

Jude Currivan
Das kosmische Hologramm

Buch

Dr. Jude Currivan liefert uns einen anregenden und äußerst inspirierenden Blick auf den Kosmos, das Bewusstsein und die Rolle menschlicher Wahrnehmung bei der Gestaltung dessen, was wir als Realität bezeichnen. Sie erklärt auf spannende und revolutionäre Weise, dass das Universum ein Hologramm ist, das seine natürlichen Merkmale in Form von selbstähnlichen Informationsmustern und einer harmonischen Ordnung verkörpert, und vereint umfangreiche wissenschaftliche Erkenntnisse und spirituelle Einsicht.

Autorin

Dr. Jude Currivan ist Quantenphysikerin, Heilerin und Archäologin. Sie studierte in Oxford und an der University of Reading. In ihrer Arbeit verbindet sie wissenschaftliche Erkenntnisse mit altem spirituellem Wissen. Sie bereiste mehr als siebenzig Länder und arbeitete mit Weisheitshütern aus den unterschiedlichsten Traditionen zusammen. Dr. Currivan lebt in Wiltshire, England.

JUDE CURRIVAN

Das kosmische Hologramm

Wie holografische
Informationsstrukturen
unsere Realität formen

Aus dem amerikanischen Englisch von Franz Leipold

GOLDMANN

Die amerikanische Originalausgabe erschien 2017 unter dem Titel
»The Cosmic Hologram. In-formation at the Center of Creation« bei
Inner Traditions International Ltd. in Rochester, USA.

Dieses Werk wurde vermittelt durch die Literarische Agentur
Thomas Schlück GmbH, 30827 Garbsen.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten,
so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung, da wir uns diese
nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf deren Stand
zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.



Dieses Buch ist auch als E-Book erhältlich.



Verlagsgruppe Random House FSC® N001967

1. Auflage

Deutsche Erstausgabe Februar 2020

© 2020 Wilhelm Goldmann Verlag, München,
in der Verlagsgruppe Random House GmbH,
Neumarkter Str. 28, 81673 München

Originalausgabe: © 2017 Inner Traditions International Ltd., Rochester, VT, USA

Copyright © 2017 by Jude Curriuan

Published by arrangement with Inner Traditions International Ltd.,
Rochester, VT, USA

Umschlaggestaltung: UNO Werbeagentur GmbH, München

Umschlagmotiv: FinePic®, München

Lektorat: Ralf Lay, Mönchengladbach

JG · Herstellung: cb

Satz: Satzwerk Huber, Germering

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN 978-3-442-22267-4

www.goldmann-verlag.de

Besuchen Sie den Goldmann Verlag im Netz



Für alle, die sich nicht nur fragen,
wie unser Universum beschaffen ist,
sondern auch, *warum* es so ist,
und für alle, die bereit sind, dem Nachweis zu folgen –
wo auch immer er uns hinführen wird.

Inhalt

Vorwort von Ervin László	9
Einführung: Indras Netz	12

TEIL 1



Wie man ein ideales Universum schafft

1 Information	22
2 Anweisungen	50
3 Bedingungen	78
4 Zutaten	101
5 Rezept	131
6 Behältnis	157
7 Das perfekte Ergebnis	184

TEIL 2*Holografisches Universum
und Information*

8	Allgemeine Muster	200
9	Informationsdesign <i>für</i> die Evolution	226
10	Holografische Verhaltensweisen	262

TEIL 3*Gemeinsame Schöpfung
im kosmischen Hologramm*

11	Wer erschuf unser ideales Universum?	288
12	Außergewöhnliche Phänomene	314
13	Mit-Schöpfer	341
14	Evolution des Bewusstseins	361
	Dank	369
	Anmerkungen	372
	Register	388

Vorwort

Dieses Buch ist eine Meisterleistung. Es stellt die Frage, woraus Sie ein Universum erschaffen würden, wenn Sie es denn vorhätten. Und wie Sie das zusammensetzten, was Sie benötigen, um es zu erschaffen. Solche Fragen stellt normalerweise jemand, der etwa einen Kuchen backen will. Fragen nach dem »Was?« und dem »Wie?« sind jedoch bei allem erlaubt, einschließlich des Universums, das die Gesamtheit jeglicher Dinge bildet.

Die Lektüre dieses Buches bietet Ihnen allerdings weit mehr als einen angenehmen intellektuellen Zeitvertreib. Es ist voller seriöser Informationen über das, was in der Welt existiert und geschieht, sowie darüber, wie es miteinander verbunden ist. Und es ist eines der an Informationen reichhaltigsten Bücher, die ich je gelesen habe. Bei der Lektüre fühlt man sich, wie gesagt, ein wenig an einen Meisterbäcker erinnert, der einem das Rezept für einen perfekten Kuchen präsentiert. Allerdings dient dieses Rezept dazu, das ideale Universum zu schaffen beziehungsweise zu verstehen. Es kann kein ehrgeizigeres Vorhaben geben, als zu versuchen, die Formel für dieses Rezept zu finden.

Es stellt sich dabei heraus, dass es ein noch ambitionierteres Unterfangen gibt, und dieses Buch spricht es an. Es geht nicht nur darum herauszufinden, *was* das Universum ist und *wie* es zusammengehalten wird, sondern auch, *warum* das so ist. Dieses »Warum« trifft

auch auf unsere Existenz im Universum zu; es fragt nach der Bedeutung und dem Zweck unseres Seins.

Wir erfahren, dass die Frage nach dem »Warum« nicht verlangt, Zuflucht bei einer transzendentalen Instanz zu suchen oder aus dem Stegreif Vermutungen über das Wesen der Realität anzustellen. Die Frage kann unvoreingenommen gestellt werden, und man kann innerhalb der erweiterten Räume der Wissenschaft eine sinnvolle Antwort darauf finden, die sich an den neuen Grenzen abzeichnen.

Dieses Buch verschaffte mir ein ausgesprochenes »Aha-Erlebnis«. Obwohl mir viele Fakten und Theorien, die es anspricht, bereits bekannt waren, habe ich sie hier auf eine neue und überzeugende Weise wiederentdeckt. Es ist ein Erkenntnisgewinn par excellence, denn es erweitert nicht nur mein Wissen im Allgemeinen, sondern es erhellt auch mein Verständnis für die grundlegende Natur aller Dinge und die Identität des Maestros, der sie geschaffen hat.

Der Begriff »Kosmos« stammt aus dem Griechischen und bedeutet ursprünglich »Weltordnung«. Die tiefgründigere Perspektive, die uns dieses Buch bietet, sieht den Kosmos als integrales, von Natur aus zusammengehörendes Ganzes, dessen Voraussetzungen in den Entdeckungen wurzeln, die am Beginn des 21. Jahrhunderts zutage getreten sind.

Das kosmische Hologramm bringt uns die Information nahe, die ein ideales Universum geschaffen hat – *unser* Universum. Es möchte den Leser dazu anregen, den gesamten kohärenten kosmischen Kuchen zu probieren, den Jude Currivan für uns angerührt hat. Lassen Sie sich's schmecken! Das ist ein Hochgenuss, an den sich alle aufgeschlossenen und intelligenten Leserinnen und Leser immer gern erinnern werden.

Ervin László

Dr. Ervin László ist Wissenschaftsphilosoph, Systemtheoretiker und klassischer Pianist. Er wurde zweimal für den Nobelpreis nominiert und hat über 75 Bücher und mehr als 400 Artikel und Facharbeiten publiziert. Außerdem ist er Gründer und Präsident des Club of Budapest, eines Thinktanks für globale Fragen, und des Ervin László Institute for Advanced Study (ELIAS). Er lebt in der Toskana.

EINFÜHRUNG

Indras Netz

Stellen Sie sich ein schimmerndes Netz aus Licht vor, ohne Anfang und ohne Ende. An jedem Knoten seines Gitters sitzt ein funkelnder Edelstein, und diese Myriaden vielschichtiger Juwelen reflektieren und spiegeln einander in allen Regenbogenfarben – eine stetig wechselnde Illumination. Seine unendliche Einheit manifestiert sich in unzähligen kreativen Edelsteinen, durch die seine immerwährende Entwicklung kontinuierlich beflügelt und vorangetrieben wird.

Vor circa 3 000 Jahren oder noch eher wurde dieses altertümliche numinose Bild des Universums erstmals in den heiligen indischen Texten des *Atharvaveda* erwähnt und als Indras Netz bezeichnet. Mit diesem Instrument erschuf die vedische Gottheit Indra, der Gott des Himmels, die Erscheinung der gesamten Welt. Heute wird seine Offenbarung von ganzheitlicher Realität und Selbstreflexion auf allen Stufen des Daseins wiederentdeckt und in einer weniger poetischen, aber gleichsam majestätischen und wissenschaftsbasierten Sprache neu formuliert.

Obwohl diese Revolution im 21. Jahrhundert durch brandneue Forschungsergebnisse eingeleitet wurde, werden ihre Auswirkungen

uns alle unmittelbar beeinflussen. Denn wir müssen umdenken und nicht nur das korrigieren, was wir über das physikalische Universum zu wissen glauben, sondern auch die Wahrnehmung unserer selbst und der Natur der Realität an sich.

Ich habe seit meiner Kindheit versucht zu verstehen, was Realität *wirklich* ist, und habe mich dazu gedrängt gefühlt, ein Leben lang immer wieder zu fragen, nicht nur wie, sondern auch warum das Universum so ist, wie es ist. Mein wissenschaftliches Streben nach Antworten begann, als ich etwa fünf Jahre alt war. Meine ohnehin wachsende Begeisterung für Astronomie wurde an diesem Weihnachtstag mit einem Geschenk meiner Eltern belohnt: *The Boys' [!]* *Book of Space* des britischen Astronomen Patrick Moore.

Einige Jahre später erregte die Quantenwelt meine Aufmerksamkeit und veranlasste mich schließlich am Ende meiner Teenagerzeit zu Beginn der Siebzigerjahre, ein Magisterstudium der Physik an der Oxford University aufzunehmen. Dabei spezialisierte ich mich auf Quantenphysik, erforschte die physikalische Welt in ihren winzigsten Dimensionen und die Kosmologie der Relativitätstheorie. Ich strebte danach, das Universum sowohl in seiner Gesamtheit als auch unter seinen extremsten Bedingungen zu verstehen. Es war eine aufregende Zeit – eine Zeit nicht lange nach der Bestätigung, dass der Urknall den Beginn des Universums darstellt; eine Zeit, die erfüllt war von dem neu entdeckten Phänomen der Schwarzen Löcher. Vor allem versuchte ich, meine eigene, sich erweiternde Sichtweise auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnis unseres physikalischen Universums zu untermauern.

Allerdings wurde mir schon damals die fundamentale Unvereinbarkeit von Quanten- und Relativitätstheorie bewusst, denn diese

Theorien von Raum und Zeit sind vollkommen verschieden; und zu der Zeit, als ich in Oxford studierte, hatte es die wissenschaftliche Forschung über ein halbes Jahrhundert lang nicht geschafft, die beiden Theorien zusammenzuführen.

In meinem zweiten Studienjahr teilte ich meine Hoffnungen, dass man endlich einen Weg aus dieser Sackgasse finden möge, mit einem meiner Lehrer, Dennis Sciama. Er war gerade von der Universität Cambridge nach Oxford gewechselt und lud mich freundlicherweise ein, an einem kurz darauf stattfindenden Vortrag über Schwarze Löcher und die sogenannten Singularitäten teilzunehmen, die man in ihrem Zentrum vermutete. Der Vortrag sollte von zwei wegbereitenden Wissenschaftlern gehalten werden. Da es sich um ein Doktorandenseminar handelte, war ich vermutlich die jüngste Teilnehmerin, als Stephen Hawking, der bereits unter einer degenerativen Erkrankung des motorischen Nervensystems (amyotrophe Lateralsklerose) litt, und sein Kollege Roger Penrose beschrieben, wie der gravitationsbedingte Kollaps eines massereichen Sterns theoretisch zur Existenz solcher Raum-Zeit-Singularitäten führt.

Heute gelten beide als weltberühmte Wissenschaftler, doch schon damals wurde ihre Brillanz erkannt, und beide waren im Begriff, als Mitglieder in die renommierte Royal Society aufgenommen zu werden, deren Präsident einst Isaac Newton gewesen war.

Inspiziert von diesem Seminar und ermutigt durch Dennis, schrieb ich eine Abhandlung über Schwarze Löcher und die neu aufkommenden Überlegungen, wie ihr Verhalten Einblicke liefern könnte in die Theorie einer Quantengravitation (die das Ziel hat, Quanten- und Relativitätstheorie in Einklang zu bringen, indem sie einen Weg findet, Gravitation zu quantisieren). Ich reichte meine

Abhandlung bei einem Universitätswettbewerb ein und war glücklich, den Preis zu gewinnen, der – für mich als ständig in Geldnot schwebender Studentin höchst erfreulich – immerhin mit 25 Pfund dotiert war. Ich würdigte jedoch nur am Rande, dass sich meine Schlussfolgerungen in dieser Abhandlung als wahr erweisen sollten: »Unser Wissen über das Verhalten von Materie unter solch extremen Bedingungen ist im Moment noch so begrenzt, dass sich die Bildung von Schwarzen Löchern und Singularitäten als das geringste unserer Probleme erweisen könnte.«

Denn trotz der brillanten Leistungen von Wissenschaftlern wie Hawking, Penrose und vielen anderen mussten Forscher über vierzig Jahre später aufgrund der Entdeckungen von sogenannter dunkler Materie und dunkler Energie – deren Natur immer noch unbekannt ist – einräumen, dass ihre kosmologische Weltansicht, wie sie durch die kontinuierliche Weiterentwicklung noch immer widersprüchlicher grundlegender Theorien dargestellt wird, heute lediglich in der Lage ist, gerade mal 5 Prozent des Universums zu erklären. Der Rest »fehlt« nach gegenwärtigem Verständnis einfach.

Für mich ist es jedoch wesentlich wichtiger, als diese bis heute ungelöste Unvereinbarkeit und den Mangel an Erklärungen (wie es zumindest von der Mainstream-Wissenschaft interpretiert wird) zu verstehen, wie man die Natur des Bewusstseins verstehen, erfassen und integrieren kann.

Seit Beginn meines lebenslangen Bestrebens, die wahre Natur der Realität zu begreifen, war ich fasziniert von der Weisheit alter Kulturen wie der Ägyptens oder des vedischen Indiens. Beide Traditionen trachteten danach, die Welt und die Wahrnehmung von Realität anhand von Begriffen zu erklären, die ich in meinen eigenen Erklärungsversuchen wiedererkennen sollte. Ihre Kosmologie meinte

Bewusstsein, und für sie bildete eine kosmische Intelligenz die Grundlage des Universums; hauptsächlich in Bezug auf seinen Ausdruck in physischer Form sahen sie in dieser alles umfassenden grundlegenden Intelligenz all das, was wir als Realität bezeichnen.

Im eigentlichen Sinn versuchten diese Betrachtungsweisen, nicht nur das Rätsel zu erklären, auf welche Weise das Erscheinungsbild unseres Universums aus solch tieferer Realität entspringt, sondern auch die Bedeutung und den Sinn allen Lebens zu verstehen.

Die Wissenschaft hat bis heute gebraucht, um endlich mit den jahrhundertealten metaphysischen Erkenntnissen und Erfahrungen von Weisen, Schamanen und Sehern gleichzuziehen, die durch die Metapher von Indras Netz beschrieben sind. In dieser Hinsicht zwingend ist die Hypothese des holografischen Prinzips, die zuerst von dem holländischen theoretischen Physiker Gerardus 't Hooft in die Diskussion eingebracht wurde. 1993 machte er den Vorschlag, dass es zur Beschreibung sämtlicher Information im Bereich eines offensichtlich dreidimensionalen Raumes eine äquivalente Beschreibung als Hologramm dieser Information gibt, die nur auf den zweidimensionalen Rand lokalisiert ist.¹

Im Folgenden wollen wir Hinweisen auf den Grund gehen und überprüfen, ob unser Universum tatsächlich ein kosmisches Hologramm ist, das seine natürlichen Merkmale in Form von selbstähnlichen Informationsmustern und einer harmonischen Ordnung verkörpert, die allen physikalischen Erscheinungen auf allen Ebenen des Seins zugrunde liegen.

Nachdem ich die Entwicklung dieser holografischen Sichtweise mehr als zwanzig Jahre lang verfolgt habe, scheint es mittlerweile, als hätten wir eine Wahrnehmung der Realität, die wirklich das Potenzial hat, eine »Theorie von allem« zu sein, ein umwälzendes, wissen-

schaftlich fundiertes Modell zu bieten. Diese »Weltformel« impliziert, dass Information, Bewusstsein und letztendlich kosmische Intelligenz den Grundzustand und das alles durchdringende Fundament der gesamten Welt bilden.

Dieses zutiefst beflügelnde neue Verständnis gründet nicht nur auf den Entdeckungen und Einsichten der Wissenschaft im 20. Jahrhundert, sondern geht weit über sie hinaus.

Um das holografische Prinzip zu verstehen, beginnt die wegweisende Wissenschaft des 21. Jahrhunderts auch die Tatsache zu verinnerlichen, dass Information tatsächlich fundamental wichtiger ist als Materie, Energie, Raum und Zeit. Wir werden sehen, dass sich das kosmische Hologramm in vielen unterschiedlichen Bereichen wissenschaftlicher Forschung erschließt, von der winzigsten physikalischen Ebene der Planck-Skala, noch viel winziger als die eines Quants, bis zur größten Skala unseres gesamten Universums einschließlich jeden dazwischen liegenden Niveaus – und einschließlich der Realität unseres täglichen Lebens.

Wir werden sehen, wie miteinander verbundene Konzepte – inklusive Quanteninformation, neue und entwicklungsgeschichtlich ursprüngliche Komplexität, das holografische Prinzip, fraktale Geometrien und Entropieprozesse –, die schrittweise durch neue Entdeckungen und experimentelle Nachweise bestätigt werden, sehr deutlich zeigen, dass die gesamte Wahrnehmung der physischen Welt einer tieferen Ebene von informativer Realität entspringt.

Ein umfassendes Verständnis bildet sich gerade heraus, doch die Wissenschaft benötigt mehr Zeit und noch weitere Entdeckungen, um diese unglaubliche Vision des kosmischen Hologramms vollständig zu bestätigen und zu würdigen. Dennoch ist – selbst in dieser Anfangsphase – sein Potenzial, unsere Sicht der Realität und unseren

Platz im Kosmos zu revolutionieren, mach meiner Ansicht viel zu wichtig, um es allein den Wissenschaftlern zu überlassen.

Das kosmische Hologramm ist das Äquivalent des 21. Jahrhunderts zu Indras Netz. Es zeigt – ähnlich wie der wundervolle Schokoladenkuchen meiner Mutter –, wie all die notwendigen Informationen in Form von Anweisungen, Bedingungen, Zutaten, einem Rezept und einem Behältnis vom allerersten Beginn von Raum und Zeit vorhanden waren, um unser »ideales« Universum zu schaffen. Ein Universum, in dem sich eine ständig zunehmende Komplexität weiterentwickeln konnte bis zu dem Punkt, an dem Individuen mit eigenem Bewusstsein entstanden, die dazu fähig und entsprechend wissbegierig sind, die wahre Natur der Realität und ihren eigenen Platz und Zweck im Kosmos zu verstehen (und die Schokoladenkuchen mögen).

Wir werden auch die Rätsel untersuchen, die uns das Licht aufgibt. Es verbindet die Elemente der bekannten physischen Welt miteinander und weist solche außergewöhnlichen Eigenschaften und Strukturen auf, dass es die maximale Kreativität der Information von dem ermöglicht, was Einstein als kosmischen Geist bezeichnete, um sich selbst auszudrücken und innerhalb des Universums zu entwickeln. Und es ist *unser* Universum, eines von vielen Universen innerhalb eines unendlichen und ewigen Multiversums aus kosmischen Parallelwelten; es ist das Universum, in dem wir uns zu Lebewesen entwickelt haben, die sich ihrer selbst bewusst sind.

Ich hoffe, Sie werden genauso erstaunt und begeistert sein, wie ich es immer war, dass unser ideales Universum, wie Einstein es einmal formuliert hat, auf wundervolle Art und Weise dazu fähig ist, seine unglaubliche Komplexität aus einigen Grundprinzipien zu entwickeln und zu manifestieren, die »so einfach wie möglich, aber nicht

einfacher« sind. Tatsächlich werden wir seine wichtigsten Erkenntnisse als ständigen Wegweiser nutzen, um die Seriosität unserer Suche zu gewährleisten.

Vor allem werden wir die zunehmend starken Hinweise überprüfen, dass die Wahrnehmungen unseres Geistes und unseres Herzens, unserer inneren und äußeren Sinne, die mikrokosmischen Juwelen in Indras Netz darstellen, durch das die äußere Erscheinung der gesamten Welt des kosmischen Hologramms erschaffen, erfahren und erforscht wird.

TEIL 1



***Wie man ein ideales
Universum schafft***

Information

**Was vermittelt oder vertreten wird durch eine spezielle
Anordnung oder Reihenfolge von Dingen ...**

It from bit ... Alles ist Information.

JOHN ARCHIBALD WHEELER

It from qubit.

DAVID DEUTSCH

Dieses Buch konnte erst jetzt geschrieben werden, denn vorher besaßen wir die notwendigen Informationen noch nicht. Buchstäblich ist nun »die Zeit, deren Idee gekommen ist«.

Da wir nun erst allmählich verstehen, wie die aufstrebende Wissenschaft des 21. Jahrhunderts die physische Wirklichkeit zunehmend als ein kosmisches Hologramm beschreibt, müssen wir uns zunächst einmal über die vorrangige Natur von Information klar werden.

Die Gesetze der Bewegung und der Thermodynamik definieren nicht nur, wie sich Materie und Energie bewegen und wie sie miteinander in Beziehung stehen, sondern gelten auch grundsätzlich für die Information. Man beginnt immer mehr, das Konzept von Inhalt und Fluss von Information dafür zu verwenden, physikalische Phänomene auf einem tieferen und umfassenderen Niveau als bisher zu beschreiben.

Die beiden Säulen der Wissenschaft im 20. Jahrhundert, die Quanten- und die Relativitätstheorie, werden ebenfalls neu bewertet als Informationstheorien – eine Entwicklung, die möglicherweise das Potenzial besitzt, diese bisher einander unversöhnlich gegenüberstehenden Sichtweisen unseres Universums endlich zusammenzubringen.

Wie wir sehen werden, ist dies allerdings nur ein erster Schritt zu einer wesentlich mehr umfassenden Anschauung, die nicht nur zum Ziel hat, die physikalische Welt vollkommen zu verstehen, sondern die auch eine Kosmologie vorschlägt, die *alle* Aspekte von Existenz und Erfahrung einschließt, und die schließlich Antworten auf die tiefere Frage sucht, nicht nur *was* die Realität ist, sondern auch *warum* sie so ist, wie sie ist.

Zunächst werden wir uns ansehen, warum Information im Vergleich zu Energie und Materie und sogar zu Raum und Zeit mittlerweile als wesentlicher betrachtet wird. Dabei werden wir entdecken, wie die kleinste Einheit der Planck-Skala unserer physikalischen Welt, trillionenmal kleiner als das Reich der Quantenphysik, der Schlüssel ist, um Einblicke zu gewinnen, warum Information eine Vorrangstellung einnimmt. Weiterhin werden wir erkennen, dass Information wirklich physisch ist, und wir werden unser Verständnis davon erweitern, wie Information unser Universum formt – wäh-

rend sie gleichzeitig unsere Anschauung davon verändert, was wir eigentlich mit dem Begriff »physisch« meinen.

EINE UNVOLLSTÄNDIGE REVOLUTION

Vor ungefähr hundert Jahren veränderte sich unser gesamtes Wissen über Energie und Materie, Raum und Zeit auf dramatische Weise. Bis dahin, seit den Zeiten von Isaac Newton und anderen Pionieren der Wissenschaft im 17. Jahrhundert, wurde Energie als ein Merkmal von Materie und Bewegung betrachtet; Raum und Zeit galten als absolut, als unabhängig von einem Beobachter, als grundsätzlich voneinander getrennt, und sie fungierten lediglich als passiver Hintergrund für die »realen Dinge«.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts konnten jedoch Widersprüche, die durch rätselhafte Phänomene hervorgerufen wurden – beispielsweise war es nicht möglich, die Energie zu bestimmen, die ein heißer Ofen abstrahlte –, nicht mehr mittels der in dieser Zeit vorherrschenden Theorien erklärt werden. Daher tauchten in der Physik zwei neue revolutionäre Denkansätze auf: die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik.

Diese Theorien zeigten, dass die Newton'sche Physik nicht falsch war. Tatsächlich wenden wir ihre Prinzipien immer noch an, beispielsweise in der Raketentechnologie und für viele alltägliche Zwecke. Allerdings sind diese Theorien der klassischen Physik unvollständig. Der revolutionäre Durchbruch, den Relativitätstheorie und Quantenmechanik bewirkt haben, erweiterte Newtons Grundsätze der klassischen Mechanik, die eine Annäherung an unsere alltäglich gemachten Erfahrungen eines viel umfassenderen, aber völlig unterschiedlichen Verständnisses unseres Universums sind: eines Univer-

sums, in dem Energie und Materie einander ergänzende Ausdrucksformen darstellen und dynamische Wirkungsfelder das Konzept scheinbar getrennter Objekte und bis dahin unerklärter »Fernwirkung« ersetzen. Weiterhin sind Raum und Zeit jeweils relativ zur Position eines Betrachters, und wir können sie lediglich in ihrer Kombination als vierdimensionales Konzept der Raum-Zeit für unveränderlich halten.

Aber ebenso, wie Newtons Erkenntnisse drei Jahrhunderte zuvor unvollständig waren, so war es auch die wissenschaftliche Revolution des 20. Jahrhunderts; denn die Quantenmechanik, die die physikalische Welt im Bereich winzigster Maßstäbe beschreibt, erscheint grundsätzlich unvereinbar mit der Relativitätstheorie, die für gewaltigere Dimensionen gilt. Im Wesentlichen hat die Quantentheorie keinen Zeitbegriff, und die Raum-Zeit und die Gravitation, mit denen die Relativitätstheorie arbeitet, sind nicht quantisiert. Bei den Versuchen, diese Widersprüche zu lösen, hat sich ein Großteil der Forschung darauf fokussiert, eine Quantenbeschreibung der Gravitation zu entwickeln; dafür wurden Hinweise aus dem Studium der Materie unter den extremen Bedingungen herangezogen, wie sie zu Beginn unseres Universums und in Schwarzen Löchern herrschen. Dennoch stehen die beiden Theorien einander auch nach mehr als achtzig Jahren Forschung immer noch unvereinbar gegenüber.

Als ob das noch nicht genug wäre, zeigten astronomische Messungen von unerwartet hohen Geschwindigkeiten der galaktischen Rotation, über die Vera Rubin erstmals in den 1960er-Jahren überzeugend berichtete, dass etwas, was als dunkle Materie bekannt und nur durch seine Auswirkungen auf die Gravitation messbar wurde, notwendig ist, um die sichtbaren Sterne in ihren Umlaufbahnen zu halten und zu verhindern, dass sie herausgeschleudert werden. Seit

dieser Zeit wird angenommen, dass die dunkle Materie, die zumeist als unbekannte, schwach wechselwirkende, aber massereiche, subatomare Teilchen (WIMPs = *weakly interacting massive particles*) beschrieben wird, unser Universum durchzieht.

Zu Beginn der 1990er-Jahre hat die Messung der Expansionsrate des Raumes enthüllt, dass sich das Universum nicht – wie ursprünglich angenommen – langsamer, sondern dass es sich schneller ausdehnt² – eine Situation, die gegenwärtig der Existenz sogenannter dunkler Energie zugeschrieben wird. Obwohl es eine Vielzahl von Kandidaten für diese kosmologische Konstante gibt, die anscheinend eine Eigenspannung in der Struktur der Raum-Zeit selbst ist, konnte bis heute keiner bestätigt werden.

Keine dieser beiden »dunklen« und vollkommen unvorhersehbaren Komponenten des Universums ist bisher verstanden, doch dadurch, dass sie nach gegenwärtiger Schätzung etwa 95 Prozent seiner gesamten Energie und Materie ausmachen, degradieren sie die zwei grundlegenden, aber immer noch ungelösten Theorien der Wissenschaft des 20. Jahrhunderts dazu, lediglich 5 Prozent der physikalischen Realität zu beschreiben.

Und wie könnte es jetzt weitergehen?

Wie es bei früheren wissenschaftlichen Revolutionen der Fall war, sollten wir uns auch hier mit solchen offensichtlichen Unterschieden, unbequemen Abweichungen und außergewöhnlichen Phänomenen beschäftigen, die uns ein tieferes Verständnis und eine immer umfassendere Sicht der Welt eröffnen.

Dennoch mag es sich erweisen, dass sich dunkle Materie und dunkle Energie in den erweiterten Rahmen der Physik des 20. Jahrhunderts integrieren lassen. Für mich stellt sich die Aufgabe, sie nicht nur in Einklang zu bringen, sondern auch auf die tiefer gehen-

de Frage zu antworten, *warum* Quanten- und Relativitätstheorie einander so unerbittlich gegenüberstehen; das kann sich als hilfreich erweisen, um unser Verständnis der physikalischen Welt grundlegend zu revolutionieren, ebenso unser Verständnis von Bewusstsein und der Natur der Realität selbst.

Nachdem man das technologische Potenzial dieser beiden Theorien ausgeschöpft hatte, wurden andere Fragen, wie beispielsweise warum und wie der Akt des Beobachtens eine quantenphysikalische Entität »real« macht und was nichtlokale Zusammenhänge – die Einstein als spukhafte Fernwirkung bezeichnete – *wirklich* bedeuten, weitestgehend von der Forschung hintangestellt.

Erst jetzt werden tiefgründigere Hinweise, obwohl sie immer noch in quantenphysikalische und relativistische Phänomene eingebunden sind, berücksichtigt und in einer viel weiter reichenden und viel tieferen Wahrnehmung verankert, wie die gesamte Welt auf allen Existenzstufen geschaffen ist. Ich denke, Einstein würde es gefallen. Dieses neu aufkommende Verständnis einer Physik der Information repräsentiert jedoch, obwohl es auf führenden Entdeckungen beruht, eine radikale Herausforderung für die etablierte Wissenschaft. Glücklicherweise werden die Kraft der wissenschaftlichen Methodik und ihre praktische und unvoreingenommene Herangehensweise die Mainstream-Wissenschaft dazu zwingen, dem experimentellen und empirischen Nachweis zu folgen, ohne Rücksicht auf ein festgefahrenes Weltbild oder auf solche Theorien, die versuchen, ihm einen Sinn zu geben.

Wenn wir die Anhaltspunkte, die uns Entdeckungen und Erkenntnisse aus einem weitreichenden Fächerspektrum in den vergangenen Jahren lieferten, und eine vollkommen unterschiedliche Herangehensweise an theoretische Paradigmen zusammenneh-

men, lässt sich unser Universum schrittweise hinsichtlich der holografischen Information beschreiben und in eine neue wissenschaftliche Revolution des 21. Jahrhunderts einbetten. Das Potenzial dieser radikal neuen Perspektive geht weit über ihre Fähigkeit hinaus, unsere Wahrnehmung der physischen Welt ein weiteres Mal tiefgehend zu verändern. Während wir weiter forschen, weil wir uns darüber klar werden, dass nichtphysikalische und multidimensionale Information nötig ist, um das Universum zu verstehen, wird diese neue Sicht vielleicht eine grundlegendere Revolution in unserem Verständnis unseres Selbst und der ganzen Welt herbeiführen als jemals zuvor.

Die fortschrittliche Erkenntnis, dass wissenschaftliche Gesetze neu definiert und auf den Begriff der Information ausgeweitet werden können, geht zurück auf Erkenntnisse der Thermodynamik aus dem 19. Jahrhundert. Dabei handelt es sich um das Teilgebiet der Physik, das sich mit der Erforschung von Wärme und Temperatur beschäftigt und untersucht, wie sie mit Energie, Arbeit und Entropie zusammenhängen. Zuvor wurde Thermodynamik meist als Messung der Ordnung beziehungsweise Unordnung in einem System aufgefasst, aber heutzutage wird sie wesentlich fundamentaler betrachtet in Bezug auf ihren Informationsgehalt und Informationsfluss.

Auf der Basis seiner Studien über das Verhalten von Gasen Ende des 19. Jahrhunderts prognostizierte der österreichische Physiker und Philosoph Ludwig Boltzmann die Existenz von Atomen und Molekülen. Zu jener Zeit war die Mehrheit der Physiker noch anderer Auffassung, und dieser Widerstand trug dazu bei, dass sich sein bereits angegriffener Geisteszustand weiter verschlechterte und er

schließlich 1906 Suizid beging. Sein Tod war besonders tragisch, denn innerhalb weniger Jahre wurde die Existenz von Atomen bestätigt, und seine Theorien wurden anerkannt.

In der Mitte des 20. Jahrhunderts zeigte der für die AT&T Bell Laboratories arbeitende Wissenschaftler Claude Shannon während seines Studiums der Kommunikationstechnik – die sich unter anderem mit dem Transport von Informationen beschäftigt –, dass die mathematische Formel, welche die Entropie der Energie eines Gases in thermodynamischen Begriffen beschreibt, und der Informationsgehalt eines Systems *exakt* dasselbe sind.

Diese äußerst einfache, aber enorm wichtige Gleichsetzung, die Entropie sowohl mit Energie als auch mit Information verbindet, sollte bald denselben Kultstatus erreichen wie Einsteins berühmte Verknüpfung von Energie und Materie – und sie besitzt sicherlich die gleiche Bedeutung. In der Gleichung $S = k \log W$ steht S für die Entropie, k für die Boltzmann-Konstante, und $\log W$ ist im Wesentlichen der Logarithmus der Energiezustände beziehungsweise des Informationsgehalts eines Systems.

Wie wir noch sehen werden, offenbaren diese Äquivalenz von Information und Energie und die Beziehung mit dem Konzept der Entropie – die Gleichung, die zum Gedenken an Boltzmann so benannt ist –, dass Information tatsächlich *umfassender und grundlegender* ist und sich selbst auf komplementäre Weise durch Erhalt von Energie und Masse und entropisch durch den Fluss der Zeit selbst ausdrückt.

Als die Universität von Cambridge im Jahr 1666 zeitweilig geschlossen wurde als Vorsichtsmaßnahme gegen die große Pestepidemie, die damals über das Land hereinbrach, zog sich der junge Isaac New-

ton in den Schutz seines Hauses in dem kleinen Nest Woolsthorpe in Lincolnshire zurück, wo er die Zeit sehr gut nutzte. Zusätzlich zu seinen Studien in Optik beschäftigte er sich mit der Entwicklung der Infinitesimalrechnung, der mathematischen Formulierung von Veränderung; und an diesem Ort beobachtete Newton auch, wie ein Apfel von einem Baum in seinem Garten fiel, wie er später seinem Biografen William Stukeley erzählte. Dieses Ereignis führte dazu, dass er das Gesetz der Schwerkraft entdeckte.

Einige Jahre später war er in der Lage, mathematisch zu zeigen, dass die Gesetze der elliptischen Planetenbewegung, die Johannes Kepler Anfang des 17. Jahrhunderts aufgestellt hatte, demselben Gesetz gehorchten. Dadurch konnte er beweisen, dass die Gravitation nicht ausschließlich zur Erde gehört, sondern dass sie auch unser gesamtes Sonnensystem beherrscht und, als natürliche Folgerung, unser gesamtes Universum durchdringt.

Tatsächlich sind alle grundlegenden Gesetze der Physik *universell* in dem Sinn, dass sie für das gesamte Universum gelten, ungeachtet der Verhältnisse von Raum und Zeit. Eine solche Universalität erscheint uns so selbstverständlich, dass wir dazu neigen, ihre enorme Tragweite zu übersehen, wenn wir die alles durchdringende und nach innen gerichtete Vernetztheit unseres gesamten Universums und aller seiner Phänomene offenlegen.

Kein untergeordnetes System – ganz gleich, ob es sich um ein Elementarteilchen, eine Person, einen Planeten oder einen Galaxienhaufen innerhalb unseres Universums handelt – ist vollständig isoliert oder kann vollständig isoliert werden. Schritt für Schritt wird aufgedeckt, dass alles auf allen Stufen der Existenz grundsätzlich miteinander verbunden ist durch Inhalt, Fluss und Verarbeitung von Information. Wie wir bei weiteren Untersuchungen noch sehen wer-

den, geht es dabei nicht nur um grundlegende Daten, sondern um alles durchdringende Informationsmuster und Beziehungen.

Wir benutzen häufig das Wort »zufällig«, um einen Mangel an Struktur oder Ordnung zu beschreiben. Dennoch wird von dem theoretischen Physiker und Philosophen David Bohm berichtet, dass er 1987 in einem Interview mit dem Physiker und Sachbuchautor David Peat gesagt haben soll: »Zufall wird für eine grundlegende, aber unerklärliche und nicht analysierbare Eigenschaft der Natur und wohl letztlich jeglicher Existenzform gehalten. [...] Und dennoch, was in einem bestimmten Kontext Zufall ist, kann sich in einem größeren Zusammenhang als notwendige Ordnung herausstellen.«

Obwohl sie in der Tat wahrscheinlich sein mögen, sind Phänomene auf Quantenniveau (und wohl auf jeder Stufe innerhalb unseres Universums) weder »zufällig« noch beruhen sie auf Zufall, wie häufig dargestellt wird. Sie verhalten sich nach den Wahrscheinlichkeiten innerhalb eines Spektrums von Möglichkeiten, die von der Information abhängig sind, die sie verkörpern.

Tatsächlich ist jetzt, da die neue Sichtweise des kosmischen Hologramms mehr und mehr in den Vordergrund tritt, letztendlich nichts in unserem Universum zufällig; alles, was in der physikalischen Welt erscheint, geht auf tiefgründigere, geordnete Ebenen der nichtphysikalischen und informativen Realität zurück.

INFORMATION IST PHYSIKALISCH

Als ich vor einigen Jahren eine Treppe hinunterstürzte, am Boden gegen eine Mauer aus Backsteinen prallte und mir dabei einen Arm brach, schrie mein ganzer Körper vor Schmerz auf, und die physische

Welt fühlte sich, nun, sehr physisch an! Das war nicht der Augenblick, um mich daran zu erinnern, dass alles, was wir als physisch bezeichnen, im Wesentlichen zu 99,999999999999 Prozent nichts Dinghaftes ist, und der Rest sind Erregungsmuster aus Energie und Information.

Diese Tatsache unterstreichen nicht nur die riesigen Entfernungen zwischen Planeten, Sternen und Galaxien, sondern auch der natürliche Raum im Reich der Planck-Skala. Das vertraute Bild eines Wasserstoffatoms, bei dem das einzelne Proton im Kern durch einen Basketball repräsentiert wird, den das einzige Elektron in einer Entfernung von ungefähr 3 Kilometern umkreist, bietet eine gute visuelle Darstellung von diesem Mangel an Stofflichkeit.

Noch substanzloser, enthalten Atomkerne Einflussfelder, innerhalb derer die Quarks, die grundlegenden Elementarteilchen, aus denen die Bausteine der Atomkerne bestehen, das heißt Protonen und Neutronen, nach dem aktuellen Standardmodell der Quantenfeldtheorie als Punktteilchen vermutet werden. Mit anderen Worten: Sie haben keine innere Beschaffenheit und keine wesentliche räumliche Ausdehnung – oder sie haben eine, die zu winzig ist, als dass man sie mit den aktuell verfügbaren Techniken messen könnte. Dies gilt ebenfalls für Elektronen und weiterhin für alle sogenannten Elementarteilchen, die als fundamentale Bestandteile von Energie und Materie angesehen werden.

Wenn sich die Grundlage für unsere Vorstellungen, was man unter »physisch« versteht, als so kurzlebig erweist, ist es lediglich das sogenannte Pauli-Prinzip, benannt nach dem dänischen Physiker Wolfgang Pauli, das die Atome unserer Körper davon abhält, mit der Materie unserer Umgebung zu verschmelzen.

Dieses Prinzip legt fest, dass keine zwei Quarks oder Elektronen denselben Quantenzustand einnehmen können, das heißt, sich am

selben Ort zur selben Zeit mit den gleichen Quanteneigenschaften befinden. Das Pauli-Prinzip bestimmt nicht nur das chemische Verhalten von Atomen und begründet das Periodensystem mit den Elementen und ihrer außerordentlichen Vielseitigkeit an Eigenschaften, sondern steht auch, indem es die subatomaren Bestandteile eines Atoms davon abhält, dass sie sich zu sehr annähern, für die unentbehrliche Stabilität der Materie.

In den zurückliegenden Jahren zielte die Formulierung der sogenannten M-Theorie, die auf mehrere Stringtheorien der 1980er-Jahre folgte, darauf ab, Quantenmechanik und Gravitation in Einklang zu bringen, indem man die nulldimensionalen Punktteilchen des Standardmodells durch schwingende eindimensionale Strings ersetzt (die in der M-Theorie mit holografischen Grenzlinien assoziiert werden, welche man als Branen bezeichnet). Man nimmt jedoch an, dass diese beiden keine innere Struktur haben. Obwohl die M-Theorie (der Begriff wurde zuerst 1995 von Edward Witten mit Hinblick auf die Membranstruktur der Theorie vorgeschlagen) und andere konkurrierende Theorien schrittweise tiefere Einsichten bieten, können alle zusammen lediglich eine flüchtige Basis grundlegender Physikalität durch andere ähnlich geisterhafte Alternativen ersetzen.

Wie wir später noch sehen werden, sind wir nur dadurch, dass wir die trügerische Natur der Physikalität hinsichtlich der wesentlich fundamentaleren Natur von Information betrachten, dazu in der Lage, die ursprünglichen Realitäten wahrzunehmen, von denen unsere Erfahrung physischer Realität ausgeht.

Im Jahr 1931 stellte Max Planck, einer der bedeutendsten Pioniere der Quantentheorie, Folgendes fest: »Ich sehe Bewusstsein als

grundlegend an. Ich sehe Materie lediglich als eine Ableitung des Bewusstseins.« Viele andere Wissenschaftler vor und nach ihm, einschließlich Albert Einstein, haben ähnliche Ansichten geäußert.

Der Informationswissenschaftler Rolf Landauer war 1991 der Erste, der explizit die grundlegende physikalische Natur von Information³ erklärte, die selbst zu jeglicher Vorstellung von Bewusstsein gehört. Wir werden diese wesentliche Auffassung von drei Hauptblickwinkeln aus untersuchen: Wie kann Quantenverhalten im Hinblick auf die Information erklärt werden? Wie sind Information und das grundlegende physikalische Konzept der Entropie im Wesentlichen miteinander verbunden? Wie können alle physikalischen Gesetze und natürlichen Phänomene mit Begriffen der Information ausgedrückt werden? Bei allen drei Fragestellungen werden wir sehen, wie die gesamte Physikalität des Universums als Verarbeitung, Zustand und Fluss von Information betrachtet und neu formuliert werden kann.

Ein weiterer Hinweis darauf, dass Information eine wesentliche Eigenschaft aller physikalischen Systeme ist, wurde zuerst von dem ungarisch-amerikanischen Physiker Leó Szilárd geliefert, der theoretisch zeigte, dass eine Mindestmenge an Arbeit notwendig ist, um ein Stück digitaler Information oder ein Bit zu speichern.⁴ Anschließend formulierte Landauer seine Hypothese, dass das Löschen eines solchen Informations-Bits die Entropie erhöht, und zwar genau um den Betrag $kT \ln 2$, wobei k die Boltzmann-Konstante, T die Temperatur und $\ln 2$ der natürliche Logarithmus von 2 ist – eine Regel, die heute als Landauer-Prinzip bekannt ist.

Schließlich waren 2012 die Physiker Antoine Bérut, Eric Lutz und ihre Kollegen in der Lage, Szilards und Landauers Vorhersagen im Experiment zu bestätigen, indem sie die Wärmeableitung bei der

Löschung eines Informations-Bits maßen.⁵ Nach einem Bericht in der Zeitschrift *Nature* gelang es ihnen, den Zusammenhang zwischen der Rolle von Wärme und Temperatur in Verbindung mit Energie und Information zu verifizieren und dadurch die grundlegende Physikalität von Information zu bestätigen.

QUANTENINFORMATION

Wenn wir Information als grundlegend ansehen, ermöglicht uns das ein tieferes Verständnis, warum Materie und Energie quantisiert sind und ebenso weshalb Quanten eine komplementäre Welle-Teilchen-Natur aufweisen. Bevor wir jedoch damit fortfahren, die Quantentheorie im Hinblick auf die Information zu betrachten, sollten wir zunächst kurz diese beiden zentralen Eckpfeiler bezüglich der Energie überprüfen, wie sie die Pioniere verstanden haben.

Vor ihren Erkenntnissen fassten klassische Physiker das Universum als Kontinuum auf. Bei dem Versuch, etwas so Einfaches wie die Wärmeabgabe eines heißen Ofens zu erklären, kam Planck darauf, die ersten Überlegungen zur Quantentheorie zu formulieren.

Das Problem dabei war, dass die klassische elektromagnetische Theorie von Wärme und Licht postulierte, eine solche Strahlung von einer idealisierten Quelle in einen sogenannten schwarzen Körper sollte kontinuierlich und uneingeschränkt erfolgen. Diese Schlussfolgerung führte dazu, dass die gesamte Strahlungsenergie theoretisch unendlich ist – ein unsinniges Ergebnis und eines, das die irritierten Physiker zu dieser Zeit als die Ultraviolett-Katastrophe bezeichneten.

Schließlich war es Einstein, der Plancks Erkenntnisse aufgriff und anwendete – und das Problem löste. Hauptsächlich für diese

Leistung wurde er 1922 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet, weniger für seine viel berühmteren Entdeckungen, die zum einen die Gleichsetzung von Energie und Materie und zum anderen die Relativität von Raum und Zeit betrafen.

Einstein fand seine Erklärung beim Studium eines Problems, das mit der Ultraviolett-Katastrophe zusammenhing. Dabei handelte es sich um den sogenannten fotoelektrischen Effekt: Wenn man die Oberfläche einer Metallplatte mit Licht bestrahlt, können Elektronen herausgelöst werden. In der klassischen Theorie, in der Licht als kontinuierliche Welle angesehen wird, sollten Elektronen freigesetzt werden können, indem man die Lichtintensität, die auf die Platte einwirkt, erhöht oder die Einwirkzeit verlängert. Das konnte jedoch nicht beobachtet werden.

Als Einstein feststellte, dass lediglich Licht mit einer Wellenlänge ab einem bestimmten energetischen Schwellenwert in der Lage war, Elektronen freizusetzen – unabhängig von Intensität und Einwirkdauer des Lichtstrahls –, postulierte er, dass Licht in einzelnen Teilchen unterwegs sei: als »Photonen« oder Plancks theoretische Quanten, deren Energie mit der Frequenz zunimmt.

Wenn also ein Lichtstrahl mit fortschreitend höherer und dadurch energiereicherer Frequenz (zum Beispiel beim Wechsel von rotem zu blauem und schließlich ultraviolettem Licht) auf die Platte gestrahlt wird – das gilt sogar für eine äußerst niedrige Intensität –, haben einzelne Quanten die notwendige Energie, Elektronen aus dem Metall zu schießen.

Einsteins Genialität lag darin zu erkennen, dass der fotoelektrische Effekt als Ergebnis einer Quantisierung auch das ursprüngliche Rätsel erklärt, das Planck selbst zu verstehen suchte: die begrenzte Strahlung eines heißen Ofens. Auch hier wird die abgegebene Ener-

gie nicht als klassisches kontinuierliches und unbegrenztes Spektrum von Wellenlängen ausgedrückt, sondern als einzelne Quanten, die jeweils eine spezifische Energie besitzen und in der Summe einen endlichen Betrag ergeben.

Quantisierung von Energie und Materie ist allerdings nur eine Seite der komplementären Beziehungen zwischen Wellen und Teilchen, die den Kern der Quantentheorie ausmachen. Während es unterschiedliche Standpunkte gibt, was dies tatsächlich im Hinblick auf die wahre Natur der Realität bedeutet, erkannten zu Beginn des 20. Jahrhunderts Pioniere der Physik wie Niels Bohr und Werner Heisenberg ebenso wie Albert Einstein und Max Planck, dass physikalisierte Materie und Energie sowohl als Welle wie auch als Teilchen betrachtet werden können: Zum Beispiel verhält sich die wellenartige Energie elektromagnetischer Strahlung ebenso wie einzelne quantisierte Photonen. Im Jahr 1924 vollzog der französische Physiker Louis de Broglie den nächsten logischen Schritt. Er erkannte, dass alle Elementarteilchen ebenfalls wellenartiges Verhalten zeigen, wenn auch bei äußerst geringen Wellenlängen.

Zwei Jahre später, 1926, erschienen einige wissenschaftliche Veröffentlichungen, und zwar in der äußerst kurzen Zeitspanne von nur wenigen Wochen, in denen der österreichische Physiker Erwin Schrödinger die nach ihm benannte Gleichung aufstellte, die grundlegend für das Verständnis der Quantenmechanik und die Welle-Teilchen-Komplementarität ist.

Schrödingers trügerisch einfache Gleichung besteht aus einer Reihe von Variablen innerhalb einer einzigen Wellenfunktion; sie enthalten *alle* möglichen Quantenzustände eines Systems in Wahrscheinlichkeitsbegriffen, die sich über die Wellenform verteilen. Die allgemeinste Form der Gleichung zeigt, wie sich die relativen Wahr-

scheinlichkeiten dieser Zustände im Lauf der Zeit entwickeln. Nur wenn sie beobachtet oder gemessen werden, wird aus diesen Wahrscheinlichkeiten in der Physik ein spezieller Zustand.

Zu Recht als eine der bedeutendsten wissenschaftlichen Erkenntnisse des 20. Jahrhunderts angesehen und mit einem Nobelpreis ausgezeichnet, liefert Schrödingers Gleichung die umfassendste Menge an Informationen, die man über ein physikalisches System wissen kann, und zwar nicht nur im Bereich der Planck-Skala, sondern auf jeder Stufe einschließlich unseres gesamten Universums.

Schrödingers Wellenfunktion sagt die physikalische Erscheinung eines beobachteten Systems bezogen auf die zugrunde liegenden Wahrscheinlichkeiten voraus, wie es sich im Lauf der Zeit entwickelt, nicht in der physikalischen Welt, sondern in der sogenannten Gauß'schen Zahlenebene. Viele Jahre lang wurde dies als eine mathematische Abstraktion angesehen, die äußerst nützlich für die Vorhersagen von Quantenverhalten sein könnte. Doch in jüngster Zeit, wie wir später noch im Detail sehen, werden die Gauß'sche Zahlenebene und auch andere nichtphysikalische Räume und Dimensionen eher als eine tiefere Stufe der Realität betrachtet, von der die physikalische Erscheinung unseres Universums ausgeht.

Nachdem wir nun die Quantisierung von Materie und Energie und ihre komplementären Welle-Teilchen-Eigenschaften kurz abgehandelt haben, können wir damit beginnen, sie in Bezug auf die Information neu auszurichten.

Wie die Notwendigkeit, die Ultraviolett-Katastrophe der klassischen Physik zu lösen, gezeigt hat, besitzt ein Kontinuum grundsätzlich die Fähigkeit, buchstäblich unendliche Information zu transportieren. Unser Universum ist jedoch endlich. Es begann nach heutiger

Kenntnis vor circa 13,8 Milliarden Jahren mit dem Urknall. Und nach unserem Verständnis, dass Raum und Zeit physikalisch lediglich als kombinierte Einheit, das heißt als Raum-Zeit, aufgefasst werden können, muss endliche Zeit auch mit endlichem Raum übereinstimmen.

Ein endliches Universum kann nur endliche Information verkörpern. Aus diesem Grund muss es einen Mechanismus geben, durch den sich das im Wesentlichen unbegrenzte Potenzial der nicht-physikalischen Wellenfunktion als endlich manifestiert. Die Quantisierung mit der ihr eigenen abgesonderten Natur stellt einen solchen Mechanismus dar, der es ermöglicht, dass endliche Information innerhalb der Raum-Zeit ausgedrückt wird.

Wir sind mit der Vorstellung vertraut, dass die Einsen und Nullen von Bits die digitalen Bausteine für computergestützte Datenverarbeitung darstellen. Doch derartige Bits sind der einfachste Ausdruck, die buchstäblichen Bausteine aller endlichen Information; sie ermöglichen ihre Verarbeitung mit minimaler Energie und maximaler Stabilität. Indem man Bits kombiniert – das muss man sich ähnlich vorstellen wie den Bau eines Hauses aus Ziegelsteinen –, kann man jedes denkbare Resultat und sogar mehrere Resultate so effizient wie möglich ausdrücken.

Energie und Materie unseres Universums sind im Wesentlichen quantifiziert, weil Information digitalisiert und somit quantifiziert ist, und Information wiederum ist quantifiziert, weil es das effizienteste Mittel für ihre Kommunikation darstellt.

REALISIERUNG

Vom Gesichtspunkt der Information aus betrachtet, können wir demnach viel besser einschätzen, wie der Welle-Teilchen-Dualismus es ermöglicht, Energie und Materie in der einen oder anderen Form wahrzunehmen. Der entscheidende Punkt dabei ist, wie der eindeutige Zustand der Entität beobachtet und gemessen werden kann – mit anderen Worten, *wie* man an die Information darüber gelangen kann. Im Wesentlichen leitet sich die Realisierung vom Informationsaustausch zwischen der Entität und ihrer Umgebung ab. Bis zu diesem Moment beschreibt die Schrödinger-Gleichung die sich entwickelnden Wahrscheinlichkeiten und Möglichkeiten beider Aspekte ihrer Welle-Teilchen-Natur.

Dieses Verständnis, wie Realisierung zustande kommt, wurde in den zurückliegenden Jahren mit immer ausgeklügelteren Mitteln überprüft. Eine vorläufige Schlüsselfrage wurde 2012 in einer bahnbrechenden Abhandlung beantwortet, in der die Ergebnisse des sogenannten Delayed-Choice-Quantum-Eraser-Experiments vorgestellt wurden. Zielsetzung dieses Experiments war die Lösung der Frage, ob sich Quantenentitäten abhängig von den jeweiligen Zuständen entweder als Welle oder als Teilchen verhalten oder *ob sie immer beides sind, bis man sie misst*, und ob sie dann je nach Art der Messmethode in die eine oder die andere Form schlüpfen.

Zum ersten Mal konnte das Forscherteam einen Messvorgang realisieren, der ein hohes Maß an nichtlokalem Verhalten einschloss und Photonen dazu befähigte, gleichzeitig in einem Wellen- und in einem Teilchenzustand zu existieren, wie der Hauptautor der Abhandlung, Alberto Peruzzo von der Universität Bristol in Großbritannien, bestätigte.⁶ Ihre nichtlokale Verschränkung versetzte die