel vom Urknall der Kultur in der Weimarer Republik die Rede – wurde

im Englischen abwertend eingeführt, als der britische Astronom Fred Hoyle in den 1940er Jahren gegen Lemaîtres Idee zu Felde zog, um seinen eigenen Vorstellungen einer „Steady-State-Theorie“ mehr Aufmerksamkeit zu verschaffen. In Hoyles Sicht expandiert das Universum zwar auch, aber ohne einen dichten und heißen Ursprung nötig zu haben. Der sich ausweitende Kosmos kann in der „Steady-State-Theorie“ seine Dichte konstant halten, weil immer neue Materie aus dem Vakuum heraus entstehen kann. So schön sich die kosmische Geschichte mit einem Urknall erzählen lässt – sogar der Kirche gefällt die Idee solch eines besonderen Moments der Schöpfung des Ganzen –, so viel Mühe macht es wissenschaftlich denkenden Menschen, sich auf solch eine Urexplosion einzulassen. So kann man



Abb. 1.3 George Lemaître (1894–1966). Quelle: ©ESA.

bis heute mit dem sarkastischen Kommentar Heiterkeit hervorrufen, der besagt, dass eine Gesellschaft, die den Anfang der Welt mit einem *Knall* erklärt, selber einen hat. Dabei konnten im Jahre 1965 die Physiker Robert Wilson und Arno Penzias durch die Vermessung einer kosmischen Hintergrundstrahlung im Mikrowellenbereich die Grenzen einer „Steady-State-Theorie“ aufzeigen und Modellvorstellungen mit anfänglichen Singularitäten als wahrscheinlich oder gar plausibel erscheinen lassen.

Zum kosmischen Urknallgeschehen gehören subtile Konzepte, die mehr Platz benötigen, als hier verfügbar ist, aber wenigstens einen Hinweis erfahren, damit sie nicht missverstanden werden. Das Hubble'sche Gesetz besagt nicht, dass der Urknall an einem bestimmten Punkt im Raum begonnen hat. Es besagt nur, dass die Materie früher überall dichter war und sich im Laufe der Zeit verdünnen wird, weil alles auseinanderfliegt. Man kann auch nicht sagen, am Anfang hätte es ein Uratom mit unendlicher Dichte gegeben. Man kann nur sagen, in dem Moment, in dem den Menschen die Welt zugänglich wird, sieht sie so aus, als habe sie in einem singulären Punkt begonnen. Die verbreiteten Theorien mit den populären Begriffen sagen weniger etwas darüber aus, wie alles beginnen konnte, und informieren mehr, wie sich alles entwickelt hat.

1.7 Einstein kommt zu Besuch

Als Hubble die Geschwindigkeiten anderer Galaxien neben dem Andromeda-Nebel messen wollte, hatte er sich keine leichte Aufgabe gestellt, denn in seiner Zeit waren bei solch lichtschwachen Objekten Belichtungszeiten von mehr als fünfzig Stunden nötig, und das Fernrohr musste in mehreren aufeinanderfolgenden Nächten auf dasselbe Ziel gerichtet werden. Astronomie war harte körperliche Arbeit. Doch 1929 zahlte sich die Mühe aus, und Hubble war sicher, dass sich das Weltall ausdehnt. Als Einstein ihn 1931 in Kalifornien besuchte, gingen die beiden gemeinsam in das Observatorium auf dem Mount Wilson bei Los Angeles, wo Hubble seine Entdeckungen gemacht hatte. Einstein ließ sich bei dieser Gelegenheit nicht nur fotografieren, als er durch das Fernrohr blickte, er ließ sich insgesamt bei dem Besuch in Kalifornien davon überzeugen, dass sich das real existierende Weltall anders – viel dynamischer – verhält als der zeitlich unveränderliche Kosmos, den er sich bislang erträumt hatte. Die Schwerkraft und die von ihm durch die kosmologische Konstante eingeführte abstoßende Kraft halten sich nicht das Gleichgewicht. Das Weltall muss mit einem archaischen Schwung voller Energie gestartet sein, den die Gravitation bislang nicht bändigen konnte. Auf jeden Fall war Einsteins kosmologisches Glied durch Hubble überflüssig geworden, das wahrscheinlich bei rechtzeitiger Kenntnis eines expandierenden Universums niemals in den Gleichungen aufgetaucht wäre. Einstein sprach von der größten Eselei seines Lebens, was gerne zitiert wird, aber nur eine weitere Eselei darstellt. Er hätte die kosmologische Konstante in den Gleichungen einfach stehen lassen sollen, denn

erstens kam es anders, als zweitens selbst ein Einstein dachte, und sein Λ ist längst wieder zurückgekehrt.

1.8 Dunkelenergie

Wie das? Seit einiger Zeit können Astronomen ebenso wie Astronominnen die Entfernung weit draußen im Raum driftender Sternsysteme mit Hilfe eines Phänomens bestimmen, das als Supernova Typ 1a bekannt ist. Gemeint ist das helle Aufleuchten eines massereichen Sterns in einer Explosion, wobei zu beachten ist, dass irdische Beobachter die entfernten Objekte nicht so sehen, wie sie sich heute bewegen, sondern so, wie sie sich bewegt haben, als das Licht ausgesendet wurde, das die Erde heute erreicht. Da der Blick in die Ferne gleichzeitig ein Blick in die Vergangenheit ist, erlauben es Untersuchungen der genannten Supernovae, die Rate der kosmischen Expansionen während verschiedener Epochen der Entwicklung des Weltalls zu bestimmen. Dabei zeigt sich folgendes Ergebnis: Anfangs sorgte die wechselseitige Anziehung der Schwerkraft wie erwartet dafür, dass die Expansion der Sternsysteme abgebremst wurde. Dann aber begann das Ausdehnen schneller zu werden, und diese Beschleunigung der Expansion hält bis heute an. Offensichtlich wirkt neben der anziehenden Gravitation bei großen Abständen der Himmelskörper eine zusätzlich vorhandene abstoßende Kraft. Das Weltall verhält sich genauso, wie es Einsteins Gleichungen mit ihrem kosmologischen Glied verlangen.

Woher kommt diese Wirkung? Sie hat weniger mit der Relativitätstheorie und mehr mit der Quantenmechanik zu tun, die keinen wirklich leeren Raum zulässt. In einem Vakuum bilden sich stets spontan elektrische und magnetische Felder, aus denen Elektron-Positron-Paare entstehen können. Das Vakuum ist ein kompliziertes Gebilde, in dem eine gespenstische Teilchenwelt und ihre Wechselwirkung mit Antimaterie einen Druck ausüben und somit eine abstoßende Kraft bewirken. Die Fachwelt nennt sie die Dunkelenergie. Einstein wusste von ihr nichts, und vermutlich hätte sie ihn mehr geärgert als gewundert. Er wäre sicher nicht begeistert gewesen, hätte er zusehen müssen, wie seine geliebte Kosmologie ausgerechnet von Auswirkungen der ungeliebten Quantenmechanik abgerundet werden konnte, mit der er sich zeitlebens nicht anfreunden konnte.

In Einsteins Kosmos tauchen wie im Weltall immer wieder Überraschungen auf, zuletzt durch die Entdeckung eines handschriftlichen und undatierten Manuskripts, in dem sich Einstein Gedanken „Zum kosmologischen Problem“ macht. Das Dokument gehört zum Bestand des Archivs der Hebräischen Universität in Jerusalem, und es wird von Historikern auf das Jahr 1931 datiert, in dem Einstein in den „Sitzungsberichten der Preußischen Akademie der Wissenschaften“ eine Arbeit mit dem Titel „Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie“ publiziert hat. In dem unveröffentlichten Text entwirft Einstein – mehr als ein Jahrzehnt vor Hoyle – das Modell eines expandierenden Universums mit konstanter Dichte, was dadurch möglich werden kann, dass „immer neue Masseteilchen in dem

Volumen aus dem Raume entstehen.“ Leider unterläuft Einstein ein Rechenfehler, so dass sein Ansatz statt eines expandierenden Weltalls mit konstanter endlicher Dichte nur ein leeres Universum liefert. Trifft damit zu, was der Teufel am Ende von Goethes Faust dem Publikum zuruft: „Ein großer Aufwand, schmäählich! ist vertan.“

Eher nicht, denn man kann auch die Ansicht vertreten, dass Einsteins kosmologisches Problem das Schönste erlaubt, was ein Mensch erfahren kann. Gemeint ist das Gefühl für das Geheimnisvolle. Mit ihm fangen die Aufklärung und die kreative Wissenschaft an, um die Menschen sich weiter bemühen, auch wenn sie wissen, dass sie dabei nur auf tiefere Geheimnisse stoßen. Was soll die Welt als Ganzes anderes sein? Man kann über sie nur staunen und hoffen, dabei „einige frohe Stunden der Anregung“ zu erleben. Einstein sei Dank.



Prof. Dr. Ernst Peter Fischer (1947) lehrte an den Universitäten Konstanz und Heidelberg. Der mehrfach ausgezeichnete Wissenschaftshistoriker und Wissenschaftspublizist schreibt unter anderem für „bild der wissenschaft“ und hat mehr als 80 populärwissenschaftliche Bücher für verschiedene Verlage verfasst, z. B.: „Die andere Bildung“ (2001) und „Die Verzauberung der Welt“ (2014). Bis 1999 Herausgeber des Mannheimer Forums in der Nachfolge von Hoimar von Ditfurth. Danach Tätigkeiten für das „Forum für Verantwortung“ und seine Initiative „Mut zur Nachhaltigkeit“ (Foto: Ernst Peter Fischer).*

Literatur

1. Einstein, A. (1916). *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. Springer.
2. Eddington, A.S. (1920). *Space, Time and Gravitation: An Outline of the General Relativity Theory*. Cambridge University Press.
3. Hubble, E. (1936). *The Realm of the Nebulae*. Yale University Press.
4. Friedman, A. (1922). *Über die Krümmung des Raumes*. Verlag der Akademie der Wissenschaften.

5. Lemaître, G. (1931). *Hypothese of the Expanding Universe*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
6. Hawking, S. und Mlodinow L. (2003). *Das Universum in der Nussschale*. Rowohlt.
7. Greene, B. (1999). *Das elegante Universum: Superstrings, verborgene Dimensionen und die Suche nach der Weltformel*. Siedler.
8. Hoyle, F. (1950) *The Nature of the Universe*. Harper & Brothers.
9. Pais, A. (1982). *Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press.
10. Einstein, A. and de Sitter W. (1932). *On the Relation Between the Expansion and the Mean Density of the Universe*. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.
11. Kragh, H. (1996). *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*. Princeton University Press.
12. Gamow, G. (1947). *Mr. Tompkins im Wunderland der Physik*. Piper.