

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	8	Interstellare Botschafter	
Wo sind sie?	10	5.1. Interstellare Meteoriten und Kometen	75
2.1. Der dunkle Wald	11	5.2. Oumuamua – Alien-Raumschiff auf Erkundungsflug?	76
2.2. Wo sind sie?	13	5.3. Frei fliegende Planeten – Interstellare Archen?	78
2.2.1. Ein Mangel an Besuchen	14	Eine kleine Geschichte der Außerirdischen	
2.2.2. Ziemlich viele Immobilien	14	6.1. Freie Geister	83
2.2.3. Der Ritt auf dem wilden Stier	17	6.2. Das geozentrische Weltbild bleibt – vorläufig.	84
2.2.4. 60 Jahre SETI	21	6.3. Vom Mittelalter in die Renaissance	86
Kosmos für den Hausgebrauch		6.4. Zäher Wandel	89
3.1. Wie groß ist das Universum?	23	6.5. Giordano Bruno: Für die Wahrheit in den Tod	92
3.2. Flatland – Ein Gedankenspiel	27	6.6. Die Zeit der Aufklärung	97
3.2.1. Höhere Dimensionen	28	6.7. In der Neuzeit angekommen	99
3.2.2. Die Schwäche der Schwerkraft	29	Aliens in den Medien	
3.2.3. Schrödingers Katze	30	7.1. Mars – Sehnsuchtsplanet der Medien	103
3.2.4. Das anthropische Prinzip	32	7.2. Wurmlöcher – Schwarze Löcher – Logiklöcher	106
3.2.5. Aufwärts, nicht nordwärts	33	7.3. Raumschiff Orion, die Frogs und die Frauen	110
3.3. Entfernungen	35	7.4. Valerian – Die Stadt der tausend Planeten	115
Leben, Intelligenz und Bewusstsein		Die Suche	
4.1. Das Leben – ein Wunder?	44	8.1. Die CoLD-Skal – Sieben Stufen zum Leben	121
4.2. G-Stern Chauvinismus	46	8.2. Die Rio-Skala	125
4.3. Der Ursprung des Lebens	51	8.3. Stimmt unsere Suchmethode?	127
4.3.1. Die Blitz-Theorie	52	8.4. Superhabitabel	131
4.3.2. Die „Leben-aus-Ton-Theorie“	52	8.5. Alien vs. Predator oder das kosmische Internet	133
4.3.3. Die Tiefseeschlot-Theorie	53	8.5.1. Wie wahrscheinlich ist intelligentes Leben?	135
4.3.4. Die Eis-Theorie	54	8.5.2. Ein neuer Ansatz ist nötig	137
4.3.5. Die RNA-Theorie	55	8.6. Die Mondrückseite – Bester Ort für die Suche nach E.T.	140
4.3.6. Die „Das Leben-begann-nicht-auf-der-Erde-Theorie“	56	8.7. Ein Helikopter sucht nach Leben auf Titan	144
4.3.7. Die Spontanbildungstheorie	56	8.8. Helikopter-Intermezzo auf dem Mars	147
4.3.8. Die „Das-Leben-kam-durch-Meteoriten-Theorie“	58	8.9. Atomantrieb für Dragonfly	149
4.4. Leben in unserem Sonnensystem?	59	8.10. Gefährlicher Abstieg zur Oberfläche	150
4.4.1. Auf der Venus oder über ihr?	59	8.11. Artefakte und Technosignaturen	153
4.4.2. Mars macht mobil	63		
4.4.3. Auch Ceres ist mit dabei	63		
4.4.4. Die Monde des Jupiter	64		
4.4.5. Saturn und darüber hinaus	66		
4.5. Jenseits des Sonnensystems	68		
4.6. Was ist Leben?	69		
4.7. Vom Leben zum Bewusstsein	71		

UFOs und UAPs

9.1. Schon immer ein heißes Thema	157
9.2. Kenneth Arnold	158
9.3. Roswell – Das Original	160
9.4. Projekt „Sign“ – Projekt „Grudge“	162
9.5. Die Caldwell-Untersuchung	163
9.6. UFO-Sichtungen nach Roswell	166
9.7. UFOs in Texas und in Australien	167
9.8. Und noch einmal Roswell	168
9.9. Ronald Reagan, die schwarzen Dreiecke und eine Randnote	169
9.10. Die Hill-Entführung begründet die „Kontakt-Stories“	170
9.11. Paradigmenwechsel	172
9.12. Der Pentagon-Bericht und seine Auswirkungen	175

SETI & Co.

10.1. Mit reitenden Boten ist kein Staat zu machen	181
10.2. Frank Drake – Urgestein der SETI-Forschung	181
10.3. Drakes berühmte Formel	184
10.4. Die Drake-Formel im Härtestest	188
10.5. Die Nottingham-Studie	193

Die Sonnensysteme gleich nebenan

11.1. Voyagers unendliche Reise	195
11.2. Das Sonnensystem gleich nebenan	197
11.3. Mission zu Tau Ceti – Sehnsuchtsort der Science Fiction	201
11.4. Boyajian's Stern	203
11.5. Vielleicht hilft TESS	205
11.6. Fermis Paradoxon – Die zweite Lösung	210

Erstkontakt

12.1. Invasion der Aliens	213
12.2. Kontaktaufnahme	215
12.3. Post für die Außerirdischen	216
12.4. Sollen wir uns wirklich bemerkbar machen?	219
12.4.1. Beacon in the Galaxy	221
12.4.2. Wie präsentieren wir uns?	222
12.4.3. Binärcode oder nicht?	225

12.4.4. Sollen wir die Nachricht wirklich senden?	227
12.4.5. Charme-Offensive für die Aliens	230
12.5. Werden uns die Aliens töten?	231

Sie sind schon da

13.1. Sie sind schon da	235
13.2. Wir selbst sind die Aliens	236
13.3. Wir nehmen sie nicht wahr	236
13.4. Die Aliens halten Sommerschlaf	238
13.5. Sie leben in den Ozeanen der Eismonde und Eisplaneten	238
13.6. Wir sind allein in einem belebten Universum	242
13.7. Predator – Jagen gehen auf der Erde	242

Mega-Zivilisationen

14.1. Dyson-Schwärme und Dyson-Schalen	245
14.1.1. Der Dyson-Ring und Dyson-Schwarm	246
14.1.2. Die Dyson-Schale	246
14.1.3. Sonderfälle	248
14.2. Die Kardaschow-Skala	248
14.3. Kosmische Archen	251
14.3.1. Umzug unausweichlich	252
14.3.2. Die Stunde der frei fliegenden Planeten	255
14.3.3. Auswanderung auf Art der Polynesier	256
14.4. Die dritte Lösung des Fermis Paradoxons	257

Konsequenzen

15.1. Konsequenz I – Kybernetische Zivilisationen	265
15.2. Konsequenz II – Ganz anders denken	265
15.3. Konsequenz III – Was wird aus der Religion?	270
15.4. Konsequenz IV – Wir sind allein	270
15.5. Die finale Konsequenz	272

Anhänge

Anhang A	
Alphabet der Suche nach dem Leben im Universum	275
Anhang B	
Weiterführende Quellen und Zusatzinformationen im Internet	280
Anhang C	
Copyright-Hinweise	281

Kosmos für den Hausgebrauch

Die Wissenschaft verlässt sich auf einige Grundannahmen, um das Universum zu verstehen. Dazu zählt auch das kosmologische Prinzip. Die Anfangsüberlegungen dazu gehen auf den Astronomen Nikolaus Kopernikus zurück. Deshalb wird es auch manchmal nach ihm als „kopernikanisches Prinzip“ benannt. Es besagt, dass das Universum homogen und isotrop ist. Das gesamte Weltall ist im Großen und Ganzen überall gleich beschaffen, egal an welchem Ort man sich befindet, egal aus welchem Blickwinkel man es betrachtet. Kein Punkt des Universums hat einen besonderen, irgendwie herausgehobenen Status.

Das bedeutet, dass überall im Universum die gleichen physikalischen Gesetze gelten. Die Regeln der Schwerkraft sind hier bei uns dieselben wie fünf Milliarden Lichtjahre entfernt. Wenn wir jetzt also davon ausgehen, dass in unserer Ecke der Milchstraße Leben entstehen kann, dann kann es das überall anders auch. Damit kann man auch das Postulat aufstellen, dass es außerirdisches Leben gibt, denn es gibt ja uns, und wir sind nur „Durchschnitt“ im Universum. Wir können es sogar noch erweitern: Wenn das kosmologische Prinzip gilt, dann ist Leben nicht zu vermeiden.

Doch zuletzt gab es Diskussionen um dieses Thema, denn einige Forscher sorgten mit Beobachtungen für Aufsehen, die dem kosmologischen Prinzip widersprechen. Sie nähren Zweifel an diesem wichtigen Fundament

der Kosmologie, auf das sich die Wissenschaft so lange verlassen hat.

Sollten sie Recht haben, könnte das Weltall anders funktionieren, als wir das bisher angenommen haben. Wenn zum Beispiel heutige „Rechengrößen“ wie die dunkle Energie vielleicht gar nicht existieren. Das würde die Astronomie in eine fundamentale Krise stürzen. Auch gibt es Hinweise darauf, dass die Isotropie nicht überall im Weltall gegeben ist. Es scheint Regionen ungeheurer Größe zu geben, in denen die Materieverteilung anders ist, als in der Region in der wir leben. Statt Isotropie gibt es dort An-Isotropie. Auch die kosmische Hintergrundstrahlung, ein Nachglimmen des Urknalls, scheint nicht so gleichmäßig verteilt zu sein, wie sie es eigentlich sein müsste.

So gibt es eine Reihe von kleinen Hinweisen, die das kosmologische Prinzip in Frage stellen. Einer für sich wäre vielleicht noch ein Zufall, doch es mehren sich Beobachtungen für immer mehr Abweichungen. Wenn es eine grundsätzliche Problematik mit dem kosmologischen Prinzip ist, dann wüssten wir nicht, was unser heutiges Standardmodell des Kosmos ersetzen könnte. Möglicherweise sind es aber nur geringfügige Abweichungen, die das Prinzip als solches nicht in Frage stellen. Das Wissen um die Gesetzmäßigkeiten des Kosmos nimmt fast täglich zu. Warten wir also ab, was die Zukunft bringt. So lange gehen wir davon aus, dass das kosmologische Prinzip gilt. (■ 3-1)

3.1. Wie groß ist das Universum?

Vielleicht sollten wir uns ganz zu Anfang mit der Frage beschäftigen: Wie groß ist denn dieses Universum, in dem wir und womöglich noch unzählige andere Spezies leben. Oder in dem wir – ob wir es wollen oder nicht – möglicherweise ganz alleine sind.

Eine der grundlegenden Fragen der Astronomie und eine der von Laien am öftesten falsch beantworteten lautet: Wie groß ist das Universum? Indem wir nach dem am weitesten von uns entfernten beobachtbaren Punkt suchen und somit gleichzeitig nach dem Ältesten, denn von dort braucht das Licht zu uns am Längsten, könnten wir im Prinzip den Durchmesser abschätzen.

Dank der sich ständig weiter entwickelnden astronomischen Instrumente sind heute die Forscher in der Lage, bis in eine Zeit nur wenige hunderttausend Jahre nach dem Urknall zurückzublicken. Dies scheint zu implizieren, dass wir somit praktisch das gesamte Universum überblicken können. Das ist aber keineswegs der Fall. Die Größe des Uni-

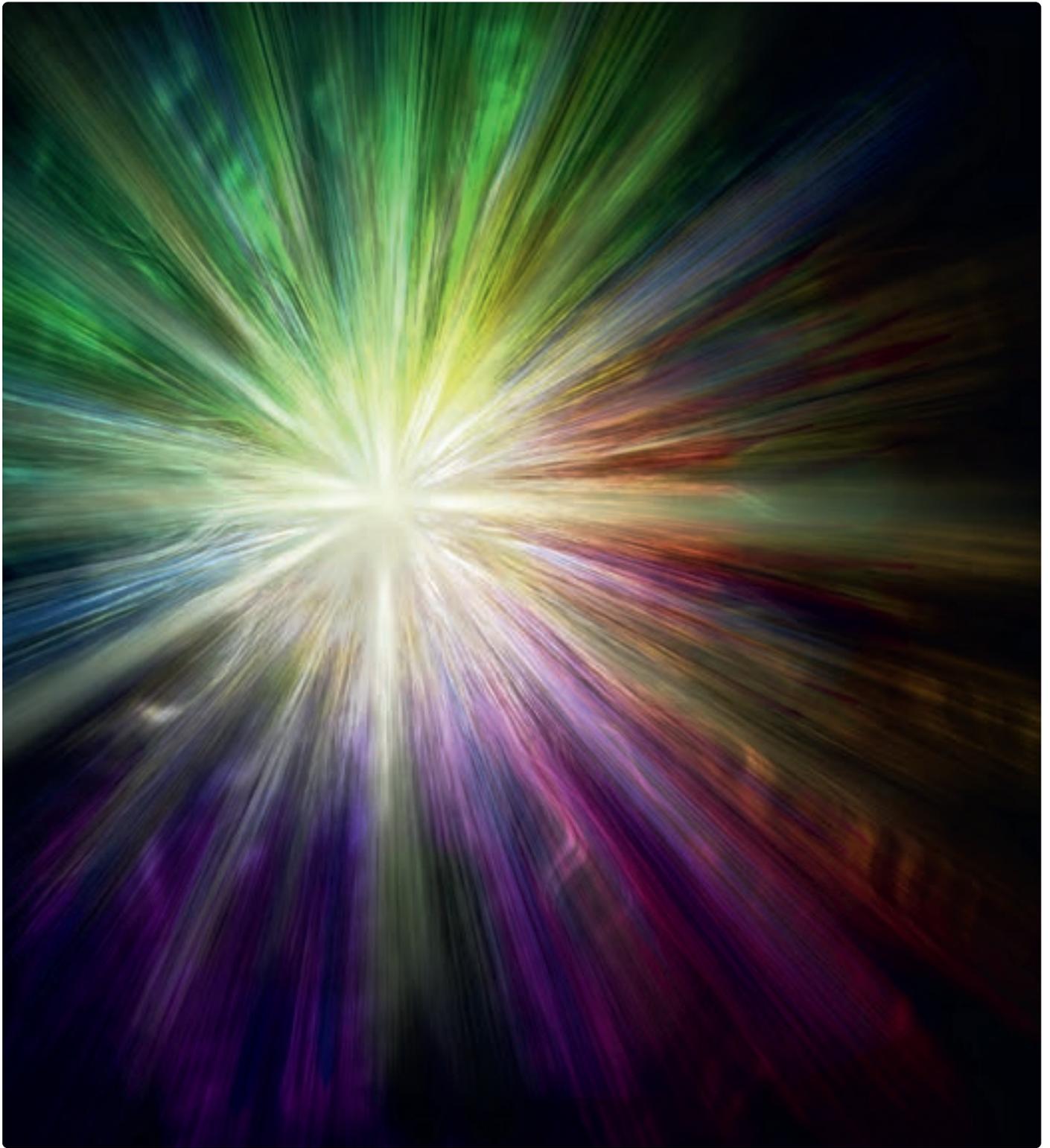
versums hängt noch von einer Reihe anderer Faktoren ab. Dazu gehören seine Form und seine Ausdehnungsrate. Letztere war im jungen Universum sehr hoch und hat sich seitdem reduziert. Über die Form des Universums – ist es flach? Ist es rund? Hat es eine negative oder positive Krümmung? – gibt es eine seit vielen Jahren anhaltende Diskussion.

Die Größe des Universums hängt stark von seiner Form ab. Wissenschaftler haben die Möglichkeit vorhergesagt, dass das Universum geschlossen sein könnte wie eine Kugel, oder aber unendlich und negativ gekrümmt wie ein Sattel. Es könnte auch flach und unendlich sein. Ein endliches Universum hat eine endliche Größe, die gemessen werden könnte. Dies wäre in einem geschlossenen kugelförmigen Universum der Fall. Ein unendliches Universum hatte dagegen per Definition keine Größe.

Wir nehmen derzeit an, dass das Universum flach ist. Dies deutet darauf hin, dass das Universum unendlich

- 3-1 Eine der 27 Antennen des Very Large Arrays in New Mexico, abgebildet vor dem Sternband der Milchstraße.





■ 3-2 Die Inflation – Geburt unseres Universums.

groß ist. Da das Universum jedoch ein endliches Alter hat, können wir auch nur ein endliches Volumen des Universums beobachten.

Es gibt keinen Mittelpunkt des Universums. Genauso verhält es sich übrigens mit der Erdoberfläche – obwohl die Erde als Kugel einen Mittelpunkt hat, hat ihre Oberfläche keinen. Die Ausdehnung des Universums kann man sich wie einen aufgehenden Hefeteig mit Rosinen vorstellen: Alle Rosinen bewegen sich voneinander weg, befinden sich aber nicht im Zentrum der Ausdehnung.

Das führt dazu, dass Wissenschaftler die Größe des Universums zwar grob abschätzen, aber nicht genau beziffern können. Im Jahr 2013 veröffentlichte die Projektleitung des Weltraumteleskops Planck der Europäischen Weltraumorganisation die genaueste und detaillierteste Karte, die jemals vom ältesten Licht des Universums erstellt wurde. Auf Grundlage dieser Daten wurde berechnet, dass das Universum 13,82 Milliarden Jahre alt ist. Mit Hilfe von Planck konnte man das Alter berechnen, indem man den kosmischen Mikrowellenhintergrund untersuchte.

Das kosmische Mikrowellen-Hintergrundlicht ist ein Reisender von weit her und von vor langer Zeit. Wenn es uns erreicht, erzählt es uns es uns von der Geschichte unseres Universums. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Entfernung und Lichtgeschwindigkeit können Wissenschaftler damit einen Bereich des Weltraums betrachten, der 13,82 Milliarden Lichtjahre entfernt liegt. Wie ein Schiff im leeren Ozean können Astronomen auf der Erde ihre Teleskope so drehen, dass sie in jeder Richtung 13,82 Milliarden Lichtjahre weit blicken können, was die Erde scheinbar in den Mittelpunkt einer beobachtbaren Kugel mit einem Radius von 13,82 Milliarden Lichtjahren versetzt.

Das Wort „beobachtbar“ ist dabei der Schlüsselbegriff. Die Kugel begrenzt, was Wissenschaftler sehen können. Aber was die Wissenschaftler sehen ist bei weitem nicht alles, denn obwohl die Kugel eigentlich einen Durchmesser von fast 28 Milliarden Lichtjahren haben müsste, ist sie tatsächlich viel größer, denn das Universum dehnt sich aus. Und es tut es – oder tat es – mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Unmittelbar nach dem Urknall gab es eine Phase, in der sich das Universum nicht linear ausdehnte, sondern exponentiell. Innerhalb eines unfassbar kurzen Zeitraums, wahrscheinlich nur etwa 10^{-35} Sekunden, blähte sich der Kosmos auf ungeheure Dimensionen auf.

Um in so kurzer Zeit so gewaltig wachsen zu können, muss sich das Universum während der Inflation viel schneller ausgedehnt haben als das Licht. Seit Einstein wissen wir jedoch, dass sich im Kosmos nichts schneller bewegen kann als das Licht. Wie ist dann so eine so schnelle Ausdehnung trotzdem möglich? (■ 3-2)

Die Antwort versteckt sich in der genauen Formulierung von Einsteins Relativitätstheorie. Nach dieser gilt die Beschränkung für die Lichtgeschwindigkeit nur innerhalb der Raumzeit, der Grundmatrix unseres Kosmos. In der ultrakurzen Phase der Inflation aber dehnte sich das Universum selbst aus, und mit ihr die Raumzeit. Für diese Art der Bewegung gilt Einsteins Beschränkung aber nicht. Das Universum dehnte sich in der Phase der Inflation mit Überlichtgeschwindigkeit aus, und alles, was sich in dieser Blase namens Universum befand, wurde einfach passiv mitgerissen.

Nachdem die Inflation vorbei war, ging die Ausdehnung des Universums wieder auf ein lineares Maß zurück. Die Expansion des Weltalls führt zu dem seltsamen Effekt, dass der Durchmesser des beobachtbaren Universums 93,2 Milliarden Lichtjahren beträgt. Genau (so genau das derzeit eben geht) von einem Beobachter aus 46,6 Milliarden Lichtjahre in jede Richtung. Dabei ist nämlich zu berücksichtigen, dass sich das Universum weiter ausgedehnt hat, während sich das Licht vom Beobachtungshorizont zur Erde bewegte. Das heißt, die bereits zurückgelegten Strecken sind nachträglich länger geworden.

Wie sich die Inflation verändert, ist ebenfalls eines der vielen ungelösten Rätsel. Während die Schätzung von 93,2 Milliarden Lichtjahren auf der Idee einer (seit dem Ende der Inflation nach dem Urknall) konstanten Inflationsrate beruht, glauben viele Wissenschaftler, dass sich die Rate tatsächlich verlangsamt. Es dehnt sich also nicht gleichmäßig aus. Die ESA berichtete dies in einer Studie aus dem Jahr 2020, in der Daten des XMM-Newton Weltraumteleskops der ESA, des Chandra-Weltraumteleskops der NASA und des Röntgenobservatoriums Rosat verwendet wurden. (■ 3-3)

Die Studie maß die Röntgentemperaturen von Hunderten von Galaxienhaufen und verglich diese mit ihrer Helligkeit. Einige Haufen erschienen weniger hell als erwartet, was darauf hindeutet, dass sie sich nicht mit der gleichen Geschwindigkeit bewegten. Diese ungleichmäßige Wirkung auf die kosmische Expansion könnte durch die mysteriöse dunkle Energie verursacht werden.



■ 3-3 Das XMM-Röntgenteleskop (für X-ray Multi-Mirror, also: Röntgen-Mehrfachspiegel) der ESA ist seit 1999 im Einsatz.

Wie groß ist das Universum nun wirklich? Das Markieren der Position der Erde im Weltraum auf einer Kugel scheint den Menschen in den Mittelpunkt des Universums zu stellen. Tatsächlich können wir aber nicht sagen, wo wir uns in der enormen Weite des Universums tatsächlich befinden. Nur weil wir das Land nicht sehen können, heißt das nicht, dass wir uns im Zentrum des Ozeans befinden. Nur weil wir den Rand des Universums nicht sehen können, heißt das nicht, dass wir im Zentrum des Universums liegen.

Wissenschaftler messen die Größe des Universums auf viele verschiedene Arten. Sie können die Wellen aus

dem frühen Universum messen, bekannt als baryonische akustische Oszillationen, die den kosmischen Mikrowellenhintergrund füllen. Sie können auch „Standardkerzen“ wie Supernovae vom Typ 1A verwenden, um Entfernungen zu messen. Die sind überall im Universum gleich hell, wodurch wir Entfernungen errechnen können. Diese unterschiedlichen Methoden der Entfernungsmessung sind relativ ungenau, können aber schon plausible Antworten liefern.

Durch all diese Verfahren haben wir eine ziemlich genaue Vorstellung, wie groß das beobachtbare Universum ist. Aber wie sieht es mit dem nicht beobachtbaren Teil aus?

Anstatt sich neue Messmethoden auszudenken, führte ein Team von Wissenschaftlern unter der Leitung von Mihran Vardanyan von der Universität Oxford eine statistische Analyse aller bisher gewonnenen Ergebnisse durch. Sie verwendeten dabei bayessche Statistikverfahren, die auch bei einer begrenzten Datenmenge anwendbar sind, was allerdings auf Kosten einer breiten Wahrscheinlichkeitsverteilung geht. Sie fanden heraus, dass das gesamte Universum mindestens 250-mal größer ist als das beobachtbare Universum, und damit mindestens sieben Billionen Lichtjahre umfasst.

Wie immer die endgültige Form des Universums auch aussieht, ob es hundert oder zweihundert oder dreihundert Mal größer ist als das Volumen, das wir direkt beobachten können, die Bestimmung der Form des Universums stellt uns aufgrund der Grenzen unserer Beobachtungsmöglichkeiten vor vielleicht unlösbare Herausforderungen. Wie ein Spiegelkabinett könnte uns das scheinbar endlose Universum täuschen. Der Kosmos könnte tatsächlich endlich sein, aber die Illusion der Unendlichkeit würde entstehen, wenn sich das Licht den ganzen Weg um den Raum wickelt, vielleicht sogar mehr als einmal, und mehrere Bilder jeder Galaxie erzeugt.

All das ist schwer zu verstehen. Machen wir ein Gedankenspiel und gehen dazu zunächst eine Dimension tiefer. Gehen wir nach Flatland. (■ 3-4)

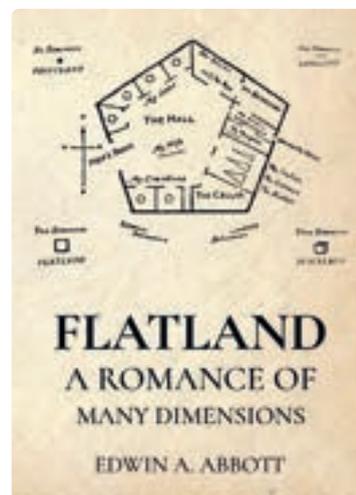
3.2. Flatland – Ein Gedankenspiel

*This Work is Dedicated
By a Humble Native of Flatland
In the Hope that
Even as he was Initiated into the Mysteries
Of three Dimensions
Having been previously conversant
With only two
So the Citizens of that Celestial Region
May aspire yet higher and higher
To the Secrets of four, five of even six Dimensions.
Thereby contributing
To the Enlargement of the imagination
And the possible Development
Of that most rare and excellent Gift of modesty
Among the Superior Races
of solid humanity*

(Dies ist die Geschichte eines bescheidenen Bewohners von Flatland In der Hoffnung, dass auch nachdem er in die Mysterien von drei Dimensionen eingeweiht wurde, nachdem er zuvor nur mit zweien vertraut war, die Bewohner dieser himmlischen Sphäre weiter und immer weiter nach Erkenntnis streben, hin zu den Geheimnissen von vier, fünf, ja sogar sechs Dimensionen und auf diese Weise zur Erweiterung und Fortentwicklung der Vorstellungskraft beigetragen hat, dieser außergewöhnlichsten Gabe der Ehrfurcht unter den vortrefflichen Gemeinschaften wahren Menschums.)

...mit diesen Worten beginnt die skurille Science Fiction-Novelle *Flatland: A Romance of Many Dimensions*. In dieser Geschichte aus dem Jahre 1884 beschreibt Edwin A. Abbott die Abenteuer von A. Square. Square lebt in der zweidimensionalen Flachwelt Flatland, die von geometrischen Lebewesen – Quadraten, Dreiecken, Fünfecken und vielen anderen – belebt ist.

Gegen Ende der Geschichte, am 1. Januar 2000, kommt ein Kugelwesen aus dem dreidimensionalen Spaceland nach Flatland. Dieses Wesen zeigt A. Square, dass es mehr als nur die ihm bekannten zwei Dimensionen gibt, sondern vielleicht sogar vier, fünf oder sechs Dimensionen...



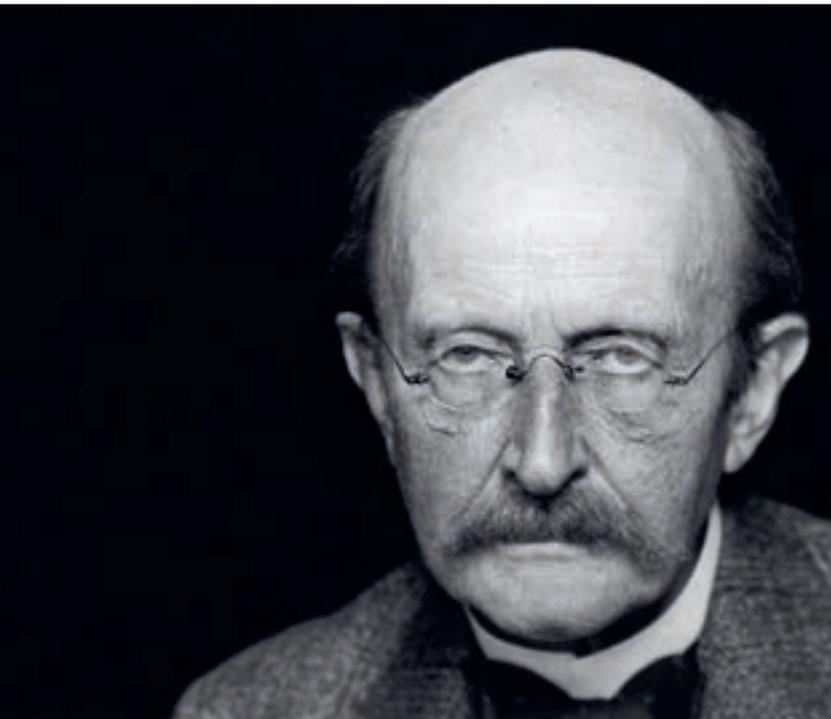
■ 3-4 „Flatland – A Romance Of Many Dimensions“ erschien erstmals in England im Jahre 1884.

3.2.1. Höhere Dimensionen

Die Idee der „höheren Dimensionen“ gibt es schon seit langem. Bereits in den zwanziger Jahren entwickelten die Physiker Theodor Kaluza und Oskar Klein eine vereinigte Theorie der Gravitation und des Elektromagnetismus, die eine zusätzliche Dimension erforderte.

Dieser Gedanke kehrt in der modernen String-Theorie wieder. Aus mathematischen Gründen benötigt sie insgesamt zehn Raumdimensionen. Bisher haben die Physiker angenommen, dass die Extra-Dimensionen zu winzigen Kreisen von der Größe der so genannten Planck-Länge, das sind nur 10^{-35} Meter, eingerollt sind und uns deswegen verborgen geblieben sind. Wie winzig die Planck-Länge ist, mag man daran erkennen, dass ein Wasserstoff-Atom 10 Trilliarden mal größer ist.

In den letzten Jahren wandelt sich das Bild aber immer mehr. Physiker haben damit begonnen, Theorien auszuarbeiten, welche die neuesten Erkenntnisse der Quantenmechanik mit den Unstimmigkeiten der traditionellen Kosmologie verheiraten wollen. Bei ihnen werden die zusätzlichen Dimensionen zu relativ großen Kreisen gerollt: zwischen 10^{-14} Meter und einem Millimeter. (■ 3-5)



Wenn diese Dimensionen aber so groß sind, warum haben wir sie bisher noch nicht bemerkt? Millimetergroße Extra-Dimensionen wären bereits mit dem bloßen Auge und erst recht durch ein Mikroskop wahrnehmbar. Und obwohl die Schwerkraft bisher noch nie unterhalb eines Millimeters gemessen wurde, besitzen wir eine Fülle experimenteller Erkenntnisse über alle anderen Kräfte bei viel kürzeren Entfernungen bis hinunter zu 10^{-19} Meter.

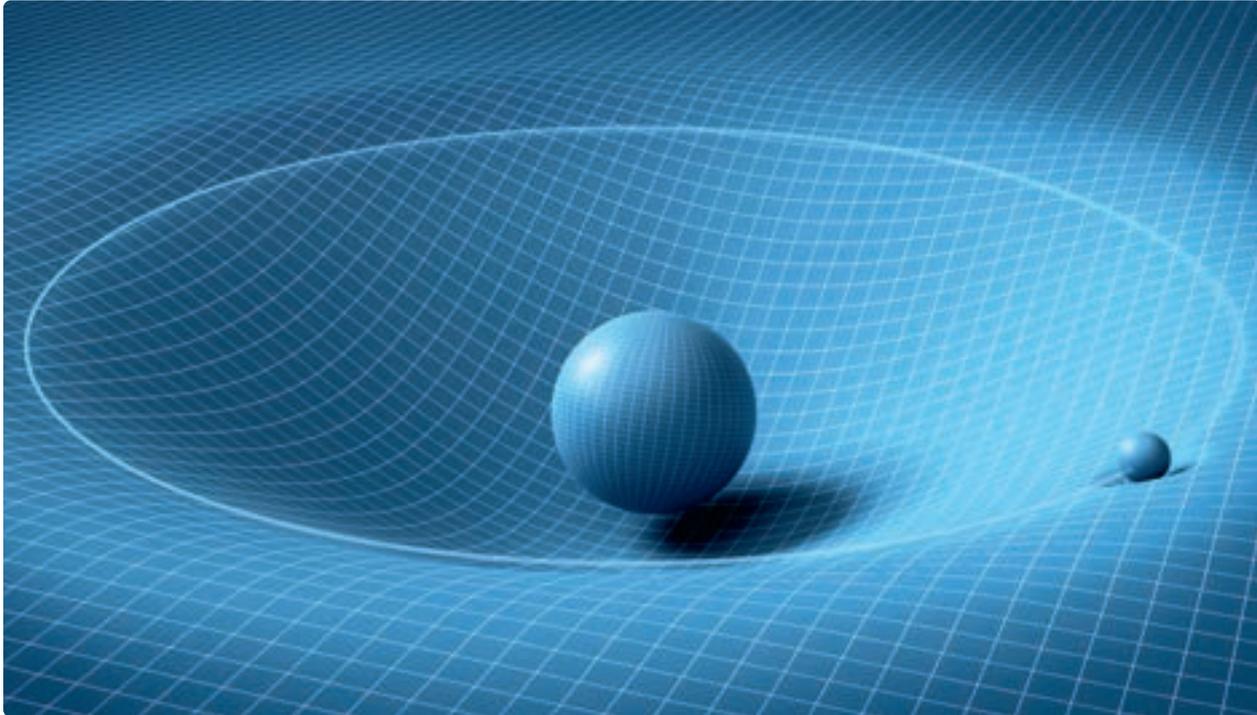
Die Größe der uns bekannten Dimensionen differiert erstaunlich. Die Dimension der Zeit erstreckt sich über fast 14 Milliarden Jahre in die Vergangenheit und vielleicht unendlich weit in die Zukunft. Auch die drei Raumdimensionen sind womöglich unendlich groß. Dimensionen können aber auch endlich sein, denn die zwei Dimensionen der Erdoberfläche erreichen nur eine Ausdehnung von 40.000 Kilometer.

Wie kann es große Extra-Dimensionen geben? Die Antwort ist einfach und seltsam zugleich: Die gesamte Materie und alle uns bekannten Kräfte – mit Ausnahme der Schwerkraft – sind auf einer Membran im Raum einer übergeordneten Dimensionen fixiert. Unser Universum ist wie eine dünne, gazé-artige Schicht in ein höherdimensionales Universum eingebettet. Diese Membran ist unser Universum mit seinen drei Raumdimensionen und der Zeitdimension. Elektronen, Protonen, Photonen und all die anderen Teilchen des physikalischen Standardmodells können sich nicht in diesem überdimensionalen Raum bewegen. Genauso wenig wie elektrische und magnetische Feldlinien.

Die Membran, das ist unser Spaceland. Soweit es diese Teilchen betrifft aus denen auch wir bestehen ist dieses Universum also aus den vier Raum-Zeit-Dimensionen aufgebaut. Die Feldlinien der Gravitation aber reichen womöglich in den höherdimensionalen Raum hinaus. Und nur das Graviton – ein hypothetische Quantenteilchen, das die Schwerkraft überträgt – kann sich dort frei bewegen. Das heißt, die zusätzlichen Dimensionen machen sich ausschließlich durch die Gravitation bemerkbar.

Aber anders als A. Square, der nur mit Unterstützung aus dem Spaceland zu seinen Einsichten kam, werden die Physiker die Existenz von zusätzlichen Dimensionen vielleicht eines Tages selbst herausfinden.

■ 3-5 Vom deutschen Physiker Max Planck stammen die nach ihm benannten Planck-Einheiten, Maßeinheiten zur Bestimmung physikalischer Vorgänge. Er stellte sie ab 1906 vor, gebräuchlich wurden sie aber erst ab dem Ende der 50er-Jahre. Die Planck-Länge ist eine dieser Planck-Einheiten.



3.2.2. Die Schwäche der Schwerkraft

Ausgangspunkt der Überlegungen ist die bis heute unerklärliche Schwäche der Schwerkraft. Mehr als drei Jahrhunderte, nachdem Isaac Newton sein Gravitationsgesetz formuliert hat, kann die Physik noch immer nicht erklären, warum die Schwerkraft so viel schwächer ist als die anderen Wechselwirkungen. Schon ein kleiner Magnet überwindet, wenn er einen Nagel vom Boden hebt, ohne Probleme die Anziehungskraft der gesamten Erdmasse. Die Kräfte Differenz ist ungeheuer. Die Gravitationsanziehung zwischen zwei Elektronen ist unglaubliche 1043-mal schwächer als die elektrische Abstoßung zwischen ihnen. Die Schwerkraft drückt zwar unsere Füße auf den Boden und lässt die Sonne um die Erde kreisen, aber nur, weil diese gewaltigen Massen elektrisch neutral sind. (■ 3-6)

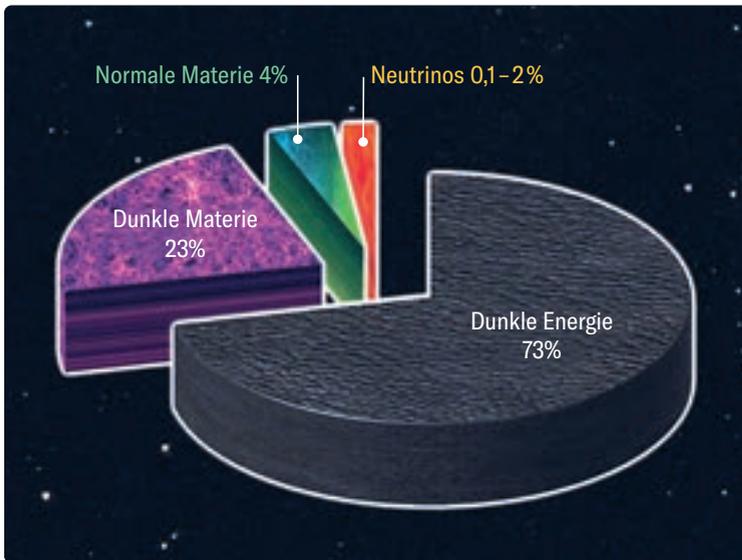
Zur Veranschaulichung stellen wir uns alle Teilchen des Standardmodells als Kugeln auf einem unermesslich großen Billardtisch vor. Soweit es sie betrifft, ist das Universum zweidimensional. Dennoch können Bewohner des Billard-Universums die höherdimensionale Welt entdecken. Wenn zwei Billardkugeln zusammenstoßen, entstehen Schallwellen, die sich in allen drei Dimensionen fort-

■ 3-6 Die Schwerkraft ist mit Abstand die schwächste der vier Wechselwirkungen. Und doch krümmt sie die Raumzeit.

pflanzen und ein wenig Energie von der Tischoberfläche verschwinden lassen. Diese Schallwellen entsprechen den Gravitonen, die sich im gesamten höherdimensionalen Raum bewegen können.

Bei hochenergetischen Teilchenkollisionen sollten wir demnach auf Energie-Fehlbeträge achten, die von den in höhere Dimensionen entwichenen Gravitonen stammen. Auch wenn es uns seltsam erscheinen mag, dass manche Teilchen auf eine Membran beschränkt sein sollen, sind uns ähnliche Phänomene doch vertraut. Zum Beispiel können Elektronen in einem Kupferdraht sich nur im eindimensionalen Raum des Drahtes bewegen; sie wandern nicht in die dreidimensionale Umgebung ab.

Auch Wasserwellen pflanzen sich auf der Oberfläche fort, nicht in der Tiefe. Unser spezielles Szenario, in dem alle Teilchen außer der Schwerkraft auf eine Wand beschränkt sind, folgt aus der String-Theorie. Tatsächlich hängen jüngere Erkenntnisse in der String-Theorie gerade mit solchen Wänden oder Membranen zusammen, den



■ 3-7 Woraus besteht das Universum? Diese Grafik gibt immerhin eine Verteilung in Prozenten wieder. Aber was sich hinter den 96 Prozent an Dunkler Materie und der Dunkler Energie wirklich verbirgt, ist für die Astrophysiker heute noch ein ziemlich großes Rätsel.

so genannten „D-Branes“. Dieses Kunstwort ist aus „D“ für Dirichlet – nach dem deutschen Mathematiker Peter Gustav Lejeune-Dirichlet – nach dem gewisse Randbedingungen für Felder benannt sind, und „Brane“ vom englischen Wort für Membran zusammengesetzt.

D-Branes haben genau die erforderlichen Eigenschaften: Elektronen, Photonen und andere Partikel werden durch winzige schwingende Saiten (englisch strings) beschrieben, deren beide Endpunkte an einer D-Brane haften müssen. Die Gravitonen dagegen sind winzige geschlossene String-Schleifen. Sie können in allen Dimensionen umherwandern, weil sie keine Endpunkte besitzen, die in einer D-Brane verankert wären.

Ein weiteres Rätsel der Kosmologie ist die Frage, woraus die dunkle Materie besteht: die unsichtbare, nur durch ihre Schwereanziehung kenntliche Substanz, die 23 Prozent der Materie des Universums auszumachen scheint. Vielleicht hält sie sich in parallelen Universen auf. Wegen der durch die Dimensionen wandernden Gravitonen würde diese Materie unser Universum durch die Schwerkraft beeinflussen. Dabei wäre sie notwendigerweise „dunkel“, denn unsere Photonen sind unwiderruflich in unserer Di-

mensions-Membran gefangen, und niemals wird das Licht der Parallelmaterie zu uns dringen. (■ 3-7)

Solche Parallel-Universen sind vielleicht völlig verschieden von unserem: Sie bestehen aus einer Membran mit weniger oder mehr Dimensionen und enthalten ganz andere Teilchen und Kräfte. Vielleicht haben sie aber sogar dieselben Eigenschaften wie unsere Welt. Angenommen, unsere Heimatmembran ist in den Extra-Dimensionen mehrfach gefaltet. Objekte auf einer gegenüber liegenden Falte scheinen dann sehr weit entfernt zu liegen, obwohl sie in den Extra-Dimensionen nicht einmal ein Millimeter von uns trennt. Das von ihnen emittierte Licht muss bis zu uns aber den gesamten Umweg um die Falte nehmen. Wenn die Falte einige zehn Milliarden Lichtjahre groß ist, hat uns seit Beginn des Universums kein Lichtstrahl von der anderen Seite erreicht.

Die rätselhafte dunkle Materie könnte aus ganz normaler Materie bestehen, vielleicht sogar aus gewöhnlichen Sternen und Galaxien, die auf ihrer Seite der Falte hell strahlen. Solche Sterne würden interessante beobachtbare Effekte erzeugen – etwa Gravitationswellen, die von Supernovae und anderen heftigen astrophysikalischen Prozessen stammen. Gravitationswellen-Detektoren könnten Anzeichen für Falten finden: große Quellen von Gravitationsstrahlung, denen sich in unserem Universum keine sichtbare Materie zuordnen lässt.

So weit, so gut. Der eine oder die andere wäre sicher schon bereit, ein solch spekulatives erweitertes Weltbild zu akzeptieren. Dem routinierten Science-Fiction-Leser ist es ja schon bestens vertraut. Es gibt einen „Normalraum“ und gibt einen „Hyperraum“. Eine Art Wilder Westen des Weltalls, in dem die Gesetze der geregelten, gesetzlichen Welt nicht gelten. Doch ganz so leicht ist es nicht, denn nun schleicht sich Schrödingers Katze in das Spaceland. Und wir stellen fest: Vielleicht gibt es nicht nur einen höher dimensional Raum, vielleicht gibt es darüber hinaus auch noch unendlich viele Universen.

3.2.3. Schrödingers Katze

Stellen Sie sich eine Kiste vor. Eine gut verschlossene Kiste, in die man nicht hineinsehen kann, und aus der keinerlei Informationen nach außen dringen. Kein Licht, kein Geräusch, kein Geruch, nichts. In dieser Kiste sitzt eine Katze. Sie ist gesund und munter, aber in einer gefährlichen Lage. Denn zusammen mit ihr befindet sich in der Kiste ein physikalischer Apparat, der ihren sicheren Tod bedeutet.