



rowohlt
e-BOOK

MICHIO KAKU
DIE PHYSIK
DER UNSICHTBAREN
DIMENSIONEN

**EINE REISE DURCH ZEITUNNEL
UND PARALLELUNIVERSEN**

Die Physik der unsichtbaren Dimensionen

Eine Reise durch Zeittunnel und Paralleluniversen

Aus dem Englischen von Hainer Kober

 rowohlt
e-BOOK

Inhaltsübersicht

Vorwort zur deutschen Neuausgabe von 2013

Vorwort

Teil 1 Aufbruch in die fünfte Dimension

- 1 Welten jenseits von Raum und Zeit
- 2 Mathematiker und Mystiker
- 3 Der Mann, der die vierte Dimension «sah»
- 4 Geheimnis des Lichts: Schwingungen in der fünften Dimension

Teil 2 Vereinigung in zehn Dimensionen

- 5 Quantenketzerei
- 6 Einsteins Rache
- 7 Superstrings
- 8 Signale aus der zehnten Dimension
- 9 Vor der Schöpfung

Teil 3 Wurmlöcher – Tore in ein anderes Universum?

- 10 Schwarze Löcher und Paralleluniversen
- 11 Konstruktion einer Zeitmaschine
- 12 Kollidierende Universen

Teil 4 Meister des Hyperraums

- 13 Über die Zukunft hinaus
- 14 Schicksal des Universums
- 15 Schluss

Literaturhinweise

Personenregister

Vorwort zur deutschen Neuauflage von 2013

Als dieses Buch entstand, arbeiteten nur wenige sehr engagierte theoretische Physiker über das Konzept der höheren Dimensionen und der Stringtheorie. Die Vorstellung, es könnte andere Universen in höheren Dimensionen geben, hielt man für Science-Fiction-verdächtig. Bei einigen Forschern galt sie sogar als lächerlich.

Doch inzwischen ist die Welt der Physik auf den Kopf gestellt worden. Heute gibt es kaum eine größere Universität, in der sich nicht eine Forschungsgruppe mit höherdimensionalen Theorien beschäftigt. In vielen internationalen Konferenzen und Tausenden von Arbeiten hat man sich um das Verständnis der schönen, aber rätselhaften Konsequenzen dieser hyperräumlichen Theorien bemüht. Die Revolution in der Physik war so aufsehenerregend, dass sogar die Publikumspresse auf diese Theorien aufmerksam wurde. So haben sich mittlerweile Begriffe wie Hyperraum, Stringtheorie, Paralleluniversum und Multiversum in unserer Sprache und Kultur eingebürgert.

Mehrere Faktoren haben diese dramatische Kehrtwendung ermöglicht. Erstens gibt es auf

experimentellem Gebiet den Erfolg des Standardmodells der Teilchen. Jedes Mal, wenn Physiker Protonen kollidieren lassen, erhalten sie einen Schauer von vielen hundert subatomaren Teilchen, die sich in das Standardmodell einordnen lassen. Mit der sensationellen Entdeckung des Higgs-Bosons im Jahr 2013 ist das letzte fehlende Steinchen des Standardmodells gefunden worden. Paradoxerweise aber treten die Mängel des Modells umso deutlicher zutage, je erfolgreicher es wird. Sogar seinen Schöpfern ist klar, dass es nicht die endgültige Theorie sein kann. Sie ist einfach zu unhandlich und schwerfällig. So hat die Theorie rund 20 freie Parameter, die sich beliebig variieren lassen, dazu hantiert sie mit 36 Quarks und Antiquarks sowie drei fast identischen Teilchengenerationen. Schlimmer noch: Sie lässt die Gravitation fast völlig unberücksichtigt und kann nur 4 Prozent des Universums erklären (die anderen 96 Prozent werden von dunkler Materie und dunkler Energie gebildet). In ihrem Innersten sind die Physiker felsenfest davon überzeugt, dass eine endgültige Theorie einfach, schön und elegant sein muss.

Nachdem der Large Hadron Collider im Umland von Genf inzwischen das Higgs-Teilchen entdeckt hat, wäre der nächste Schritt, über das Standardmodell hinauszugehen und etwas zu erzeugen, das wir als «dunkle Materie» bezeichnen und das 23 Prozent des Universums stellt. Den

vielversprechendsten Anwärter auf die dunkle Materie liefert die Stringtheorie. Vielleicht besteht die dunkle Materie einfach aus höheren Schwingungen des Strings. Nach dem Bild, das diese Theorie entwirft, besteht alles, was wir um uns her sehen, aus den niedrigsten Schwingungen zehndimensionaler Strings. Höhere Schwingungen sind unsichtbar und bilden die dunkle Materie.

Zweitens gibt es die theoretischen Triumphe der höherdimensionalen Theorien, die möglicherweise das höchste Paradoxon der Physik lösen können. Die Natur gibt uns zwei Theorien an die Hand, in denen alle physikalischen Gesetze zusammengefasst sind: die Theorie des sehr Kleinen (die Quantentheorie, die das Atom beschreibt) und die Theorie des sehr Großen (Einsteins allgemeine Relativitätstheorie, die das expandierende Universum erklärt). Leider sind diese beiden großen Theorien, die unser gesamtes physikalisches Wissen repräsentieren, nicht miteinander vereinbar. Bei dem naiven Versuch, diese beiden Theorien zu verbinden, entstehen grausige mathematische Widersprüche (sogenannte Anomalien und Divergenzen).

Daher ist der heilige Gral der Physik die Entwicklung einer einzigen, umfassenden Theorie, die diese beiden Entwürfe elegant zu einer einzigen zusammenfassen kann. Einstein verbrachte die letzten dreißig Jahre seines Lebens

mit der – am Ende vergeblichen – Suche nach einer solchen Theorie.

Wenn wir schwingende Strings im zehndimensionalen Hyperraum untersuchen, können wir zeigen, dass sich diese mathematischen Probleme exakt aufheben.

Tatsächlich ist es nur der Stringtheorie gelungen, alle mathematischen Herausforderungen zu bewältigen, die sich bei einer Theorie von Allem stellen. Es gibt schlicht und einfach nichts Vergleichbares.

Doch all das ist erst der Anfang. Schönheit und Eleganz allein reichen nicht aus, um eine Theorie zu rechtfertigen. Wir hoffen, in den kommenden Jahren den experimentellen Beweis für die Existenz höherer Dimensionen zu finden. Der erste Schritt bestünde darin, dunkle Materie im Labor zu erzeugen und festzustellen, ob sie mit der Stringtheorie übereinstimmt. Als Nächstes haben die Physiker vor, Satelliten ins All zu bringen, die die Gravitationsschwingungen der Genesis selbst auffangen können. Der größte Teilchenzertrümmerer ist nicht der Large Hadron Collider, sondern der Urknall selbst.

Künftige Weltraumdetektoren, wie etwa die Laser Interferometry Space Antenna (LISA), sind vielleicht in der Lage, gravitative Stoßwellen des Schöpfungs Augenblicks aufzufangen. Indem wir «das Videoband rückwärts abspielen», können wir vielleicht berechnen, was vor dem Urknall geschah – in einem Bereich, den nur die

Stringtheorie beschreiben kann. Daraus ergibt sich möglicherweise ein neues Bild. Vielleicht ist unser Universum nur eine Blase unter einer Vielzahl anderer Blasen-Universen, die miteinander kollidieren und sich sogar in kleinere Blasen aufteilen können. Das könnte die Entstehung des Urknalls erklären.

Ich hoffe, der Leser wird einen Eindruck von der Erregung und dem Staunen bekommen, die gegenwärtig die Welt der Physik erfasst haben, denn wir sind im Begriff, einige der ältesten philosophischen und existenziellen Fragen anzugehen, etwa was vor der Schöpfung geschah, ob es andere Dimensionen gibt, ob sich Zugänge zu anderen Universen auftun und ob wir in der Zeit rückwärts gehen können.

Letztlich könnte der Schlüssel zu allen diesen Fragen in den unsichtbaren Dimensionen, im Hyperraum zu finden sein.

Michio Kaku

New York

Juli 2013

Vorwort

Fast definitionsgemäß müssen wissenschaftliche Revolutionen den gesunden Menschenverstand vor den Kopf stoßen.

Wären alle unsere alltäglichen Vorstellungen über das Universum richtig, hätte die Naturwissenschaft die Geheimnisse des Universums schon vor Jahrtausenden gelöst. Die Wissenschaft setzt sich das Ziel, die Erscheinung der Dinge wie eine Schale abzuziehen und darunter ihre tiefere Natur zu enthüllen. Wenn nämlich Erscheinung und Wesen gleich wären, brauchte es keine Wissenschaft zu geben.

Wohl keine dieser alltäglichen Vorstellungen über unsere Welt ist so tief verwurzelt wie die, dass sie dreidimensional ist. Offenkundig reichen Länge, Breite und Höhe aus, um alle Objekte in unserem sichtbaren Universum zu beschreiben. Wie man aus Experimenten mit Säuglingen und Tieren weiß, werden wir mit dem Empfinden geboren, dass unsere Welt dreidimensional ist. Betrachten wir die Zeit als eine weitere Dimension, so lässt sich jedes Ereignis im Universum durch vier Dimensionen beschreiben. Überall, wo wir mit unseren Instrumenten hingedrungen sind – vom Inneren des Atoms bis zu den fernsten Regionen

von Galaxienhaufen –, haben wir nur Belege für diese vier Dimensionen gefunden. Wer öffentlich behauptet, es gäbe andere Dimensionen oder unser Universum würde mit solchen Dimensionen koexistieren, muss sich auf Spott gefasst machen. Und doch ist dieses tief verwurzelte Vorurteil über unsere Welt, über das sich schon die griechischen Philosophen vor zweitausend Jahren den Kopf zerbrachen, im Begriff, dem Fortschritt der Wissenschaft zu weichen.

Dieses Buch befasst sich mit einer wissenschaftlichen Revolution, die durch die Hyperraumtheorie^[1] herbeigeführt wurde. Danach gibt es neben den üblicherweise akzeptierten vier Dimensionen von Raum und Zeit noch andere. Weltweit wächst bei Physikern, darunter etlichen Nobelpreisträgern, die Überzeugung, das Universum könnte in einem höherdimensionalen Raum existieren. Wenn sich diese Theorie bestätigt, wird sie zu einer tiefgreifenden begrifflichen und philosophischen Umwälzung in unserem Verständnis des Universums führen. Wissenschaftlich wird die Hyperraumtheorie als Kaluza-Klein-Theorie oder Supergravitation bezeichnet. Doch in ihrer kühnsten Formulierung heißt sie Superstringtheorie und sagt sogar die genaue Dimensionenzahl voraus: zehn. Die üblichen drei Dimensionen des Raums (Länge, Breite und Höhe) und die

eine der Zeit werden um sechs weitere räumliche Dimensionen erweitert.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Hyperraumtheorie experimentell noch nicht bestätigt worden ist und dass es auch außerordentlich schwierig wäre, sie im Labor zu beweisen. Dennoch hat sie bereits in die wichtigsten physikalischen Forschungslabors der Welt Eingang gefunden und die wissenschaftliche Landschaft der modernen Physik unwiderruflich verändert, wobei sie die Literatur um eine verblüffende Zahl von Forschungsberichten bereichert hat. Doch für das Laienpublikum ist nicht so viel geschrieben worden, um die faszinierenden Eigenschaften des höherdimensionalen Raums zu erklären. Deshalb hat die breite Öffentlichkeit von dieser Revolution, wenn überhaupt, nur eine blasse Vorstellung. Tatsächlich sind die leichtfertigen Hinweise auf andere Dimensionen und Paralleluniversen in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen häufig irreführend. Das ist bedauerlich, weil die Bedeutung der Theorie in ihrer Fähigkeit liegt, alle bekannten physikalischen Phänomene in einem erstaunlich einfachen Begriffsrahmen zu vereinheitlichen. Dieses Buch bietet zum ersten Mal eine wissenschaftlich stichhaltige, dabei aber verständliche Erläuterung der faszinierenden Forschungsergebnisse zum Hyperraum, die dem neuesten Stand entsprechen.

Um verständlich zu machen, warum die Hyperraumtheorie so viel Aufregung in der Welt der theoretischen Physik hervorgerufen hat, habe ich meinen Gegenstand in vier große Themen aufgegliedert, die sich wie ein roter Faden durch das Buch ziehen. Sie unterteilen das Buch in vier Teile.

In Teil eins schildere ich die frühe Geschichte des Hyperraums. Dabei möchte ich zeigen, dass die Naturgesetze einfacher und eleganter werden, wenn man sie in höheren Dimensionen ausdrückt.

Betrachten wir das folgende Problem, um zu verstehen, warum das Hinzutreten höherer Dimensionen physikalische Probleme vereinfachen kann: Für die alten Ägypter war das Wetter ein absolutes Geheimnis. Wodurch entstehen die Jahreszeiten? Warum wird es wärmer, wenn man weiter nach Süden kommt? Warum wehen Winde meist aus einer Himmelsrichtung? Aus dem eingengten Blickwinkel der alten Ägypter, denen die Erde flach wie eine zweidimensionale Ebene erschien, ließ sich das Wetter nicht erklären. Doch stellen wir uns vor, wir würden die Ägypter mit einer Rakete in den Weltraum schicken, von wo aus sie die Erde als Ganzes in ihrer Umlaufbahn um die Sonne erblicken könnten. Plötzlich wären die Antworten auf diese Fragen selbstverständlich.

Vom Weltraum aus betrachtet, zeigt sich deutlich, dass die Erdachse um 23 Grad von der Senkrechten

(«senkrecht» zur Ebene der Erdumlaufbahn um die Sonne) abweicht. Wegen dieser Schrägstellung erhält die nördliche Erdhalbkugel während des einen Abschnitts ihrer Umlaufbahn weniger Sonnenlicht als während des anderen. Deshalb gibt es Winter und Sommer. Und da der Äquator mehr Sonnenlicht bekommt als die nördliche oder südliche Polarregion, wird es wärmer, je näher wir dem Äquator kommen. Ähnlich verhält es sich mit dem Wetter: Da die Erde sich für jemanden, der am Nordpol sitzt, gegen den Uhrzeigersinn dreht, verschiebt sich die kalte Polarluft seitlich, während sie sich nach Süden zum Äquator bewegt. Die durch die Erddrehung hervorgerufene Bewegung der warmen und kalten Luftmassen erklärt also unter anderem, warum der Wind in bestimmten Erdregionen überwiegend aus einer bestimmten Himmelsrichtung weht.

Mit einem Wort, die ziemlich schwierigen Wettergesetze sind leicht zu verstehen, sobald man die Erde aus dem Weltraum betrachtet. Die Lösung des Problems liegt also darin, dass man im Raum nach oben geht, in die dritte Dimension. Tatsachen, die sich in einer flachen Welt nicht verstehen lassen, werden plötzlich einleuchtend, sobald man die dreidimensionale Erde vor Augen hat.

Entsprechend scheinen die Gesetze der Schwerkraft und des Lichtes nichts miteinander gemein zu haben. Sie beruhen auf unterschiedlichen physikalischen Voraussetzungen und folgen anderen mathematischen

Gesetzen. Alle Versuche, die beiden Kräfte miteinander zu verknüpfen, sind gescheitert. Doch wenn man den üblichen vier Dimensionen von Raum und Zeit eine weitere, eine fünfte Dimension hinzufügt, scheinen die Gleichungen, die das Licht und die Schwerkraft bestimmen, ineinanderzugreifen wie zwei Teile eines Puzzles. So erkennen wir, dass die Gesetze von Licht und Schwerkraft in fünf Dimensionen einfacher werden.

Deshalb sind viele Physiker heute davon überzeugt, dass eine konventionelle vierdimensionale Theorie «zu klein» ist, um die Kräfte, die unser Universum bestimmen, angemessen zu beschreiben. In einer vierdimensionalen Theorie müssen Physiker die Naturkräfte schwerfällig und künstlich zusammenpressen. Außerdem ist diese Mischtheorie fehlerhaft. Doch wenn wir mehr als vier Dimensionen zulassen, haben wir «genug Platz», um die Grundkräfte elegant und in sich schlüssig zu erklären.

In Teil zwei führe ich diese einfache Idee weiter aus und lege dar, dass die Hyperraumtheorie möglicherweise in der Lage ist, alle bekannten Naturgesetze in einer einzigen Theorie zu vereinigen. Insofern könnte die Hyperraumtheorie der krönende Abschluss von zweitausend Jahren wissenschaftlicher Forschung sein: die Vereinheitlichung aller bekannten physikalischen Kräfte. Damit hätten wir dann vielleicht den heiligen Gral der

Physik gefunden, die «Theorie für alles», nach der Einstein so viele Jahrzehnte vergebens gesucht hat.

Seit fünfzig Jahren zerbricht man sich den Kopf darüber, warum die Grundkräfte, die den Kosmos zusammenhalten – Gravitation, Elektromagnetismus, die starke und die schwache Kernkraft –, sich so sehr unterscheiden. Die klügsten Köpfe des 20. Jahrhunderts haben versucht, ein einheitliches Bild aller bekannten Kräfte zu entwerfen, und sind daran gescheitert. Dagegen bietet die Hyperraumtheorie die Möglichkeit, die vier Naturkräfte und die scheinbar zufällige Ansammlung von subatomaren Teilchen auf wahrhaft elegante Weise zu erklären. In der Hyperraumtheorie kann man «Materie» auch als Schwingungen betrachten, die sich im Gewebe von Zeit und Raum ereignen. Daraus ergibt sich die faszinierende Möglichkeit, dass alles, was wir um uns her sehen – Bäume, Berge und sogar Sterne –, lediglich Schwingungen im Hyperraum sind. Wenn das stimmt, verfügen wir über eine elegante, einfache und geometrische Methode, um das ganze Universum schlüssig und zwingend zu beschreiben.

In Teil drei beschäftige ich mich mit der Möglichkeit, dass der Raum unter extremen Bedingungen so gestreckt werden kann, bis er bricht oder reißt. Mit anderen Worten, der Hyperraum bietet uns die Möglichkeit, Raum und Zeit zu durchtunneln. Zwar ist dieses Gebiet noch sehr spekulativ, aber es gibt Physiker, die ernsthaft die

Eigenschaften von «Wurmlöchern» untersuchen - Tunneln, die ferne Gebiete von Raum und Zeit miteinander verbinden. Beispielsweise haben Wissenschaftler vom California Institute of Technology in vollem Ernst die Möglichkeit einer Zeitmaschine erwogen, die aus einem Wurmloch zwischen Vergangenheit und Zukunft besteht. Heute haben Zeitmaschinen das Reich von Spekulation und Phantasie verlassen und sind zu legitimen Gebieten der wissenschaftlichen Forschung geworden.

Kosmologen haben sogar die verblüffende Möglichkeit erörtert, dass unser Universum eines unter einer unendlichen Zahl von Paralleluniversen sei. Man könnte diese Universen mit einer großen Wolke von Seifenblasen in der Luft vergleichen. Normalerweise ist jede Berührung zwischen den Blasenuniversen unmöglich, aber bei genauerer Untersuchung von Einsteins Gleichungen konnten Kosmologen zeigen, dass es möglicherweise ein Geflecht von Wurmlöchern oder Röhren gibt, die diese Paralleluniversen verbinden. Auf jeder Blase können wir unseren eigenen, charakteristischen Raum und die Zeit definieren, die nur auf der Blasenoberfläche Bedeutung haben. Außerhalb der Blasen sind Raum und Zeit ohne Bedeutung.

Obwohl viele Konsequenzen dieser Diskussion rein theoretischen Charakter haben, könnte sich die Hyperraumreise am Ende als die praktischste

Anwendungsmöglichkeit erweisen: Um nämlich intelligentes Leben, einschließlich des unseren, vor dem Tod des Universums zu bewahren. Der allgemeinen wissenschaftlichen Auffassung zufolge muss das Universum mit allem Leben, das sich in Jahrmilliarden entwickelt hat, irgendwann sterben. Nach der herrschenden Theorie, der Urknalltheorie, hat mit einer kosmischen Explosion vor 15 bis 20 Milliarden Jahren eine Expansionsbewegung des Universums eingesetzt, die mit großen Geschwindigkeiten Sterne und Galaxien von uns fortschleudert. Doch wenn das Universum eines Tages in seiner Expansion innehält und anfängt, sich wieder zusammenzuziehen, wird es schließlich in einer feurigen Katastrophe, großer Endkollaps genannt, in sich zusammenstürzen, und alles intelligente Leben wird in der unvorstellbaren Hitze ein Ende finden. Nach den Spekulationen einiger Physiker bietet die Hyperraumtheorie für intelligentes Leben die einzige Hoffnung auf Rettung. In den letzten Sekunden vor dem Tod unseres Universums kann dieses Leben dem Endkollaps vielleicht dadurch entgehen, dass es in den Hyperraum flieht.

In Teil vier stelle ich eine abschließende, praktische Frage: Wann werden wir in der Lage sein, die Energie zu nutzen, die uns die Hyperraumtheorie verspricht, falls sie sich als richtig erweisen sollte? Das ist keine rein akademische Frage, weil in der Vergangenheit die Nutzung

einer der vier Grundkräfte stets den Verlauf der menschlichen Geschichte unwiderruflich verändert und uns so aus der Unwissenheit und Not der vorindustriellen Gesellschaften in die moderne Zivilisation geführt hat. In gewisser Hinsicht lässt sich die ganze Wegstrecke menschlicher Geschichte in neuem Licht sehen, wenn man die fortschreitende Beherrschung jeder der vier Kräfte zugrunde legt. Mit der Entdeckung und Kontrolle jeder dieser Kräfte hat die Geschichte der Zivilisation einen tiefgreifenden Wandel erlebt.

Als beispielsweise Isaac Newton die klassischen Gravitationsgesetze niederschrieb, entwickelte er die Theorie der Mechanik und damit die Gesetze, die uns ermöglichten, Maschinen zu bauen. Das wiederum führte zu einer erheblichen Beschleunigung der industriellen Revolution und zur Freisetzung von politischen Kräften, die schließlich Europas feudale Dynastien stürzten. Mitte der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts entdeckte James Clerk Maxwell die Grundgesetze der elektromagnetischen Kraft und leitete so das elektrische Zeitalter ein, dem wir Dynamo, Radio, Fernsehen, Radar, Haushaltsgeräte, Telefon, Mikrowelle, Unterhaltungselektronik, Computer, Laser und viele andere elektronische Wunder verdanken. Ohne das Verständnis und die Anwendung der elektromagnetischen Kraft wäre die Entwicklung der Zivilisation ins Stocken geraten und auf dem Stand vor der

Entdeckung der Glühlampe und des Elektromotors erstarrt. Die Nutzung der Kernkraft Mitte der 1940er Jahre brachte mit der Entwicklung der Atom- und Wasserstoffbombe, den schlimmsten Massenvernichtungsmitteln des Planeten, abermals eine tiefgreifende Umwälzung. Da wir noch nicht an der Schwelle eines einheitlichen Verständnisses aller kosmischen Kräfte des Universums stehen, ist zu vermuten, dass jede Zivilisation, die die Hyperraumtheorie meistert, das Universum beherrschen wird.

Da die Hyperraumtheorie ein genau definiertes System von mathematischen Gleichungen ist, können wir exakt berechnen, wie viel Energie erforderlich ist, um Raum und Zeit zu einer Brezel zu verbiegen oder Wurm Löcher zu erzeugen, die ferne Teile unseres Universums miteinander verbinden. Leider sind die Ergebnisse enttäuschend. Die dafür erforderliche Energie übersteigt bei weitem jede Menge, die unser Planet liefern kann. Tatsächlich ist die Energie eine Billion Mal größer als die Energie unserer größten Atomzertrümmerer. Wir müssen sicherlich noch Jahrhunderte oder gar Jahrtausende warten, bis unsere Zivilisation die technischen Möglichkeiten zu einer solchen Handhabung der Raumzeit entwickelt – oder hoffen, dass eine höher entwickelte Zivilisation, die den Hyperraum bereits beherrscht, mit uns Verbindung aufnimmt. Deshalb befasse ich mich zum Schluss mit der faszinierenden, aber spekulativen wissenschaftlichen Frage, welchen

technischen Entwicklungsstand wir erreichen müssten, um über den Hyperraum gebieten zu können.

Da uns die Hyperraumtheorie weit über die normalen, alltäglichen Vorstellungen von Raum und Zeit hinausführt, habe ich einige rein hypothetische Geschichten in den Text eingestreut. Zu dieser pädagogischen Methode hat mich der Nobelpreisträger Isidore I. Rabi durch eine Rede angeregt, die er vor einer Zuhörerschaft von Physikern hielt. Er beklagte den erbarmungswürdigen Zustand des naturwissenschaftlichen Unterrichts in den Vereinigten Staaten und warf der physikalischen Gemeinschaft vor, sie vernachlässige ihre Pflicht, indem sie es versäume, die Abenteuer der Wissenschaft der breiten Öffentlichkeit und vor allem der Jugend auf allgemeinverständliche Weise nahezubringen. Nach seiner Meinung haben die Science-Fiction-Autoren mehr als alle Physiker zusammen dafür getan, dem Publikum eine Vorstellung von der aufregenden Geschichte der Naturwissenschaften zu vermitteln.

In einem früheren Buch - *Jenseits von Einstein. Die Suche nach der Theorie des Universums* (das ich zusammen mit Jennifer Trainer geschrieben habe) - beschäftigte ich mich mit der Superstringtheorie, die die Beschaffenheit subatomarer Teilchen beschreibt, ging dabei ausführlich auf das sichtbare Universum ein und zeigte, wie sich die ganze Vielfalt der Materie möglicherweise durch winzige, schwingende Strings oder

Fäden erklären lässt. Im vorliegenden Buch wende ich mich einem anderen Thema zu und setze mich mit dem unsichtbaren Universum auseinander – das heißt der Welt der Geometrie und der Raumzeit. Gegenstand dieses Buches ist nicht die Beschaffenheit der subatomaren Teilchen, sondern der höherdimensionalen Welt, in der sie wahrscheinlich existieren. Im Fortgang meiner Darlegungen wird der Leser sehen, dass der höherdimensionale Raum keineswegs ein leerer, passiver Hintergrund ist, vor dem die Quarks ihre ewig gleichen Rollen spielen, sondern vielmehr zum Hauptdarsteller im Schauspiel der Natur wird.

Wenn wir uns mit der faszinierenden Geschichte der Hyperraumtheorie beschäftigen, werden wir feststellen, dass die Suche nach der fundamentalen Beschaffenheit der Materie, mit der die Griechen vor 2000 Jahren begonnen haben, lang war und viele Umwege erlebte. Wenn künftige Wissenschaftshistoriker eines Tages das Schlusskapitel dieses langen Epos schreiben, werden sie den entscheidenden Durchbruch vielleicht darin sehen, dass die konventionellen Theorien mit drei oder vier Dimensionen durch die Theorie des Hyperraums abgelöst wurden.

M.K.

New York

Mai 1993

*Das eigentlich schöpferische Prinzip
liegt aber in der Mathematik.*

*In einem gewissen Sinn halte ich es also für wahr,
dass dem reinen Denken das Erfassen
des Wirklichen möglich sei,
wie es die Alten geträumt haben. [1]*

ALBERT EINSTEIN

1

Welten jenseits von Raum und Zeit

Ich möchte wissen, wie Gott diese Welt erschaffen hat. Diese oder jene Erscheinung interessiert mich nicht. Ich möchte seine Gedanken kennen, alles andere sind Einzelheiten.

ALBERT EINSTEIN

Entwicklung eines Physikers

In meiner Kindheit haben mir zwei Ereignisse sehr geholfen, die Welt besser zu verstehen. Sie haben wesentlich dazu beigetragen, dass ich theoretischer Physiker wurde.

Manchmal suchten meine Eltern mit mir den berühmten Japanischen Teegarten in San Francisco auf. In einer meiner glücklichsten Kindheitserinnerungen hockte ich dort am Teich und bin fasziniert von den in allen Farben schillernden Karpfen, die langsam unter den Wasserrosen hindurchschwimmen. In diesen stillen Augenblicken ließ ich meiner Phantasie freien Lauf. Ich stellte die törichten Fragen, die wohl nur einem Einzelkind einfallen, etwa, wie wohl die Karpfen die Welt um sich her sehen mochten. Und ich dachte: Was für eine seltsame Welt muss das sein!

Da sie ihr ganzes Leben in dem flachen Teich verbrachten, glaubten sie sicherlich, ihr «Universum» bestehe aus dem trüben Wasser und den Rosen. Während sie den größten Teil ihrer Zeit mit Futtersuche auf dem Grund des Teiches zu tun hatten, waren sie sich wohl nur höchst vage bewusst, dass es noch eine fremde Welt über der Oberfläche geben könnte. Die Beschaffenheit meiner Welt überstieg ihr Fassungsvermögen. Mich faszinierte, dass ich nur ein paar Zentimeter vom Karpfen entfernt sitzen konnte und doch durch Welten von ihm getrennt war. Wir beide, der Karpfen und ich, verbrachten unser Leben in zwei verschiedenen Universen und vermochten nie, in die Welt des anderen zu gelangen, obwohl wir doch nur durch eine winzige Barriere getrennt waren – die Wasseroberfläche.

Vielleicht gab es auch «Karpfenwissenschaftler» unter den Fischen. Sicherlich spotteten sie über jeden Fisch, so malte ich mir aus, der behauptete, es könnte eine Parallelwelt über den Wasserrosen geben. Für einen «Karpfenwissenschaftler» waren nur die Dinge real, die ein Fisch sehen oder berühren konnte. Der Teich war ihnen alles. Eine unsichtbare Welt jenseits des Teichs war ohne wissenschaftlichen Sinn.

Einmal wurde ich vom Regen überrascht. Auf der Teichoberfläche explodierten Tausende winziger Regentropfen. Sie geriet in wilden Aufruhr, und die Wellen

bewegten die Wasserrosen hin und her. Nachdem ich mich vor Wind und Regen in Sicherheit gebracht hatte, fragte ich mich, wie all das den Karpfen erscheinen mochte. Für sie musste es so aussehen, als bewegten sich die Wasserrosen von allein, ohne dass jemand sie stieß. Da das Wasser, in dem sie lebten, ihnen vermutlich unsichtbar erschien, nicht anders als uns die Luft und der Raum, waren sie sicherlich verblüfft, dass sich die Wasserrosen von allein bewegen konnten.

So verfielen ihre «Wissenschaftler», wie ich mir ausmalte, auf eine schlaue Erfindung, eine sogenannte «Kraft», um ihre Unwissenheit zu verbergen. Da sie sich die Wellen auf der unsichtbaren Oberfläche nicht vorstellen konnten, gelangten sie zu dem Schluss, Lilien könnten auch ohne Berührung durch eine geheimnisvolle, unsichtbare Erscheinung, eine sogenannte Kraft eben, bewegt werden, die zwischen ihnen wirke. Vielleicht versahen sie dieses illusionäre Wesen mit einem eindrucksvollen, hochtrabenden Namen (Fernwirkung etwa, womit die Fähigkeit gemeint wäre, die Lilien zu bewegen, ohne sie zu berühren).

Einmal versuchte ich, mir vorzustellen, was geschähe, wenn ich ins Wasser griffe und einen der «Karpfenwissenschaftler» aus dem Wasser holte. Bevor ich ihn ins Wasser zurückwürfe, würde er bei meiner Untersuchung wütend zappeln. Wie mochte das den

anderen Karpfen erscheinen? Für sie wäre es wohl ein wirklich beunruhigendes Ereignis gewesen. Zunächst würden sie bemerken, dass einer ihrer «Wissenschaftler» aus ihrem Universum verschwunden wäre. Er hätte sich einfach in Luft aufgelöst, ohne eine Spur zu hinterlassen. In ihrem Universum wäre nicht der geringste Hinweis auf den vermissten Karpfen zu entdecken. Doch Sekunden später, nachdem ich den «Wissenschaftler» wieder in den Teich zurückgeworfen hätte, würde er plötzlich wieder aus dem Nichts auftauchen. Die anderen Karpfen müssten den Eindruck haben, es sei ein Wunder geschehen.

Sobald er sich wieder gefasst hätte, würde der «Wissenschaftler» eine wahrhaft erstaunliche Geschichte erzählen: «Aus heiterem Himmel wurde ich irgendwie aus dem Universum (Teich) gehoben und in eine geheimnisvolle Unterwelt geschleudert, in der es blendende Lichter und merkwürdig geformte Dinge gab, wie ich sie noch nie zuvor erblickt hatte. Am merkwürdigsten aber war das Geschöpf, das mich gefangen hielt und nicht die geringste Ähnlichkeit mit einem Fisch hatte. Erschrocken bemerkte ich, dass es überhaupt keine Flossen hatte, sich aber auch ohne sie bewegen konnte. Mir fiel auf, dass die gewohnten Naturgesetze in dieser Unterwelt keine Geltung mehr hatten. Genauso plötzlich wurde ich dann in unser Universum zurückgeworfen.» (Natürlich wäre eine solche Geschichte von einer Reise über die Grenzen des

Universums hinaus so phantastisch, dass die meisten Karpfen sie als völligen Quatsch abtäten.)

Ich denke häufig, dass wir wie Karpfen sind, die zufrieden in ihrem Teich schwimmen. Da leben wir in unserem «Teich» und sind der festen Überzeugung, dass unser Universum nur aus den Dingen besteht, die wir sehen oder berühren können. Wie die Karpfen glauben wir, unser Universum setze sich nur aus vertrauten und sichtbaren Elementen zusammen. Überheblich weisen wir jede Vermutung zurück, es könnte auch Paralleluniversen oder zusätzliche Dimensionen geben, die sich unserer Wahrnehmung entziehen. Wenn unsere Wissenschaftler solche Konzepte wie zum Beispiel Kräfte erfinden, dann tun sie das, weil sie sich nicht vorstellen können, dass der leere Raum um uns herum mit unsichtbaren Schwingungen erfüllt sein könnte. Mancher Wissenschaftler rümpft die Nase, wenn von höheren Dimensionen die Rede ist, weil sie sich im Labor nicht exakt messen lassen.

Seit damals fasziniert mich die Möglichkeit, dass es andere Dimensionen geben könnte. Wie die meisten Kinder verschlang ich Abenteuergeschichten, in denen Zeitreisende in andere Dimensionen vordrangen und nie gesehene Paralleluniversen erforschten, wo die gewöhnlichen physikalischen Gesetze außer Kraft gesetzt waren. Ich fragte mich, ob die Schiffe im Bermudadreieck durch ein geheimnisvolles Loch im Raum verschwänden.

Und begeistert war ich von Isaac Asimovs *Foundation*-Reihe, in der die Entdeckung der Hyperraumreise zum Aufstieg eines galaktischen Imperiums führte.

Noch ein zweites Erlebnis in meiner Kindheit hinterließ einen tiefen und dauerhaften Eindruck bei mir. Mit acht Jahren hörte ich eine Geschichte, die ich nie wieder vergaß. Meine Lehrer berichteten der Klasse von einem berühmten Wissenschaftler, der gerade gestorben sei. Sie sprachen mit tiefer Verehrung von ihm und nannten ihn einen der größten Wissenschaftler aller Zeiten. Zwar könnten nur wenige Menschen seine Ideen verstehen, sagten sie, aber seine Entdeckungen hätten die ganze Welt verändert. Vieles von dem, was sie uns zu erzählen versuchten, verstand ich nicht, aber was mich am meisten an diesem Mann beeindruckte, war der Umstand, dass er gestorben war, bevor er seine große Entdeckung vervollständigen konnte. Jahre habe er an dieser Theorie gearbeitet, so berichteten sie, aber er sei an seinem Schreibtisch gestorben, die unvollendete Arbeit vor sich.

Von dieser Geschichte war ich fasziniert. Für ein Kind war das ein großes Geheimnis. Worum ging es in seiner unvollendeten Arbeit? Was stand in diesen Papieren auf seinem Schreibtisch? Welches Problem konnte so schwierig und wichtig sein, dass ein so bedeutender Wissenschaftler ihm Jahre seines Lebens opferte? Neugierig geworden, beschloss ich, alles über Albert Einstein und seine

unvollendete Theorie in Erfahrung zu bringen. Die vielen stillen Stunden, in denen ich jedes greifbare Buch über diesen großen Mann las, habe ich noch immer in wunderbarer Erinnerung. Als ich die Bücher in unserer örtlichen Bibliothek durch hatte, begann ich, die Büchereien und Buchläden in der ganzen Stadt abzuklappern, weil mein Wissensdurst noch immer nicht gestillt war. Rasch begriff ich, dass diese Geschichte weit aufregender war als jeder Krimi und wichtiger als alles, was ich mir bisher vorgestellt hatte. So beschloss ich, diesem Geheimnis auf den Grund zu gehen, und wenn ich dazu theoretischer Physiker werden musste.

Schon bald brachte ich in Erfahrung, dass die unvollendeten Papiere auf Einsteins Schreibtisch ein Versuch waren, die einheitliche Feldtheorie, wie er sie nannte, zu entwickeln - eine Theorie, die alle Naturgesetze, vom winzigsten Atom bis zu den größten Galaxien, erklären sollte. Doch damals als Kind begriff ich noch nicht, dass es vielleicht eine Verbindung zwischen dem Karpfen im Teich des Teegartens und den unvollendeten Papieren auf Einsteins Schreibtisch gab. Ich wusste nicht, dass höhere Dimensionen möglicherweise den Schlüssel zur einheitlichen Feldtheorie bilden.

Später in der High School hatte ich bald alle einschlägigen Bücher in den örtlichen Bibliotheken gelesen und zog die Physikbücherei der Stanford University zu