

Janick P. Mischler

**Einstein, Quantenspek
und die
Weltformel**

Über das Vermächtnis
Albert Einsteins und
die Fortsetzung im 21. Jahrhundert

Über die spannenden
Geheimnisse
unseres Universums

Über die Schönheit dieser
rätselhaften Welt

**Moderne Physik einfach
und unterhaltsam
erklärt.**

Einstein, Quantenspek und die Weltformel

www.einsteinswelt.ch
info@einsteinswelt.ch

Bestellen Sie jetzt das komplette Buch
mit 304 Seiten für **nur** CHF 24.90 inkl. Versand!

Gewidmet
Knieli, Marietta, Josi.

Meiner Mutter zum 50-igsten,
meinem Vater zum 55-igsten,
und Pune einfach so.

Inhalt

1	Einleitung	6
1.1	Die Pioniere der Zukunft	9
1.2	Die Gesetze des Kosmos.....	16
1.3	Der Untergang des Äthers.....	21
2	Einstein und die Relativitätstheorie	25
2.1	Die spezielle Relativitätstheorie	27
2.1.1	Die Einstein Postulate.....	31
2.1.2	Rotwein, Züge und die Pizza-Wette	38
2.1.3	Dauert eine Sekunde immer eine Sekunde?.....	43
2.1.4	Misst ein Meter immer einen Meter?	48
2.1.5	Das Garagen-Paradoxon.....	53
2.1.6	Von Zombies, Schaffner und der Gleichzeitigkeit.....	57
2.1.7	Meteoriten, Astronauten und die Masse	60
2.1.8	Einsteins Formel „ $E = mc^2$ “	63
2.2	Die Allgemeine Relativitätstheorie	68
2.2.1	Die gekrümmte Raumzeit in vier Dimensionen	70
2.2.2	Der Lauf der Zeit und die Gravitation.....	80
2.2.3	Die Schatten der Gravitation	86
2.2.4	Die Grenzen des Universums.....	95
2.2.5	Flucht aus dem Universum	106
2.2.6	Die Einstein-Rosen-Brücke.....	113
2.2.7	Zeitreisen und die vierte Dimension	119
2.2.8	Tachyonen und die Vergangenheit.....	137
2.2.9	Gödels Formel: Die Zeit am Ende des Universums.....	144
2.2.10	Das Schwarze Loch	148
2.2.11	Antigravitation und dunkle Energie.....	163
3	Quantenspuk	171
3.1	Quantisierung von Licht, Raum und Zeit.....	173
3.2	Die unheimliche Welt der Quanten	182
3.3	Einstein, Schrödinger und die halbtote Katze.....	193
3.4	Die Kopenhagener Deutung.....	204

3.5	Der Tunneleffekt	209
3.6	Die spukhafte Fernwirkung.....	217
3.7	Der Quantenspek im Vakuum	222
3.8	Die Antimaterie.....	227
3.9	Das Antimaterie-Zeitalter.....	242
3.10	Der absolute Nullpunkt	247
3.11	Das Higgs-Teilchen	257
4	Die Weltformel.....	265
4.1	Die Suche nach dem Bauplan	265
4.2	Die Stringtheorie.....	272
4.3	Strings – Die kleinsten Bausteine der Materie.....	277
5	Ausblick ins 3. Jahrtausend.....	281
5.1	Das 22. Jahrhundert.....	281
5.2	Was ist, wenn... ..	285
5.3	Was war vor dem Urknall?	288
5.4	Alles nur Zufall?	289
5.5	Die Jahrhundert-Rätsel der Physik.....	294
5.5.1	Die 18 Unbekannten	294
5.5.2	Das Mysterium der Gravitation.....	295
5.5.3	Warum ein Materie-Universum?.....	296
5.5.4	Woher kommt die Masse?	296
5.5.5	Wie viele Dimensionen gibt es?.....	297
5.5.6	Gibt es andere Universen?.....	298
5.5.7	Gibt es dunkle Energie?.....	298
5.5.8	Was passiert im Schwarzen Loch?	299
5.5.9	Woher kommt das Leben?	299
5.5.10	Mysterien der Quantenphysik	300
5.5.11	Wird Mathematik entdeckt oder erfunden?.....	300
5.5.12	Was kommt als nächstes?	302
	Anhang A: Abbildungsverzeichnis.....	303

1 Einleitung

Es gibt eine geheime Welt der Wissenschaft, in die nur wenige Menschen eingeweiht sind. Eine Wissenschaft, die entdeckt hat, wie die Natur tickt, wie unsere Welt im Innersten beschaffen ist. Eine Wissenschaft, die unser Weltbild über den Haufen wirft, aber so real ist wie Sie und ich. Ich spreche von der modernen Physik, der Wissenschaft, die von genialen Forschern wie Albert Einstein vor über hundert Jahren entdeckt worden ist. Und unsere Weltanschauung für immer verändert hat. Doch noch heute ahnt kaum jemand, der nicht gerade Physik studiert hat, wie erstaunlich und seltsam die Natur jenseits unserer Intuition beschaffen ist. Oder hätten Sie gewusst, dass die Newtonschen Formeln, die heute an den Schulen gelehrt werden, genau genommen falsch sind? Oder dass die Zeit auf der Erde langsamer vergeht als auf dem Mond? Oder dass unser Universum aus mindestens vier Dimensionen besteht? Oder dass Zeitreisen kein Hirngespinnst sind?

In der modernen Physik verbirgt sich der Schlüssel zu spektakulären Technologien, die den Kreativitätsgeist der besten Science Fiction Autoren übersteigen. Technologien, die an renommierten Universitäten und Forschungsstätten erforscht und entwickelt werden. Die Palette reicht von Antimaterie über Quantencomputer bis hin zu futuristisch anmutenden Zeitmaschinen und Paralleluniversen.

Zeitmaschinen? Paralleluniversen?

Sie haben richtig gelesen! Wenn Sie jetzt denken, der Autor muss mindestens so verrückt sein wie der Verlag, der so etwas veröffentlicht, ergoht es Ihnen genauso wie mir – vor fünfzehn Jahren. Aber

ich kann Ihnen zwei Dinge versichern:

Die letzten hundert Jahre der Forschung haben unsere Weltanschauung auf den Kopf gestellt. Nichts ist mehr, wie es vor Einstein und Konsorte einmal war. Mit Ausnahme der Tatsache, dass auch im Jahr 2011 nur die wenigsten Menschen wissen, wie seltsam unsere Welt im Kleinen und Grossen eigentlich beschaffen ist.

Zweitens – und das ist vielleicht die erstaunlichste Erkenntnis überhaupt, die man auf der zweiten Seite eines Buchs über moderne Physik machen kann – alle diese Technologien und Phänomene sind so real wie Sie und ich. Ich denke, also bin ich. Die besten Forscher und Wissenschaftler arbeiten daran, das neu erlangte Grundlagenwissen aus Relativitätstheorie und Quantenphysik in praktische Anwendungen umzusetzen. Oder bemühen sich zu erklären, warum alles, was sich schneller als das Licht bewegt, in die Vergangenheit verschwindet. Oder warum der Ausgang eines Experiments im Mikrokosmos davon abhängt, ob jemand zuschaut oder nicht.

Ich könnte Ihnen jetzt zwanzig Beispiele aufzählen und damit schon auf der dritten Seite dieses Buchs einen Grossteil Ihrer Weltanschauung über den Haufen werfen. Die Relativitätstheorie und die Quantenphysik sind aber nur der erste Schritt hin zu einer ganz neuen Vorstellung, wie das Universum funktioniert und tickt. Diese beiden revolutionären Theorien führen weiter zur Weltformel, einer einzigen Theorie, aus der sich alle Naturgesetze herleiten lassen.

Dabei geht es nicht primär um neue Technologien, sondern vielmehr um ein komplett neues Verständnis des Universums, der Natur und der Welt. So werden Sie mir sicherlich zustimmen, wenn

ich sage, dass jeder Mensch jedes Jahr um ein Jahr älter wird. Wenn nicht geistig, dann immerhin physisch. Dieses Ereignis wird gerne feuchtfröhlich gefeiert, mit Kuchen, Geschenken und allerhand Geselligkeit. Ebenso werden Sie sicherlich einwilligen, dass es egal ist, ob der Mensch das Jahr in den USA, Europa oder in einer Raumstation auf dem Mond verbringt. Schliesslich vergeht die Zeit überall und für alle gleich schnell – auch wenn sich Arbeitstage gefühlt mindestens doppelt so lange hinziehen wie das Wochenende oder Ferien. Wenn ich Ihnen jetzt noch erzähle, dass ich mein Haus jeweils nicht durch die Wand, wohl aber durch Türe oder Fenster verlasse, werden Sie zustimmend nicken – oder sich fragen, ob hier banale Lebensweisheiten als Seitenfüller bemüht werden.

Bis Albert Einstein mit der Relativitätstheorie die Grundfeste der Physik erschütterte, hätte kein vernünftiger Mensch auch nur einen Gedanken darauf verschwendet, irgendeine der Behauptungen ernsthaft zu hinterfragen. Tatsächlich müssen Sie sich mit dem Gedanken anfreunden, dass es ganz schön naiv wäre, diesen drei Behauptungen zuzustimmen. Keine davon ist wahr. Egal, wie wir es drehen und wenden. Unsere Wahrnehmung der Realität trägt die rosarote Brille eines frisch verliebten Paares. Setzen wir stattdessen die Lesebrille auf und wagen uns vor ins erste Kapitel des Weltenplans, des ununiversellen Drehbuchs der Dinge. Hin zu den fantastischen, geheimnisvollen und seltsamen Entdeckungen, die diese Welt für uns bereithält.

Es ist Zeit, die Augen zu öffnen.

Die Welt ist weitaus komplexer, als uns dies die Wissenschaft unserer Urgrossväter jemals hat denken gelernt. Wenn Sie jetzt denken, dass es da draussen nicht so viel Unbekanntes geben kann mit

Ausnahme sensationslüsterner Autoren, ergeht es Ihnen nicht anders als der Wissenschaft am Ende des 19. Jahrhunderts. Schon damals irrte man sich gewaltig. Die Welt, die wir im Alltag wahrnehmen, ist nur eine Erscheinung, eine Vereinfachung der Wirklichkeit. Es ist, als wären unsere Sinne mit einem Schleier bedeckt. Doch die Welt hinter diesem Schleier ist gewaltig und unvorstellbar anders. Erinnern Sie sich nur einmal an den Sternenhimmel einer klaren Sommernacht, mit unglaublich vielen klitzekleinen, hell leuchtenden Punkten, die das Firmament prägen. Ein Highlight für jeden romantischen Abend. Und eine Zeitreise in uralte Epochen. Das Licht der Sterne, die so ungreifbar weit scheinen, ist über Jahrmillionen und Jahrmilliarden gereist, bis es die Erde erreicht hat. All die Sternbilder und Formationen entstammen tief aus der Vergangenheit. Niemand weiss, was im fernen Universum in genau diesem Moment vor sich geht. Kein Astronom. Kein Teleskop. Keine Weltraumsonde. Der Sternenhimmel ist nur eine Illusion der Wirklichkeit, ein Blick in die Vergangenheit, ein Zeugnis einer möglicherweise längst vergangenen Welt. Niemand weiss, ob die Sterne heute überhaupt noch existieren.

Und das ist erst der Anfang einer atemberaubenden Reise in die Welt dieser Welt. In eine Welt, die bisher kaum jemand kennt. In eine Welt, die niemand versteht. Aber lesen Sie selbst...

Drehen wir die Zeit zurück, denn alles begann vor über dreihundert Jahren in England.

1.1 Die Pioniere der Zukunft

Der 5. Juli 1687 sollte in die Geschichte eingehen als der Tag, an dem Isaac Newton die Welt veränderte. Es war der Tag, an dem er

den fallenden Apfel vom Vorwurf launischer Willkür befreite und ihn und alle Materie den Gesetzmässigkeiten der Natur unterstellte. Es war der Tag, an dem er seine „Principia Mathematica“ veröffentlichte. Ein dreiteiliges Werk, in dem er unter anderem die mathematischen Gesetze für die Bewegung und Gravitation¹ formulierte. Damit zerstörte er die vorherrschende Lehrmeinung, wonach sich die Naturgesetze auf der Erde und im Himmel unterscheiden, indem er die Forschungen von Galileo Galilei zur Beschleunigung und die Keplerschen Gesetze zur Planetenbewegung in einer Theorie der Gravitation vereinheitlichte. Newton verfasste Bewegungs- und Gravitationsgesetze, die die Grundlage der klassischen Mechanik bilden. Er entdeckte die Gravitation als Ursache der Planetenbewegungen und leistete wichtige Beiträge zur Optik. Er war zudem ein brillanter Mathematiker und Mitbegründer der Infinitesimalrechnung. Newton gilt als einer der einflussreichsten und bedeutendsten Wissenschaftler aller Zeiten. Seine Forschungen führten zur Einsicht universeller Naturgesetze und damit zur Erkenntnis, dass alle Dinge im Universum denselben Prinzipien gehorchen.

Einen grossen Teil seines Lebens widmete Newton der Frage nach dem Wesen von Raum und Zeit und unserer Herkunft. Newton verstand das Universum als ein gigantisches Uhrwerk, das durch die Zeit Ordnung in das ansonsten wirre Geschehen bringen sollte. Er betrachtete die Zeit als Hüter der Dinge, verantwortlich dafür, dass alle Geschehnisse ihren vorherbestimmten Lauf nehmen. Das Haus hat erst zu brennen, nachdem der Blitz ins Dach geschlagen hat.

¹ Gravitation = Anziehungskraft = Schwerkraft (die Begriffe werden als Synonyme verwendet und bezeichnen anschaulich gesprochen die Kraft, die uns auf der Erde hält)

Der englische Philosoph und Physiker betrachtete das Schicksal als vorherbestimmt. Er war überzeugt, dass die Zeit unaufhaltsam voranschreitet und die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in einer Linie ablaufen und damit unabänderlich sind. Er prägte dem zeitgenössischen Verstand ein absolutes Weltbild ein. Ein Weltbild, das sich gegen den freien Willen sträubt und den Menschen als hilfloses Floss auf dem strömenden Fluss der Zeit treiben sieht. Newtons Theorien manifestierten die Säulen der Weisheit auf dem Manifest unfreien Willens. Newton vertrat vor über 300 Jahren ein Weltbild, wie es die meisten unserer Mitmenschen heute noch vertreten. Doch es standen unruhige Zeiten bevor.

Als die ersten Schloten der Fabriken die Luft mit Russ und Rauch verpesteten, betraten die Pioniere einer fundamentalen Revolution die Bühne der Welt. In der Industrialisierung wurden sie geboren. Doch viel weitreichender sollte ihr Erbe dereinst sein.

Sie waren gekommen, um uralte Weisheiten und über Generationen verfochtene Wahrheiten über Bord zu werfen. Sie schlossen mit verstaubten Selbstverständlichkeiten. Sie zerstörten das Weltbild der berechenbaren Natur, dem Uhrwerk, das in absoluter Gleichmässigkeit einem ununiversellen Takt folgt. Sie veränderten mit ihrem Lebenswerk die Welt. Denn diese Pioniere hatten etwas entdeckt. Eine neue Vorstellung von Raum und Zeit. Eine neue Realität. Neue Dimensionen, die das Vermächtnis Newtons relativierten. In den alten Wissenschaftsbüchern schlummerte ein gut gehütetes Geheimnis. Ein Geheimnis, dessen Schleier erst gelüftet werden sollte, als Einstein, Planck, Maxwell und Konsorte auf den Plan gerufen wurden.

Was über 200 Jahre niemand wusste: Die Formeln der Newtonme-

chanik, die heute an Schulen in aller Welt gelehrt werden, sind im Grunde genommen falsch. Die Formeln also, mit denen Satelliten in eine stabile Erdumlaufbahn, Menschen auf den Mond oder unbemannte Sonden weit über das Sonnensystem hinaus gebracht worden sind. Diese Formeln sind es auch, mit denen Ihnen die Polizei Ihre Fahrgeschwindigkeit vorrechnet, Fallschirmspringer den Zeitpunkt der Fallschirmöffnung planen oder die Flugbahn einer Langstreckenrakete berechnet wird.

Basiert also die halbe technische Welt auf Formeln, die falsch sind? Und wenn ja, warum wird davon in Schulen und Ausbildungen kaum jemals ein Wort erwähnt? Und warum fallen Satelliten dann nicht vom Himmel?

Die erste Frage lässt sich mit zwei Buchstaben beantworten.

Die zweite Frage rührt daher, dass, obwohl diese Falschheit bereits vor fast einem Jahrhundert erkannt worden ist, nur die wenigsten Menschen jemals davon gehört haben. Auch Lehrer sind Menschen.

Das mag viele Gründe haben. Die Komplexität der Materie ist sicherlich ein begünstigendes Element. Zu beweisen, dass Newtons Formeln eigentlich falsch sind, ist sehr schwierig. Noch schwieriger als Newtons Formeln es selbst schon sind. Entscheidender ist jedoch, dass die Formeln der Newtonmechanik im Alltag sehr gute Ergebnisse liefern und damit zumindest praktisch betrachtet nicht kreuzfalsch sind. Physiker sprechen in dieser Hinsicht gerne von einer Approximation, einer Annäherung an die Realität. Wenn Sie in eine Polizeikontrolle geraten und den freundlichen Polizisten erklären, dass sie nur ein Glas getrunken hätten, und dabei an die

gute Flasche Rotwein denken, die neben den drei leeren Flaschen steht, ist das auch nicht kreuzfalsch. Der legendäre Fall des Apfels lässt sich mit den Newtonformeln nämlich genauso präzise beschreiben wie die Geschwindigkeit eines Flugzeugs. Fahren Sie mit Ihrem Auto zu schnell über die Landstrasse, reicht die Genauigkeit ebenfalls aus, um Ihre Geschwindigkeit sehr präzise zu berechnen. Das Ergebnis entspricht aber nie exakt der Wirklichkeit. Die Abweichung ist in diesem Geschwindigkeitsbereich aber sehr klein und daher ohnehin kaum messbar. Aus diesem Grund bleibt der Satellit auch in seiner Umlaufbahn und die Sonden erreichen Planeten und Monde zuverlässig. Dennoch darf der Fehler keinesfalls vernachlässigt werden, will man verhindern, dass der technologische Fortschritt an diesem Punkt endet. Die Auswirkungen der Abweichung zwischen den Newtonformeln und der Realität zeigen sich in anderen alltäglich gewordenen Anwendungen nämlich überraschend schnell.

Hätte Albert Einstein die Relativitätstheorie nicht entdeckt (und auch niemand anderes), könnten Sie dem Taxichauffeur keinen Vorwurf machen, wenn er sich im Strassendickicht der Stadt verfährt. Bereits bei GPS-Navigationssystemen reicht die Newtonmechanik nämlich nicht mehr aus, um sicher und genau durch die Strassen (und nicht in einen Pfosten oder eine Strassenlaterne) geleitet zu werden. GPS-Satelliten bestimmen Ihre Position, in dem Sie aus zeitlich versetzten Signalen Ihren Aufenthaltsort errechnen. Im GPS-Satelliten und im GPS-Gerät in Ihrem Auto befinden sich sehr präzise Uhren. Diese Uhren sind synchronisiert, das heisst aufeinander abgestimmt. Sie sollten daher eigentlich die gleiche Zeit anzeigen. Die Satelliten ziehen ihre Umlaufbahn im Orbit in einer Höhe von rund 23'000 Kilometern. Dort vergeht die Zeit seltsa-

merweise schneller als auf der Erde. Ein Effekt, der in der Relativitätstheorie entdeckt, erklärt und seither in zahlreichen Experimenten bestätigt worden ist. Wenn bis zur Erfindung der GPS-Navigation also niemand die Relativitätstheorie entdeckt hätte, würde das GPS nach einer Fahrzeit von ungefähr einer Stunde Ihre Position um rund einen Kilometer verfehlen. Denkbar also, dass Ihnen die freundliche Damenstimme erklärt, dass Sie das Fussballstadion erreicht haben, Ihr Auto aber irgendwo in einem Strassen-graben parkt.

Newtons Formeln sind zweifellos brillant und eine epochale Er-rungenschaft. Sie markierten im 17. Jahrhundert einen gewaltigen Wissenssprung und die Grundlage der klassischen Physik. Erstmals konnte die Natur mathematisch ziemlich umfassend beschrieben werden. Das Gravitationsgesetz beispielsweise liess sich auf fallende Äpfel ebenso praktisch anwenden wie zur Berechnung der Plane-ten- oder Sternenumlaufbahnen. Und auch im 21. Jahrhundert ba-sieren viele technische Anwendungen und Konstruktionen auf die-ser Mechanik. Doch diese Formeln sind eben nur das, was auch viele andere Formeln unserer Tage sein dürften². Eine Annäherung an die Realität. Eine Vereinfachung der Wirklichkeit, die im Alltag nicht entdeckt, vielleicht nicht einmal vermutet wird. Mit dem Fortschritt der Technik über Jahrzehnte und Jahrhunderte wird diese Differenz zwischen der Wirklichkeit und der Formel aber plötzlich bedeutsam. Zu Lebzeiten Newtons wäre niemand im Stande gewesen, ein Experiment durchzuführen, das den Formeln eine Ungenauigkeit nachgewiesen hätte. Tatsächlich reicht die Ge-nauigkeit aber bereits bei GPS-Satelliten zur Berechnung von Posi-

² ... und wir unter Umständen noch nicht einmal ahnen.

tionsangaben nicht mehr aus. Newtons Formeln sind längst nicht das einzige Regelwerk der Physik, das in einer unvorstellbar umfassenderen Theorie münden sollte. Der Anbruch des zwanzigsten Jahrhunderts markierte vielmehr den Startschuss nachhaltiger Veränderungen, die alles übertreffen sollten, was die Menschheit in den letzten fünfhundert Jahren über die Beschaffenheit der Welt erfahren und entdeckt hatte. Es sollte zur Gewissheit werden, dass zur Erklärung der Natur andere Dimensionen beschritten werden müssen, die unserem Alltag kaum zugänglich sind. Um unsere Welt dereinst wirklich zu verstehen, müssen wir in Sphären vordringen, die uns fremd sind. Fremd in ihrem Sein. Fremd in ihrem Wesen. Fremd in ihren Prinzipien. In den letzten 150 Jahren hat sich viel verändert in vielerlei Hinsicht. Die engen Fesseln des unsichtbaren Truges wurden gesprengt. Das zementierte Wissen ganzer Generationen erschüttert. Das Floss gewendet. Der Strom verlor seine Macht. Eine neue Wissenschaft eröffnete plötzlich Tore und Wege in eine Gegenwart, die jenseits jeder früheren Epoche zu liegen kommen sollte. Das Getriebe einer gewaltigen Veränderung hatte sich in Gang gesetzt. Das Wesen des Menschen, seiner Existenz, seiner Möglichkeiten und seiner Berufung sollte sich entscheidend verändern. Neue Dimensionen das Weltbild erschliessen.

Das Ende des 19. Jahrhunderts läutete den Untergang der klassischen Physik ein. Die Quanten- und Relativitätstheorien stürmten ins Rampenlicht. Sie verdrängten die starren Ansichten Newtons. Sie befreiten das Wesen der Zeit und entfesselten den freien Willen aus dem ununiversellen Diktat. Sie eröffneten den Weg in eine unglaubliche Zukunft mit Technologien und Erkenntnissen, die noch mit der Etablierung der Eisenbahn als vollkommen undenkbar gegolten hätten.

Tauchen Sie ein in die faszinierenden Geheimnisse unserer Welt. Populäre Begriffe wie Antimaterie, Raumzeit, Zeitreisen, Weltformel, Relativitätstheorie oder Quantenmechanik erfahren nach diesem Buch eine ganz neue, greifbare und wirklichkeitsnahe Bedeutung. Denn die moderne Physik bringt uns nicht nur eine Fülle neuer Technologien, sondern ein komplett neues Verständnis der Welt, ein neues Weltbild. Alleine die Tatsache, dass der Ausgang eines Experiments davon abhängt, ob jemand zuschaut oder nicht, oder dass der Mikrokosmos auf Wahrscheinlichkeiten basiert, liefert genug Zündstoff, um unser Weltbild nachhaltig zu zertrümmern.

1.2 Die Gesetze des Kosmos

Das Wasser im See, die Blume im Garten, das Benzin an der Tankstelle und natürlich auch die Zapfsäule – all diese Dinge und jede uns bekannte Materie besteht aus winzig kleinen Teilchen, so genannten Atomen. Ein einzelnes Staubkorn besteht aus Milliarden Atomen. Jedes Atom setzt sich zusammen aus noch kleineren Teilchen, nämlich den Elektronen, Neutronen und Protonen, den so genannten Elementarteilchen. Diese Elementarteilchen kann man sich beispielhaft als winzig kleine Kugeln vorstellen. Elektronen sind negativ geladene Elementarteilchen, die vereinfacht dargestellt in einer Art Schale um den Kern des Atoms kreisen und damit dessen Hülle bilden. Etwa ähnlich wie die Erde und die anderen Planeten des Sonnensystems um die Sonne kreisen. Der Kern des Atoms, der Atomkern, besteht aus den Protonen, positiv geladenen Teilchen, und Neutronen, die ungeladen (neutral) sind. Wir bezeichnen Elektronen, Protonen und Neutronen als Elementarteilchen. Tatsächlich bilden diese Teilchen nicht den fundamentalen

Baustein der Materie. Es gibt nämlich noch kleinere Elemente, die Quarks. Jedes unserer Elementarteilchen besteht also wiederum aus noch kleineren Teilchen³. Quarks sind in vielerlei Hinsicht ziemlich seltsame Teilchen. So konnte man zwar beweisen, dass die Elementarteilchen aus verschiedenen Quarks bestehen. Es scheint aber, als wenn Quarks ausserhalb von Elementarteilchen nicht existieren würden. Auf die Analogie mit dem Sonnensystem übertragen, bedeutet das etwa, dass die Erde aus Felsbrocken und Gesteinen besteht, diese aber nicht ausserhalb unseres Planeten existieren. Es sei denn, in oder auf einem anderen Planeten. Zumindest konnten bisher keine isolierten Quarks beobachtet werden. Dem ist auch besser so. Einige Wissenschaftler befürchten, dass das so genannte „Strange-Quark“ ausserhalb von jeder Bindung extrem gefährlich ist. So könnte es Materie absorbieren und in seltsame Materie verwandeln, die wiederum andere Materie scheinbar im Nichts auflöst. Eine Art Schwarzes Loch in Teilchenform.

Vielleicht fragen Sie sich, ob die Quarks nun die kleinsten Bestandteile unserer Welt sind oder ob diese wiederum aus noch kleineren Elementen bestehen?

Ende der 60er Jahre veränderten die Amerikaner die Welt, in dem sie mit der Mondlandung den ersten Menschen auf einen fremden Himmelskörper brachten. In Vietnam tobte ein erbarmungsloser Krieg. In Woodstock formierten die Hippies zum Zenit von Sex, Drugs & Rock'n'Roll. Derweilen entdeckte der italienische Physiker

³ Genau genommen gilt dies nur für die Protonen und Neutronen, da Elektronen zu den so genannten „Leptonen“ gehören, die zusammen mit Quarks und Kraftübertragungsteilchen (Eichbosonen) die Grundbausteine der Materie formen.

Gabriel Veneziano aus einer Formel heraus die kleinsten Bausteine der Welt, die Strings. Eine Entdeckung, die die Grundlage der Weltformel werden sollte. Bereits zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts haben Forscher begonnen, eine Brücke zwischen den Mysterien der Physik zu schlagen und alle Probleme und Fragen unter dem Dach einer einzigen Theorie zu vereinen. In einer dieser Theorien – der Weltformel – bestehen die Quarks und alle Teilchen überhaupt aus noch kleineren Elementen, den Strings. Die Mathematik dieser Stringtheorie ist hoch kompliziert und die Theorie an und für sich derart fundamental, dass wir bis heute mit keinem Experiment der Welt prüfen können, ob sie stimmt. Die Weltformel hat sich zum Ziel gesetzt, was Einstein sein ganzes Leben nicht gelungen ist: Die Quanten- und Relativitätstheorie unter dem Dach einer einzigen Theorie zu vereinen. Was sich wie akademisches Geplänkel anhört, entpuppt sich als das Jahrhundertproblem der Physik. Edward Witten bezeichnete die Stringtheorie sogar als Forschungsgebiet des 22. Jahrhunderts, das rein zufällig in unsere Gegenwart gerutscht ist.

Die Quantenphysik ist einer der Eckpfeiler der modernen Physik und befasst sich mit dem Mikrokosmos und den Elementarteilchen. Hierzu gehört als Faustregel alles, was so klein ist, dass man es mit den besten Mikroskopen nicht sehen kann, sich grössenmässig also im Atombereich bewegt. Die Relativitätstheorie ist der zweite Eckpfeiler der modernen Physik und wurde massgeblich von Albert Einstein begründet. Die Relativitätstheorie beschäftigt sich mit dem Wesen von Raum, Zeit und der Gravitation, also dem Makrokosmos. Die Quanten- und Relativitätstheorie haben unser Verständnis der Natur innerhalb des vergangenen Jahrhunderts grundlegend verändert. Einsteins Relativitätstheorie besagt unter

anderem, dass es in unserem Universum vier Dimensionen gibt, die Zeit auf der Erde langsamer vergeht als auf dem Mond und Zeitreisen prinzipiell möglich sind. Die Relativitätstheorie ist vor allem bei der Untersuchung von hohen Geschwindigkeiten⁴ und Energien, Gravitationskräften oder Zeiteffekten bedeutsam. Die Quantenphysik ihrerseits verwirrt unsere Köpfe mit seltsamen Erscheinungen und Voraussagen, die sich mit konservativem Gedankengut oder gar der Intuition nicht erklären lassen. So hängt das Ergebnis eines Experiments davon ab, ob jemand zuschaut oder nicht. Teilchen fliegen durch unpassierbare Mauern, Katzen sind gleichzeitig tot und lebendig und als ob das nicht schon genug wäre, umschiffen Quanten die Lichtgeschwindigkeit und kommunizieren in Echtzeit über eine unbekannt Verbindung im Universum. Stellen Sie sich vor, Ihr Taschenrechner spuckt verschiedene Ergebnisse für die gleiche Rechnung aus, je nachdem, ob Sie ihm beim Rechnen zuschauen oder nicht. Merkwürdig, nicht wahr?

Die Natur ist wie ein Haus. Das Dach ist die Alltagserfahrung, aus der wir eine intuitive Vorstellung haben, wie unsere Welt funktioniert. Die Säulen, die das Dach stützen, sind die Relativitäts- und Quantenphysik. Hieraus beziehen Wissenschaftler ihr Wissen, um die Phänomene unserer Welt zu beschreiben und zu quantifizieren. Wenn wir aber wirklich verstehen wollen, wie die Welt funktioniert, müssen wir hinabsteigen und das Fundament erkunden, um herauszufinden, worauf die wunderbaren Mechanismen der Natur gründen. Denn die Säulen stehen nicht ohne Boden. Forscher aller Kontinente arbeiten fieberhaft an der Entdeckung des Bodens, der Vereinigung der Quanten- und Relativitätsphysik in einer überge-

⁴ Hohe Geschwindigkeiten sind in diesem Zusammenhang Geschwindigkeiten, die im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit hoch sind.

ordneten Theorie, einer Art alles vereinenden Weltformel. Sie sind überzeugt, die beiden Eckpfeiler der modernen Physik dereinst unter einem Dach zusammenfassen zu können. So, wie es in der Vergangenheit mit der Elektrizität und dem Magnetismus geschehen ist. Aus einer solchen Weltformel könnten alle Naturgesetze hergeleitet werden. Gesetze, die auf dem Territorium der Relativitätstheorie ebenso gelten wie in der Welt des Kleinen, der Quantenphysik. Bisher scheiterten die angesehensten Wissenschaftler an der schwierigen Aufgabe, eine Theorie zu finden, die zur Beschreibung von Sternen, Planeten und Schwarzen Löchern ebenso gilt wie für kleine Elementarteilchen. Auch Albert Einstein biss sich daran die Zähne aus. Denn im Mikro- und Makrokosmos scheinen unterschiedliche Gesetze zu regieren, die auf eine noch viel komplexere Beschaffenheit unseres Universums hindeuten als bisher angenommen wurde. So sind die uns bekannten drei Raumdimensionen nur ein kleiner Teil einer hyperdimensionalen Welt, in der wir leben. Und diese Erkenntnis ist erst der Anfang einer langen Forschungsreise in die Tiefen des nächsten Jahrtausends. Ein Kandidat einer fundamentalen Weltentheorie, die die Quantenphysik und Relativitätstheorie vereint, wird an den verschiedensten Universitäten gerade entdeckt. Sie könnte den Bauplan unserer Existenz, aller Universen und Dimensionen liefern. Aus einer solchen „Theory of Everything“ heraus könnte jede Eigenschaft des Universums rekonstruiert werden. Dadurch wäre es möglich, die Welt, die Natur und ihre Kräfte in ihrer umfassenden Beschaffenheit zu erkennen und verstehen zu lernen. Das grösste aller Geheimnisse bleibt der Menschheit aber auch in der Weltformel verborgen.

Doch alles der Reihe nach. Noch sind wir weit davon entfernt, der Natur ihr zweitgrösstes Geheimnis zu entlocken. Die Reise hat

schliesslich gerade erst begonnen. Blenden wir nochmals etwas zurück und erfahren wir, wie es dazu kommen konnte, dass die Newtonschen Naturgesetze, die wir noch heute an der Schule lernen, genau genommen falsch sind.

1.3 Der Untergang des Äthers

Isaac Newton verstand das Universum als ein riesiges Uhrwerk. Seine Geschichte folgt einem unabänderlichen und vorherbestimmten Lauf. Wie das Pendel einer Standuhr, das unentwegt von einer in die andere Richtung schwingt, ist das Universum im Lauf der Zeit gefangen. Die Zeit wahrt die Ordnung der Dinge. Sie verläuft für jeden überall und immer gleich. Eine Minute dauert immer eine Minute. Egal ob Sie auf Ihrem Sofa sitzen und ein gutes Buch lesen oder in Ihrem Garten rebellierendes Unkraut bekämpfen. Wahrscheinlich empfinden Sie das Lesen als die angenehmere Beschäftigung und haben dabei das Gefühl, die Zeit vergeht wie im Fluge⁵. Tatsächlich ist die Zeit gleichermassen fortgeschritten, egal ob Sie nun eine Stunde gelesen oder gejätet haben. Isaac Newton betrachtete den Raum und die Zeit als absolut und universell. Raum und Zeit sind überall und für jeden gleich. Seine Ansichten prägten das Weltbild und schweissten den zeitgenössischen Verstand in ein strukturiertes und konstantes Universum, das von berechenbaren Naturgesetzen zusammen gehalten wird.

Die Französische Revolution frass ihre eigenen Kinder, Napoleon eroberte Europa und landete auf Elba, ein Vulkanausbruch in In-

⁵ Die Zeit vergeht in einem Flugzeug tatsächlich schneller als auf der Erde, wie wir in den Kapiteln zur Relativitätstheorie sehen werden.

donesien brachte eine Eiszeit in den Sommer, Karl Marx mobilisierte zur Überwindung des Kapitalismus, der Vatikan beendete die Inquisition, Eisenbahnen und Fabriken erschlossen die Länder, die Schweizer bauten den Gotthardtunnel und die Pariser setzten den Spatenstich zur „tragischen Strassenlaterne“, wie wenig begeisterte Künstler den Eiffelturm später nannten. Dann kam das Jahr, in dem die Physik zu ihrem letzten Experiment ansetzte. Dem Experiment, das die letzten Fragen klären und diese Wissenschaft damit vervollständigen sollte. Im Juli 1887 versuchten Michelson und Morley in einem der bedeutendsten Experimente der Geschichte die damals vorherrschende Äthertheorie zu beweisen. Demnach kann sich Licht nur im Lichtäther ausbreiten – einer unsichtbaren Substanz, die den Raum ausfüllt. Ähnlich wie sich Schwallwellen nur in einem Medium, beispielsweise in der Luft, ausbreiten können. Auf dem Mond können Sie schreien so laut Sie wollen. Es wird Sie niemand hören. Auch nicht der Astronaut, der direkt neben Ihnen steht. Der Mond hat keine Atmosphäre und daher auch keine Luft, die die Schallwellen transportieren könnte. Astronauten können daher nur über Funk miteinander sprechen. Die Idee des Michelson-Morley-Experiments bestand darin, die Geschwindigkeit zu messen, mit der sich die Erde durch den als ruhend angenommenen Äther bewegt. Wie bei einem Flugzeug (wobei es zu dieser Zeit natürlich noch keine Flugzeuge gab), das durch die Wolken fliegt, erwartete man, bei diesem Experiment einen Wind messen zu können. Den so genannten Ätherwind. Das Gros der Wissenschaft war überzeugt, mit diesem Experiment eine der letzten grossen Fragen der Physik schliessen zu können. Einige Professoren rieten angehenden Studenten sogar von einem Physikstudium ab,

da „in dieser Wissenschaft fast alles erforscht sei und es gelte, nur noch einige unbedeutende Lücken zu schliessen“⁶. Kaum einer zweifelte ernsthaft an der Äthertheorie und wenn doch, dann höchstens heimlich, um nicht Ruf und Ansehen zu riskieren. Doch es kam alles anders. Das Experiment von Michelson und Morley lieferte ein Nullresultat. Der Äther war unauffindbar. Die Wissenschaft suchte nach Erklärungen, um die Äthertheorie doch noch zu retten. Getreu dem Motto: Diese Schlacht ist zwar verloren, aber noch lange nicht der Krieg. Denn einerseits war das Experiment sehr kompliziert und besonders störungsanfällig auf kleinste äussere Einflüsse. Der Verkehr im Umkreis der Versuchseinrichtung wurde kurzzeitig sogar stillgelegt, um Vibrationen und andere störende Einwirkungen zu vermeiden. Andererseits kursierten zahlreiche Alternativtheorien, beispielsweise dass der Äther komplett mit der Erde mitgeführt werde und deshalb natürlich kein Ätherwind messbar sei (da sich in diesem Fall die Erde und der Äther gleich schnell bewegten). Doch der Untergang der alten Wissenschaften und Ansichten war unvermeidlich. Die zarten Blüten der Forschung, die den Gärten Newtons entsprangen, waren ein Kaktus im Park der neuen Welt. Aber die bedeutsamsten Zeitgenossen mussten sich darauf setzen, um seine Gestalt zu errahnen. Kein Mensch hätte Stacheln vermutet, wo doch nur Blüten gedeihen konnten. Das Michelson-Morley-Experiment ging als Dammbuch in die Geschichte der Wissenschaft ein. Mit dem Experiment, das eines der letzten der Physik hätte werden sollen, wurden Türen aufgestossen zu einer vollkommen neuen Wissenschaft. Zur mo-

⁶ Der Münchner Physikprofessor Philipp von Jolly beantwortete damit die Anfrage des angehenden Studenten Max Planck nach den Perspektiven im Studienfach „Physik“. Genau dieser Max Planck war es, der mit der Quantenmechanik die Physik später vor zahlreiche bis heute unbeantwortete Fragen stellte.

dernen Physik. Die Natur ist wie sie ist. Ob es den Wissenschaftlern passt oder nicht. Keine Theorie kann etwas daran ändern. Kein kreativer Einfall ist mächtig genug, um die Regeln der Natur umzuschreiben. Das Erstaunlichste aber ist, dass die Natur jenseits der Äthertheorie sehr viel anders beschaffen ist, als sie uns im Alltag erscheint. Die Natur, die in den folgenden Jahren und Jahrzehnten entdeckt werden sollte, unterscheidet sich radikal von der Natur, die wir mit unseren Augen wahrnehmen, die wir täglich erleben. Die Natur ist einfach so wunderbar, fantastisch und geheimnisvoll, weil sie so beschaffen ist. Und nicht, weil sensationslüsterne Autoren oder kühne Wissenschaftler sie so haben möchten. Das ist vielleicht die wichtigste naturwissenschaftliche Erkenntnis des zwanzigsten Jahrhunderts.

Das Michelson-Morley-Experiment sollte als der Super-Gau der Physik des 19. Jahrhunderts in die Geschichte eingehen. Und einmal mehr eindrücklich unter Beweis stellen, wie wenig wir eigentlich von der Realität wissen. Picken wir nämlich die Behauptung auf, dass alles Wesentliche bereits erforscht sei, so müssen wir mit Blick auf den heutigen Wissensstand sagen, dass wir noch nichts wissen. Es sind so viele bedeutsame Fragen offen und zu klären. Und mit jedem neuen Vorstoss und jeder neuen Entdeckung eröffnen sich der Forschung neue, unbekannte Wege. Von einer Vervollständigung dieser Wissenschaft kann auch heute noch keine Rede sein. Der Fall des Äthers markierte einen historischen Wendepunkt in der Geschichte der Physik, der die Wissenschaft und unser Weltbild nachhaltig verändern sollte. Das Ätherexperiment machte den Weg frei für die Entdeckung und Etablierung neuer Theorien wie Einsteins Relativitätstheorie, die uns noch heute mit zahlreichen offenen und spannenden Fragen beschäftigt.