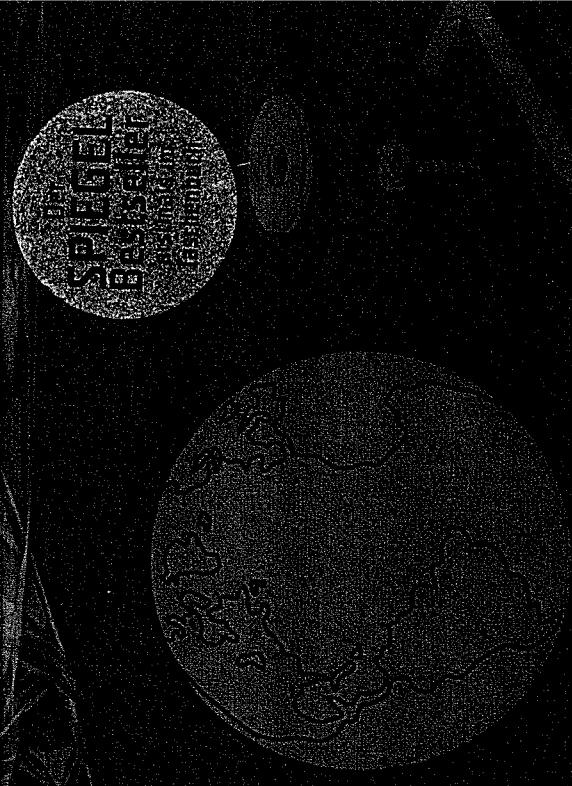


Bill Bryson

Eine kurze
Geschichte von
fast allem



GOLDMANN

1. *Bauanleitung für ein Universum*

Wir können uns noch so viel Mühe geben – niemals werden wir begreifen, wie winzig, wie räumlich bescheiden ein Proton ist. Dazu ist es einfach viel zu klein.

Ein Proton ist ein letzter Baustein eines Atoms, und auch das ist natürlich kein greifbares Gebilde. Protonen sind so klein, dass ein kleiner Fleck Druckerschwärze, beispielsweise der Punkt auf diesem *i*, ungefähr 500 000 000 000 von ihnen Platz bietet, das sind mehr als die Sekunden in einer halben Million Jahre.¹ Protonen sind also, gelinde gesagt, überaus mikroskopisch.

Nun stellen wir uns vor (was wir natürlich nicht können), eines dieser Protonen würde auf ein Milliardstel seiner normalen Größe schrumpfen und einen so kleinen Raum einnehmen, dass ein Proton daneben riesengroß wirkt. Und in diesen winzig kleinen Raum packen wir nun ungefähr 30 Gramm Materie. Ausgezeichnet. Jetzt können wir ein Universum gründen.² Natürlich gehe ich davon aus, dass wir ein inflationäres Universum bauen wollen. Wer stattdessen das altmodische Standard-Urknalluniversum bevorzugt, braucht zusätzliches Material. Dann müssen wir sogar alles zusammensammeln, was es gibt – jedes kleine Fitzelchen und Teilchen der Materie von hier bis zu den Rändern der Schöpfung – und alles in einem so unendlich kompakten Punkt zusammenpressen, dass er überhaupt keine Dimensionen hat. So etwas bezeichnet man als Singularität.

So oder so müssen wir uns auf einen richtig großen Knall vorbereiten. Dabei würden wir uns natürlich gern an einen siche-

ren Ort zurückziehen und das Schauspiel von dort aus beobachten. Leider können wir aber nirgendwo Zuflucht suchen, denn außerhalb der Singularität gibt es kein Wo. Wenn die Ausdehnung des Universums beginnt, füllt sich damit keine größere Leere. Es existiert nur ein einziger Raum: der Raum, der während des Vorganges erschaffen wird.

Sich die Singularität als eine Art schwangeren Punkt vorzustellen, der in einer dunklen, grenzenlosen Leere hängt, ist zwar eine natürliche, aber auch falsche Vorstellung. Es gibt weder Raum noch Dunkelheit. Um die Singularität herum ist nichts. Dort existiert kein Raum, den sie einnehmen könnte, kein Ort, an dem sie sich befindet. Wir können noch nicht einmal fragen, wie lange sie schon dort ist – ob sie wie eine gute Idee gerade erst ins Dasein getreten ist oder ob sie schon immer da war und in aller Ruhe auf den richtigen Augenblick gewartet hat. Die Zeit existiert nicht. Es gibt keine Vergangenheit, aus der sie hervortreten könnte.

Und so, aus dem Nichts, nimmt unser Universum seinen Anfang.

In einem einzigen blendenden Stoß, in einem Augenblick der Prachtentfaltung, der für jede Beschreibung mit Worten viel zu schnell und umfangreich ist, nimmt die Singularität himmlische Dimensionen an und wird zu einem unvorstellbar großen Raum. In der ersten, lebhaften Sekunde (und viele Kosmologen widmen ihre gesamte Berufslaufbahn dem Versuch, diese Sekunde in noch dünnerne Scheiben zu zerlegen) entstehen die Schwerkraft und die anderen beherrschenden Kräfte der Physik. Nach noch nicht einmal einer Minute hat das Universum einen Durchmesser von weit mehr als einer Million Milliarden Kilometern, und es wächst schnell. Wärme ist jetzt reichlich vorhanden, zehn Milliarden Grad, genug, damit die Kerneaktionen beginnen und leichte Elemente entstehen lassen – im wesentlichen Wasserstoff und Helium mit einem Schuss (ungefähr einem unter hundert Millionen Atomen) Lithium. Nach drei Minuten sind 98 Prozent aller Materie entstanden, die existiert oder jemals existieren wird. Wir haben ein Universum. Es ist ein Ort der erstaunlichsten und lohnendsten Möglich-

keiten, und wunderschön ist es auch. Und alles ist ungefähr in der Zeit geschehen, die man zur Zubereitung eines Sandwichs braucht.

Wann sich dieser Augenblick ereignet hat, ist noch ein wenig umstritten. Die Kosmologen haben lange darüber diskutiert, ob der Augenblick der Schöpfung sich vor zehn Milliarden Jahren abspielte, oder vor doppelt so langer Zeit, oder irgendwo dazwischen. Heute bewegt man sich offenbar auf eine Einigung bei ungefähr 13,7 Milliarden Jahren zu,³ aber die Messung solcher Dinge ist, wie wir noch sehen werden, von berüchtigter Schwierigkeit. Eigentlich kann man nur eines mit Sicherheit sagen: An irgendeinem unbekannten Punkt in der sehr weit entfernten Vergangenheit kam aus unbekannten Gründen der Augenblick, der in der Wissenschaft als $t = 0$ bezeichnet wird.⁴ Von da an waren wir unterwegs.

Natürlich wissen wir vieles noch nicht, und von dem, was wir zu wissen glauben, wussten wir vieles vor kurzem ebenfalls noch nicht, oder wir glaubten noch nicht, es zu wissen. Selbst die Vorstellung vom Urknall ist noch relativ neu. Die Idee als solche gestierte schon seit den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts herein, als der belgische Priester und Gelehrte Georges Lemaitre sie erstmals vorsichtig äußerte, aber in der Kosmologie spielt sie erst seit Mitte der sechziger Jahre eine größere Rolle. Damals machten zwei junge Radioastronomen eine außergewöhnliche, unerwartete Entdeckung.

Die beiden – sie hießen Arno Penzias und Robert Wilson – wollten 1965 mit einer großen Funkantenne arbeiten, die den Bell Laboratories gehörte und in Holmdel, New Jersey, stand. Dabei störte sie aber ein ständiges Hintergrundgeräusch – ein ununterbrochenes Zischen, das jede experimentelle Arbeit unmöglich machte. Es war ein erbarmungsloser, unbestimmter Lärm, der Tag und Nacht, zu allen Jahreszeiten, von allen Stellen des Himmels kam. Ein Jahr lang versuchten die jungen Astronomen alles, was ihnen in den Sinn kam, um die Ursachen des Geräusches ausfindig zu machen und zu beseitigen. Sie überprüften sämtliche elektrischen Geräte. Sie bauten Instrumente um, prüften Stromkreise, spielten mit Kabeln herum,

staubten Stecker ab. Sie kletterten in die Antennenschüssel und brachten Klebeband auf allen Schweißnähten und Nieten an. Sie kletterten noch einmal in die Schüssel, dieses Mal mit Beisen und Bürsten, und schrubbten alles ab, was sie in einem späteren Fachaufsatzt als »weißes dielektrisches Material« bezeichneten – normalerweise nennt man es Vogelscheiß. Aber was sie auch versuchten, es nützte nichts.⁵

Was sie nicht wussten: Nur 50 Kilometer entfernt, an der Princeton University suchte ein Wissenschaftlerteam unter Leitung von Robert Dicke genau nach dem, was die beiden mit so viel Mühe loszuwerden versuchten. Die Forscher in Princeton waren von einem Gedanken ausgegangen, den der in Russland geborene Astrophysiker George Gamow schon in den vierziger Jahren geäußert hatte: Danach musste man nur weit genug in den Weltraum blicken, dann würde man eine kosmische Hintergrundstrahlung finden, die vom Urknall übrig geblieben war. Nachdem diese Strahlung die Weiten des Universums durchquert hatte, sollte sie nach Gamows Berechnungen in Form von Mikrowellen auf die Erde treffen. In einem späteren Fachaufsatz hatte er sogar ein Instrument genannt, das sich für ihren Nachweis eignete: die Bell-Antenne im Holmdel.⁶ Leider hatten weder Penzias und Wilson noch irgendjemand aus der Arbeitsgruppe in Princeton diesen späteren Artikel gelesen.

Natürlich hatten Penzias und Wilson genau das Geräusch gehört, das Gamow postuliert hatte. Sie hatten den Rand des Universums gefunden, oder zumindest den Rand seines sichtbaren Teils, der 150 Milliarden Billionen Kilometer entfernt ist.⁷ Sie »sahen« die ersten Photonen, das älteste Licht des Universums, das allerdings über Zeit und Entfernung hinweg zu Mikrowellen geworden war, genau wie Gamow es vorausgesagt hatte. Wenn wir dies Entdeckung im richtigen Licht betrachten wollen, hilft uns ein Vergleich, den Alan Guth in seinem Buch *Die Geburt des Kosmos aus dem Nichts* anstellt: Wenn man sich den Blick in die Tiefen des Universums als Blick vom 100. Stock des Empire State Building vorstellt (wobei der 100. Stock die Gegenwart und die Straße den Augenblick des Urknalls darstellt), befanden sich die am weitesten entfernten Galaxien zur Zeit von Wilsons

und Penzias' Entdeckung ungefähr im 60. Stock, und die am weitesten entfernten Objekte überhaupt – die Quasare – lagen ungefähr in Höhe des 20. Geschosses. Mit ihrer Entdeckung erweiterten die beiden unsere Kenntnisse über das sichtbare Universum bis auf einen Zentimeter über dem Bürgersteig.⁸

Wilson und Penzias wussten immer noch nicht, woher die Geräusche kamen; sie riefen Dicke in Princeton an, beschrieben ihm ihr Problem und hofften, er würde eine Lösung vorschlagen. Dicke war sofort klar, was die beiden jungen Männer gefunden hatten. Als er den Hörer aufgelegt hatte, sagte er zu seinen Kollegen: »So Jungs, man hat uns überrundet.«

Kurz darauf erschienen im *Astrophysical Journal* zwei Artikel: In dem einen beschrieben Penzias und Wilson ihre Erfahrungen mit dem Zischen, in dem anderen erklärte Dickes Arbeitsgruppe, worum es sich dabei handelte. Obwohl Penzias und Wilson nicht nach der kosmischen Hintergrundstrahlung gesucht hatten, obwohl sie sie nicht erkannten, nachdem sie sie gefunden hatten, und obwohl sie auch ihre Eigenschaften in keinem Fachaufsatz beschrieben oder interpretiert hatten, erhielten sie 1978 den Nobelpreis für Physik. Den Wissenschaftlern in Princeton blieben nur freundliche Worte. Dazu schrieb Dennis Overbye in *Das Echo des Urknalls*, Penzias und Wilson hätten die wahre Bedeutung ihrer Entdeckung erst verstanden, als sie darüber etwas in der *New York Times* gelesen hätten.

Nebenbei bemerk't: Die Auswirkungen der kosmischen Hintergrundstrahlung hat jeder von uns schon einmal erlebt. Man braucht nur den Fernseher auf einen nicht belegten Kanal einzustellen: Das »Schneegestöber«, das man dort sieht, wird zu ungefähr einem Prozent von diesem uralten Überbleibsel des Urknalls hervorgerufen.⁹ Wer sich das nächste Mal beschwert, dass es im Fernsehen nichts zu sehen gibt, sollte daran denken, dass man immer bei der Geburt des Universums zusehen kann.

Obwohl alle vom Urknall reden, werden wir in vielen Büchern gewarnt, man solle sich darunter keine Explosion im üblichen Sinn vorstellen. Es war vielmehr eine riesige, sehr plötzliche

oder einer zehn millionstel billionstel billionstel Se
brunde.¹¹

Eine Vorstellung besagt, die Singularität sei vielleicht der Überrest eines früheren, zusammengebrochenen Universums – danach wären wir nur Teil eines ewigen Kreislaufs, in dem sich Universen ausdehnen und zusammenziehen wie der Blasebalg an einem Sauerstoffgerät. Andere führen den Urknall auf ein so genanntes »falsches Vakuum«, ein »Skalarfeld« oder eine »Vakuumenergie« zurück – in jedem Fall auf eine Qualität oder ein Etwas, das in das bestehende Nichts ein gewisses Maß an Instabilität hineinbrachte. Dass aus dem Nichts ein Etwas hervorgeht, erscheint unmöglich, aber die Tatsache, dass vorher nichts da war und jetzt ein Universum existiert, ist der Beweis, dass es möglich ist. Vielleicht ist unser Universum nur ein Teil vieler größerer Universen, von denen manche in anderen Dimensionen existieren, und vielleicht laufen ständig und überall Urknalle ab. Möglicherweise hatten Raum und Zeit auch vor dem Urknall eine völlig andere Form, die wir uns in ihrer Fremdartigkeit nicht vorstellen können, und der Urknall stellt eine Art Übergangsphase dar, in der das Universum sich von einer unbegreiflichen Form in eine andere verwandelt, die wir beinahe verstehen können. »Das sind schon fast religiöse Fragerungen«, erklärte der Kosmologe Dr. Andrei Linde aus Stanford im Jahr 2001 der *New York Times*.¹⁰

Was wir heute über die ersten Augenblicke des Universums wissen oder zu wissen glauben, geht zum größten Teil auf die »Inflationstheorie« zurück, einen Gedanken, der erstmals 1979 von einem jungen Teilchenphysiker namens Alan Guth geäußert wurde. Guth – er arbeitete damals in Stanford und ist heute am Massachusetts Institute of Technology tätig – war damals 32 und hatte nach eigenem Eingeständnis zuvor noch nicht viel zuwege gebracht.¹² Vermutlich wäre er nie auf seine großartige Idee gekommen, wenn er nicht einen Vortrag über den Urknall gehört hätte, den ausgerechnet Robert Dicke hielt. Der Vortrag weckte bei Guth das Interesse für Kosmologie und insbesondere für die Entstehung des Universums.¹³

Am Ende kam dabei die Inflationstheorie heraus. Sie besagt, das Universum habe einen kurzen Augenblick nach Anbeginn der Schöpfung eine dramatische Ausweitung erlebt. Es wurde »angeblasen« – eigentlich lief es vor sich selbst davon, und seine Größe verdoppelte sich alle 10^{-34} Sekunden.¹⁴ Die ganze Episode dürfte nicht länger als 10^{-30} Sekunden gedauert haben – eine millionstel millionstel millionstel millionstel millionstel Sekunde → aber in dieser Zeit wurde das Universum von einem

- * Ein paar Worte über wissenschaftliche Schreibweisen: Da sehr große Zahlen unmöglich zu schreiben und fast unmöglich zu lesen sind, bedient man sich einer verkürzten Form mit Zehnerpotenzen (das heißt mit Vielfachen von 10). Aus $10\,000\,000\,000$ wird beispielsweise 10^{10} , und $6\,500\,000$ wird zu $6,5 \times 10^6$. Grundlage sind ganz einfach die Vielfachen von 10 : 10×10 (oder 100) wird zu 10^2 , $10 \times 10 \times 10$ (oder $1\,000$) ist 10^3 , und immer so weiter. Die kleine hochgestellte Zahl gibt an, wie viele Nullen auf die groß geschriebene Grundzahl folgen. Negative Werte bedeuten eigentlich das Spiegelbild: Dann besagt der Exponent, wie viele Stellen rechts nach dem Dezimalkoma stehen (10^{-4} bedeutet $0,0001$). Ich finde das Prinzip zwar gut, aber es verblüfft mich dennoch immer wieder, dass jemand aus $1,4 \times 10^6$ sofort $1,4$ Milliarden Kubikkilometer herausliest, und nicht weniger wundere ich mich darüber, dass man lieber das erste als das zweite drucken lässt (insbesondere in Büchern für ein Laienpublikum – aus einem solchen stammt das Beispiel). Ich gehe davon aus, dass viele Leser mathematisch ebenso wenig bewandert sind wie ich, deshalb werde ich solche Schreibweisen sparsam verwenden; manchmal sind sie allerdings nicht zu vermeiden, schon gar nicht in einem Kanton, den von [Kontrollen](#) bedeckt ist.

Gebilde, das man in der Hand halten konnte, zu etwas mindestens 10 000 000 000 000 000 000 000 Mal Größerem.¹⁵ Die Inflationstheorie erklärt die Wellen und Wirbel, die unser Universum möglich machen. Ohne sie gäbe es keine Materiekunden und damit auch keine Sterne, sondern nur treibende Gase und immerwährende Dunkelheit.

Wenn Guths Theorie stimmt, entstand nach ungefähr einem Zehnmillionstel einer billionstel billionstel billionstel Sekunde die Schwerkraft. Nach einem weiteren lächerlich kurzen Zeitraum kamen der Elektromagnetismus sowie die starken und schwachen Kernkräfte hinzu – das Material der Physik. Einen Augenblick später folgten Schwärme von Elementarteilchen – das Material der Materie. Aus dem Nichts gab es plötzlich Schwärme von Photonen, Protonen, Elektronen, Neutronen und vieles andere – von jedem nach der Standard-Urknalltheorie etwa 10^{79} bis 10^{80} Stück.

Das sind natürlich unvorstellbare Mengen. Wir brauchen uns nur zu merken, dass nach einem einzigen entscheidenden Augenblick plötzlich ein riesiges Universum da war – es hat nach der Theorie einen Durchmesser von mindestens 100 Millionen Lichtjahren, könnte aber auch noch viel größer oder sogar unendlich groß sein. Dieses Universum bot alle Voraussetzungen für die Entstehung der Sterne, Galaxien und anderer komplizierter Systeme.¹⁶

Aus unserer Sicht ist besonders bemerkenswert, wie sich für uns alles zum Guten gewendet hat. Hätte das Universum bei seiner Entstehung nur ein kleines bisschen anders ausgesehen – wäre die Schwerkraft geringfügig stärker oder schwächer gewesen oder wäre die Ausdehnung nur ein wenig schneller oder langsamer vorstatten gegangen –, dann hätte es wahrscheinlich nie stabile Elemente gegeben, die dich und mich und die Erde, auf der wir stehen, hätten bilden können. Bei einer geringfügig stärkeren Gravitation wäre wahrscheinlich das ganze Universum wie ein schlecht aufgestelltes Zelt in sich zusammengebrochen, und ohne genau die richtigen Werte hätte es weder die richtigen Dimensionen und Bestandteile noch die richtige Dichte gehabt.

Bei einer schwächeren Gravitation dagegen hätte sich nichts zusammenfinden können, und das Universum wäre für alle Zeiten eine langweilige, gleichmäßig verteilte Leere geblieben.

Das ist einer der Gründe, warum manche Experten glauben, es habe noch viele andere Urknalle gegeben, vielleicht sogar Billionen und Abermillionen, die sich über die gewaltige Zeitspanne der Ewigkeit verteilen; dass wir gerade in diesem einen existieren, liegt demnach daran, dass es der Einzige ist, in dem wir existieren können. Edward B. Tryon von der Columbia University formulierte es einmal so: »Als Antwort auf die Frage, warum es passierte, unterbreite ich den bescheidenen Vorschlag, dass unser Universum schlicht und einfach eines von diesen Dingen ist, die von Zeit zu Zeit passieren.« Und Guth fügt hinzu: »Obwohl die Entstehung des Universums äußerst unwahrscheinlich erscheinen mag, hat niemand, wie Tryon betonte, die fehlgeschlagenen Versuche gezählt.«¹⁷

Nach Ansicht des britischen Astronomen Martin Rees gibt es viele Universen, möglicherweise sogar eine unendlich große Zahl, in denen unterschiedliche Eigenschaften jeweils in anderen Kombinationen vorkommen, und wir leben einfach in demjenigen, dessen Merkmalskombination uns die Existenz ermöglicht. Als Vergleich nennt er ein sehr großes Bekleidungsgeschäft: »Wenn ein sehr großer Vorrat von Kleidungsstücken vorhanden ist, wundern man sich nicht, wenn man einen passenden Anzug findet. Findet man viele Universen, die jemals von unterschiedlichen Zahlenkombinationen beherrscht werden, dann gibt es auch eines, dessen Kombination sich für das Leben eignet. Und in diesem einen befinden wir uns.«¹⁸

Rees weist darauf hin, dass insbesondere sechs Zahlen unser Universum beherrschen; würde sich nur der Wert von einer davon geringfügig ändern, könnte nichts mehr so sein, wie es ist. Damit das Universum in seiner uns bekannten Form existieren kann, muss Wasserstoff sich ständig in einem genau festgelegten, vergleichsweise großen Umfang in Helium verwandeln – nämlich so, dass sich sieben Tausendstel seiner Masse in Energie verwandeln. Wäre dieser Wert nur geringfügig niedriger – beispielsweise nicht 0,007, sondern 0,006 Prozent –, könnte

4. *Das Maß der Dinge*

Wenn man nach der ungemütlichsten wissenschaftlichen Exkursion aller Zeiten sucht, ist die Peru-Expedition der französischen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1735 sicher keine schlechte Wahl. Unter Leitung des Gewässerkundlers Pierre Bougouer und des mathematisch ausgebildeten Soldaten Charles Marie de La Condamine reiste eine Gruppe von Wissenschaftlern und Abenteuern durch das südamerikanische Land, um quer durch die Anden Entfernung durch Triangulation zu messen.

Damals hatte sich gerade überall der starke Wunsch breit gemacht, die Erde zu verstehen – man wollte wissen, wie alt und wie groß sie ist, welchen Platz sie im Weltraum einnimmt und wie sie entstanden ist. Die französische Expedition sollte einen alten Streit um den Erdumfang beilegen und zu diesem Zweck die Länge eines Grades an einem Meridian messen (der 1/360 des Erdumfangs darstellt). Dazu hatte sie eine Linie von Yarqui bei Quito bis kurz hinter Cuenca im heutigen Ecuador ausgewählt, eine Entfernung von rund 320 Kilometern.*

* Die von der Expedition gewählte Methode der Triangulation war damals sehr beliebt. Ihre Grundlage ist eine geometrische Erkenntnis: Wenn man eine Seitenlänge eines Dreiecks und die beiden Winkel an ihren Enden kennt, kann man die beiden anderen Seiten und den dritten Winkel berechnen, ohne dass man sich von seinem Stuhl erheben müsste. Ein Beispiel: Angenommen, wir wollten die Entfernung zum Mond ermitteln. Damit wir die Triangulation anwenden können, müssen wir zunächst eine gewisse Entfernung zwischen uns legen – der eine bleibt beispielsweise in Paris, der andere fährt nach Moskau, und dann sehen wir uns beide zur gleichen Zeit den Mond an. Die Linie, die nun die drei entscheidenden Punkte – Paris, Moskau, Mond – verbindet, bildet ein Dreieck. Misst man die Länge der

Fast von Anfang an ging alles Mögliche schief, manchmal auf spektakuläre Weise. In Quito fühlten sich die Einheimischen offenbar von den Besuchern provoziert, und ein Steinewerfen der Mob jagte sie aus der Stadt. Wenig später wurde der Expeditionsarzt wegen eines Missverständnisses um eine Frau ermordet. Der Botaniker wurde wahnsinnig. Andere starben am Fieber oder durch Stirze. Das Expeditionsmitglied mit dem dritthöchsten Rang, ein Mann namens Pierre Godin, brannte mit einer Dreizehnjährigen durch und war nicht mehr zur Rückkehr zu bewegen.

Irgendwann musste die Gruppe ihre Arbeiten für acht Monate einstellen, während La Condamine nach Lima fuhr, um Schwierigkeiten mit den staatlichen Genehmigungen auszuräumen. Schließlich kam es so weit, dass er und Bouguer nicht mehr miteinander sprachen und sich weigerten, zusammenzuarbeiten. Wohin die schrumpfende Gruppe auch kam, überall begegneten ihr die Behörden mit tiefem Misstrauen: Die Beamten konnten einfach nicht glauben, dass ein Trupp französischer Wissenschaftler um die halbe Welt reiste, nur um die Welt zu vermessen. Es erschien ihnen völlig sinnlos. Auch zweieinhalb Jahrhunderte später ist es eine durchaus vernünftige Frage: Warum stellten die Franzosen ihre Messungen nicht in Frankreich an und ersparten sich damit die ganzen Mühen und Unannehmlichkeiten ihres Arden-Abenteuers?

Die Antwort ergibt sich teilweise aus der Beobachtung, dass Wissenschaftler – insbesondere solche aus Frankreich – sich die

Sache im 18. Jahrhundert nur in den seltesten Fällen einfach machten, wenn es eine Alternative von absurdster Schwierigkeit gab; teilweise liegt sie aber auch in einem praktischen Problem, mit dem der englische Astronom Edmund Halley es viele Jahre zuvor zum ersten Mal zu tun gehabt hatte, lange bevor Bouguer und La Condamine auch nur davon geträumt hatten, nach Südamerika zu fahren, und erst recht lange bevor sie einen stichhaltigen Grund dafür hatten.

Halley war eine Ausnahmegegenstalt. Im Laufe seiner langen, ergebigen Laufbahn war er Kapitän zur See, Kartograf, Professor für Geometrie an der Universität Oxford, stellvertretender Aufseher der königlichen Münze, königlicher Astronom und Erfinder der Tiefsee-Taucherglocke.¹ Er verfasste maßgebliche Werke über Magnetismus, Gezeiten und die Bewegungen der Planeten, äußerte sich aber auch freundlich über die Wirkungen des Oceans. Er erfand Wetterkarten und versicherungsstatistische Tabellen, schlug Methoden vor, mit denen man das Alter der Erde und ihre Entfernung von der Sonne ermitteln konnte, und entwickelte sogar ein praktikables Verfahren, um Fische außerhalb der Saison frisch zu halten. Nur eines tat er interessanterweise nicht: Er entdeckte nicht den Kometen, der seinen Namen trägt. Vielmehr erkannte er nur, dass es sich bei dem Kometen, den er 1682 beobachtete, um denselben handelte, den andere bereits 1456, 1531 und 1607 gesehen hatten. Zum Halleyschen Kometen wurde er erst 1758, 16 Jahre nach seinem Tod.

Bei allen seinen Leistungen bestand Halley's grösster Beitrag zum Wissen der Menschheit aber wahrscheinlich einfach darin, dass er sich an einer bescheidenen wissenschaftlichen Wette mit zwei anderen Geistesgrößen seiner Zeit beteiligte: mit Robert Hooke, der vielleicht vor allem deshalb in Erinnerung blieb, weil er als Erster eine Zelle beschrieb, und mit dem großen, ehrwürdigen Sir Christopher Wren, der – was heute kaum noch jemand weiß – eigentlich an erster Stelle Astronom und nur nebenbei Architekt war. Als Halley, Hooke und Wren 1683 in London gemeinsam zu Abend aßen, kamen sie auf die Bewegungen der Himmelskörper zu sprechen. Man wusste bereits, dass die Planeten auf einer besonderen, als Ellipse bezeichneten ovalen

Grundlinie zwischen Paris und Moskau sowie die Winkel an diesen beiden Ecken des Dreiecks, kann man alles andere ausrechnen. (Die inneren Winkel in einem Dreieck ergeben zusammen immer eine Summe von 180 Grad; kennt man also zwei davon, kann man den dritten sofort berechnen. Und wenn man die genaue Form des Dreiecks sowie die Länge einer Seite kennt, weiß man auch über die Länge der beiden anderen Seiten Bescheid.) Der griechische Astronom Hipparchos von Nicæa berechnete mit diesem Verfahren tatsächlich schon 150 v. Chr. die Entfernung zwischen Mond und Erde. Nach den gleichen Prinzipien funktioniert die Triangulation auch auf der Erde, nur weisen die Dreiecke dabei nicht in den Weltraum, sondern sie liegen flach über der Landschaft. Als die Landvermesser ein Grad eines Meridiants messen wollten, legten sie eine Kette von Dreiecken über das fragliche Gebiet.

Bahn kreisen – »einer sehr speziellen, präzisen Kurve«, um Richard Feynman zu zitieren² –, aber den Grund dafür kannte niemand. Wren setzte großzügig einen Preis von 40 Schilling (damals mehrere Wochenlöhne) für denjenigen der drei Männer aus, der eine Lösung fand.

Hooke war dafür bekannt, dass er häufig den Verdienst für Ideen beanspruchte, die nicht unbedingt seine eigenen waren; nun behauptete er, er habe das Problem bereits gelöst, könne aber seine Erkenntnisse jetzt nicht mitteilen, und zwar aus einem höchst interessanten, fantasievollen Grund: Er würde sonst anderen die Befriedigung nehmen, die Antwort selbst zu entdecken.³ Stattdessen wolle er sie »eine gewisse Zeit lang geheim halten, damit andere wissen, wie sie es einzuschätzen haben«. Wenn er darüber hinaus noch über die Angelegenheit nachdachte, hinterließ er keine Spuren seiner Bemühungen. Halley dagegen war nun versessen darauf, eine Antwort zu finden. Das ging so weit, dass er im folgenden Jahr sogar nach Cambridge reiste und an der dortigen Universität kühn den Mathematikprofessor am Lukas-Lehrstuhl, Isaac Newton, fragte, ob er nicht helfen könne. Newton war entschieden eine seltsame Gestalt – über alle Maßen intelligent, aber auch eigenbrötlerisch, humorlos, empfindlich bis an die Grenze des Verfolgungswahns, von berühmter Zerstreutheit (wenn er morgens die Füße aus dem Bett bewegte hatte, blieb er angeblich manchmal stundenlang sitzen, weil eine plötzliche Welle von Gedanken ihn an seinen Platz fesselte) und fähig zu verblüffend seltsamen Verhaltensweisen. Er hatte sein eigenes Labor gebaut – es war das erste in Cambridge –, aber dort widmete er sich dann höchst bizarren Experimenten. Einmal führte er sich eine Aehle – eine lange Nadel, wie sie zum Nähen von Leder verwendet wird – in die Augenhöhle ein und schob sie »zwischen mein Auge und den Knochen so nahe an die Rückseite des Auges, wie ich konnte«, einfach weil er wissen wollte, welche Wirkung es hatte.⁴ Wundersamerweise hatte es überhaupt keine Wirkung – jedenfalls keine, die von Dauer war. Bei einer anderen Gelegenheit schaute er in die Sonne, solange er es aushielt – dieses Mal wollte er wissen, wie sich dies auf sein Sehvermögen auswirken würde. Wieder blieben Newton dauer-

hafte Schäden erspart, aber er musste sich mehrere Tage lang in einem abgedunkelten Zimmer aufzuhalten, bevor seine Augen ihm verziehen.

Aber über solchen seltsamen Ansichten und Launen schwabte der Geist eines überragenden Genies – das allerdings selbst dann häufig eine Neigung zu Absonderlichkeiten zeigte, wenn sich seine Tätigkeit auf hergebrachten Pfaden bewegte. Als Student frustrierten ihn die Grenzen der herkömmlichen Mathematik, woraufhin er ein ganz neues Gebiet erfand, die Infinitesimalrechnung, von der er aber siebenundzwanzig Jahre lang niemandem etwas erzählte.⁵ Mit seinen Arbeiten zur Optik revolutionierte er unsere Kenntnisse über das Licht, und damit legte er auch die Grundlagen für die Wissenschaft der Spektroskopie, aber auch hier entschloss er sich, drei Jahrzehnte lang niemandem die Ergebnisse mitzuteilen.

Bei aller Intelligenz machte echte Naturwissenschaft jedoch nur einen Teil von Newtons Interessengebieten aus. Mindestens die Hälfte seines Arbeitslebens widmete er der Alchemie und abgelegenen religiösen Themen. Dabei handelte es sich nicht nur um Spielerei, sondern um tiefere Überzeugungen. Er war heimlicher Anhänger der Ariander, einer gefährlich ketzerischen Sekte, nach deren wichtigster Glaubensüberzeugung es keine heilige Dreifaltigkeit gab (was nicht einer gewissen Ironie entbehrt, da Newton in Cambridge am Trinity College tätig war). Endlose Stunden brachte er damit zu, den Grundriss des untergegangenen salomonischen Tempels in Jerusalem zu studieren (wobei er sich selbst das Hebräische beibrachte, um besser im den Urtexten stöbern zu können); Newton glaubte, dort seien mathematische Hinweise auf den Zeitpunkt der zweiten Wiederkunft Christi und das Ende der Welt verborgen. Mit ebenso glühender Überzeugung war er ein Anhänger der Alchemie. Der Wirtschaftswissenschaftler John Keynes ersteigerte 1936 bei einer Auktion eine Kiste mit Papieren von Newton und musste zu seinem Erstaunen feststellen, dass sie sich in ihrer überwältigenden Mehrzahl nicht mit Optik oder der Planetenbewegung beschäftigten, sondern mit engstirnigen Bestrebungen, unedle Metalle in edle zu verwandeln. Als man in den siebziger Jahren:

des 20. Jahrhunderts eine Haarsträhne von Newton analysierte, fand man Quecksilber, ein Element, für das sich Alchemisten, Hutmacher und Thermometerhersteller interessierten, sonst aber so gut wie niemand – und die Konzentration lag um das 40-fache über dem natürlichen Wert. Da ist es vielleicht kein Wunder, dass er morgens manchmal das Aufstehen vergaß.

Was Halley im Einzelnen von Newton wollte, als er ihn im August 1684 unangemeldet aufsuchte, können wir nur vermuten. Aber dank der Aufzeichnungen eines Newton-Vertrauten namens Abraham DeMoivre besitzen wir einen Bericht über eine der wichtigsten Begegnungen in der Wissenschaftsgeschichte:

Im Jahr 1684 kam Dr. Halley zu Besuch nach Cambridge, und nachdem sie eine gewisse Zeit zusammen verbracht hatten, fragte ihn der Dr., wie nach seiner Ansicht die Kurve aussehen müsse, welche die Planeten beschreiben, wenn man unterstellt, dass die Anziehungs kraft der Sonne umgekehrt proportional zum Quadrat ihrer Entfernung ist.

Damit spielte er auf das Gesetz der umgekehrten Quadrate an, ein mathematisches Prinzip, das nach Halleys Überzeugung den Kern der Erklärung bilden musste, auch wenn er bisher nicht genau wusste, wie.

Sir Isaac erwiderte sofort, es müsse eine Ellipse sein. Von Freude und Verblüffung überwältigt, fragte ihn der Dr., woher er das wisse. »Nun«, erwiderte er, »das habe ich berechnet.« Woraufhin Dr. Halley ihn unverzüglich nach seiner Berechnung fragte. Sir Isaac suchte zwischen seinen Papieren, konnte sie aber nicht finden.

Das war schon erstaunlich – als ob jemand erklärt, er habe ein Heilmittel gegen Krebs gefunden, könne sich aber nicht erinnern, wo er die Formel gelassen habe. Auf Halleys Drängen hin erklärte Newton sich einverstanden, die Berechnungen noch einmal vorzunehmen und einen Aufsatz darüber zu schreiben.

Das Versprechen hießt er auch, aber er beließ es nicht dabei. Nachdem er sich zwei Jahre zu intensivem Nachdenken und Schreiben zurückgezogen hatte, verfasste er endlich sein Meisterwerk, die *Philosophiae naturalis principia mathematica* oder *Mathematicische Grundlagen der Naturphilosophie*, besser bekannt als *Principia*.

Nur sehr selten – in der gesamten Geschichte waren es nur wenige Male – gelingt dem Geist eines Menschen eine so scharfsinnige, unerwartete Beobachtung, dass andere sich nicht entscheiden können, was verblüffender ist: die Tatsache selbst oder der Gedanke daran. In einem solchen Augenblick entstanden die *Principia*. Durch sie wurde Newton mit einem Schlag berühmt. Während seines ganzen restlichen Lebens überhäufte man ihn mit Beifall und Ehrungen; unter anderem war er in Großbritannien der Erste, der wegen einer wissenschaftlichen Leistung zum Ritter geschlagen wurde. Selbst der große deutsche Mathematiker Gottfried von Leibniz, mit dem Newton lange und erbittert über das Erstlingsrecht an der Erfindung der Infinitesimalrechnung stritt, hielt dessen Beiträge zur Mathematik für ebenso bedeutend wie sämtliche früheren Arbeiten zusammen.⁶ »Näher kann kein Sterblicher den Göttern kommen«, schrieb Halley in einer Stimmung, die sich auch bei seinen Zeitgenossen und vielen späteren Menschen widerspiegelter.

Die *Principia* wurden zwar auch als »eines der unverlässlichsten Bücher aller Zeiten« bezeichnet⁷ (Newton machte es absichtlich so schwierig, damit er nicht von mathematischen »Dilettanten« belästigt wurde, wie er sie nannte), aber für alle, die seinen Gedankengängen folgen konnten, waren sie ein helles Licht im Dunkel. Er lieferte darin nicht nur mathematische Erklärungen für die Umlaufbahn der Himmelskörper, sondern identifizierte auch die Anziehungs kraft, die sie überhaupt erst in Bewegung bringt: die Gravitation. Plötzlich erschienen alle Bewegungen im Universum sinnvoll.

Das Kerstück der *Principia* waren die drei Newtonschen Bewegungsgesetze (die sehr verkürzt aussagen: Jedes Ding bewegt sich in der Richtung, in die es gestoßen wird; es bewegt sich in gerader Linie, bis irgendeine Kraft es abbremst oder ablemt);

und zu jeder Aktion gibt es eine ebenso große, entgegengesetzte Reaktion) und sein allgemeines Gravitationsgesetz. Nach diesem Gesetz übt jedes Objekt im Universum auf jedes andere eine Anziehungskraft aus. Unter Umständen merkt man das nicht, aber alles um uns herum – Wände, Zimmerdecke, Lampe oder Katze – zieht uns mit einem eigenen schwachen (wirklich sehr schwachen) Gravitationsfeld an. Ebenso ziehen wir alle anderen Dinge an. Newton erkannte, dass die Anziehungs kraft zwischen zwei beliebigen Gegenständen proportional zur Masse dieser Gegenstände ist und sich »umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands verändert, um noch einmal Feynman zu zitieren.⁸ Oder anders ausgedrückt: Verdoppelt man die Entfernung zwischen zwei Gegenständen, ist die Anziehungs kraft zwischen ihnen vier mal schwächer. Dies lässt sich mit der Formel

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ausdrücken. Sie ist natürlich weit von allem entfernt, was für die meisten von uns praktische Bedeutung hat, aber zumindest können wir beurteilen, dass sie von eleganter Kom pakt heit ist. Ein paar kurze Multiplikationen, eine einfache Division, und voilà, schon kennen wir an jedem beliebigen Ort unsere Schwerkraftverhältnisse. Es war das erste wahrhaft allgemein gültige Naturgesetz, das ein menschlicher Geist jemals formulierte, und aus diesem Grund steht Newton in so ungemeiner hohem Ansehen.

Die Entstehung der *Principia* entbehrt nicht einer gewissen Dramatik. Gerade als die Arbeit sich der Vollendung näherte, gerieten Newton und Hooke zu Halleys Entsetzen in Streit über das Erstlingsrecht für das Gesetz der umgekehrten Quadrate, und Newton weigerte sich, den entscheidenden dritten Band freizugeben, ohne den die beiden ersten kaum einen Sinn machen. Erst nach hektischer Pendeldiplomatie und freigiebig eingesetzten Schmeicheleien gelang es Halley schließlich, dem luischen Professor sein letztes Buch abzuluchsen.

Aber auch damit war Halleys Trauma noch nicht ganz vorüber. Die Royal Society hatte zugesagt, das Werk zu veröffentlichen, aber jetzt zog sie sich unter dem Vorwand finanzieller

Schwierigkeiten zurück. Im Jahr zuvor hatte die Gesellschaft einen kostspieligen Fehlschlag namens *Die Geschichte der Fische* finanziert, und nun ging man davon aus, dass für ein Buch über mathematische Prinzipien nicht gerade gänzende Marktchancen bestanden. Daraufhin zahlte Halley, der nicht über große Finanzmittel verfügte, die Veröffentlichung aus eigener Tasche. Newton trug, wie es seine Gewohnheit war, nichts dazu bei.⁹ Noch schlimmer wurde die Sache, weil Halley zu jener Zeit gerade die Stellung als Schriftführer der Gesellschaft angenommen hatte, und nun setzte man ihm davon in Kenntnis, die Gesellschaft könne es sich nicht länger leisten, ihm das versprochene Gehalt von 50 Pfund im Jahr zu bezahlen. Stattdessen erhielt er sein Salär in Form von Exemplaren der *Geschichte der Fische*.¹⁰

V
11/14

Newton's Gesetze erklären vieles – das Auf und Ab der Gezeiten in den Ozeanen, die Planetenbewegungen, die Bahn einer Kanonenkugel, bevor sie zu Boden fällt, oder die Tasache, dass wir nicht in den Weltraum geschleudert werden, obwohl die Erde mit mehreren hundert Stundenkilometern rotiert.* Deshalb dauerte es eine gewisse Zeit, bis man sich über alle Folgerungen im Klaren war. Eine Erkenntnis war aber fast über Nacht heftig umstritten.

Damit meine ich die Vorstellung, dass die Erde nicht ganz rund ist. Nach Newtons Theorie sollte die durch die Erdrehung entstehende Zentrifugalkraft an den Polen für eine leichte Abflachung und am Äquator für eine Ausbeulung sorgen, sodass der Planet ein wenig abgeplattet aussieht. Demnach ist ein Breitengrad in Italien nicht genauso lang wie in Schottland, sondern seine Länge wird mit zunehmender Entfernung von den Polen immer geringer. Das war natürlich eine unangenehme Erkenntnis für jene, die sich mit ihren Messungen auf die Annahme von einer vollkommenen Kugelform der Erde stützten – das heißt für alle.

Schon seit einem halben Jahrhundert versuchte man, die

* Die Geschwindigkeit hängt dabei vom Aufenthaltsort ab. Am Äquator liegt sie bei über 1.600 Stundenkilometern, an den Polen bei Null.

Größe der Erde zu ermitteln, und zwar vor allem mit Hilfe immer genauerer Messungen. Einen der ersten derartigen Versuche unternahm der englische Mathematiker Richard Norwood. Er war als junger Mann mit einer Taucherlocke, die nach dem Vorbild von Halleys Gerät konstruiert war, auf die Bermudas gereist. Dort wollte er Perlen vom Meeresboden einsammeln und damit ein Vermögen verdienen. Das Vorhaben scheiterte, weil es keine Perlen gab, und ohnehin funktionierte die Taucherlocke nicht, aber Norwood war nicht der Typ, der eine Erfahrung ungernutzt gelassen hätte. Die Bermudas waren bei den Seeleuten im 17. Jahrhundert dafür bekannt, dass man sie nur schwer aufspüren konnte. Der Ozean war groß, die Inseln waren klein, und die Navigationsinstrumente reichten bei weitem nicht aus, um mit dieser Diskrepanz fertig zu werden. Nicht einmal über die Länge einer Seemeile war man sich einig. Auf dem weiten Ozean vervielfachte sich schon der kleinste Rechenfehler, sodass Schiffe ein Ziel von der Größe der Bermudas häufig um riesige Entfernung verfehlten. Norwood, der sich anfangs für Trigonometrie und damit auch für Winkel begeistert hatte, wollte in der Seefahrt ein wenig mehr mathematische Strenge anwenden und entschloss sich deshalb, die Länge eines Breitengrades zu berechnen.

Als Ausgangspunkt wählte er den Londoner Tower: Er stellte sich mit dem Rücken gegen die Mauer und marschierte von dort im Laufe von zwei Jahren entzlossen bis ins 335 Kilometer nördlich gelegene York. Unterwegs legte er immer wieder ein Stück Kette aus und vermaß es, wobei er peinlich genaue Korrekturen für das Auf und Ab des Geländes sowie für die Kurven der Straße anbrachte. Zuletzt maß er den Winkel des Sonnenstandes am gleichen Datum und zur gleichen Tageszeit wie bei seiner ersten Messung ein Jahr zuvor in London. Daraus, so seine Überlegung, konnte er die Länge eines Winkelgrades entlang des Meridiens und somit auch den Gesamtrumfang der Erde berechnen. Es war ein fast lächerlich ehrgeiziges Vorhaben – eine Abweichung um winzige Bruchteile eines Grades musste dazu führen, dass das Ergebnis um viele Meilen daneben lag –, aber Norwood gab stolz bekannt, sein Resultat sei

»bis auf eine winzige Kleinigkeit« richtig¹¹ – genauer gesagt, bis auf etwa 550 Meter. Er kam auf eine Strecke von 110,72 Kilometern je Winkelgrad.

The Seaman's Practice, Norwoods Meisterwerk über Navigation, erschien 1637 und fand sofort eine begeisterte Anhänger-Schaft. Es erlebte siebzehn Auflagen und war 25 Jahre nach seinem Tod immer noch in Druck. Norwood kehrte mit seinen Angehörigen auf die Bermudas zurück, wurde dort ein erfolgreicher Plantagenbesitzer und widmete seine Freizeit der ersten großen Liebe seines Lebens: der Trigonometrie. Er lebte noch 38 Jahre, und man würde gern berichten, dass er in dieser Zeit ein glücklicher, angesehener Mann war. Aber das stimmt nicht. Auf der Überfahrt von England wurden seine beiden kleinen Söhne in einer Kabine mit dem Geistlichen Nathaniel White untergebracht, und dort verursachten sie bei dem jungen Vikar irgendwie ein derartiges Trauma, dass dieser den Rest seiner Laufbahn zum größten Teil darauf verwendete, Norwood auf jede nur denkbare Weise zu verfolgen und zu piesacken.

Auch Norwoods beide Töchter bereiteten ihrem Vater Kummer, indem sie schlechte Ehen eingingen. Einer der Ehemänner, der vermutlich von dem Vikar aufgestachelt war, brachte vor Gericht ständig kleine Anklagen gegen Norwood vor, bereitete ihm auf diese Weise viel Verdruß und nötigte ihn mehrfach zu Reisen quer über die Bermudas, um sich zu verteidigen. In den fünfziger Jahren des 17. Jahrhunderts schließlich fanden auf Bermuda Hexenprozesse statt, und Norwood hatte während seiner letzten Lebensjahre schwere Befürchtungen, man könnte seine Aufsätze über Trigonometrie mit ihren fremdartigen Symbolen für einen Briefwechsel mit dem Saran halten, sodass ihm eine grauenvolle Hinrichtung drohte. Heute wissen wir über Norwood sehr wenig, und vielleicht hatte er diese unglücklichen letzten Jahre tatsächlich verdient. Sicher ist nur, dass er sie durchlebte.

Mittlerweile war Frankreich zur treibenden Kraft für die Berechnung des Erdumfangs geworden. Dort entwickelte der Astronom Jean Picard eine eindrucksvolle, komplizierte Methode zur Triangulation mit Quadranten, Pendeluhr, Zenitsektoren,

und Teleskopen (mit denen er die Bewegung der Jupitermonde beobachtete). Nachdem Picard zwei Jahre lang triangulierend durch Frankreich gezogen war, gab er 1669 ein genaueres Messergebnis für das Winkelgrad bekannt: 110,46 Kilometer. Die Messung war in Frankreich Anlass zu großem Stolz, aber sie berührte auf der Annahme, die Erde sei eine vollkommene Kugel – und nun behauptete Newton, das sei sie nicht.

Nach Picards Tod wurde die Sache noch komplizierter: Giovanni Cassini und sein Sohn Jacques wiederholten Picards Experimente in einem größeren Gebiet und gelangten zu dem Ergebnis, die Erde sei nicht am Äquator dicker, sondern an den Polen – Newton habe also nicht nur Unrecht, sondern es sei genau umgekehrt. Daraufhin sah sich die Akademie der Wissenschaften veranlaßt, Bouguer und La Condamine nach Südamerika zu schicken, damit sie dort neue Messungen anstellen. Sie entschieden sich für die Anden, weil sie nur durch Messungen in der Nähe des Äquators feststellen könnten, ob es dort tatsächlich eine Abweichung von der Kugelform gab, und weil sie sich überlegt hatten, dass die Berge ihnen gute Sichtlinien verschaffen würden. In Wirklichkeit war das Gebirge in Peru aber fast ständig in Wolken gehüllt, sodass die Arbeitsgruppe häufig wochenlang warten musste, bevor sie einen Tag lang freie Sicht hatten. Dazu kam noch, dass sie sich eines der schwierigsten Gebiete auf der ganzen Erde ausgesucht hatten. Die Peruaner bezeichneten ihre Landschaft als *my accidentado* – »sehr unfallträchtig« – und das stimmt sicher auch. Die Franzosen mussten nicht nur einige der anspruchsvollsten Berge der Welt bestiegen – Berge, die sogar ihren Maultieren verschlossen blieben –, sondern um überhaupt dorthin zu gelangen, mussten sie reißende Flüsse durchqueren, sich mit der Mähere ihren Weg durch den Dschungel bahnen und viele Kilometer hoch gelegener Steinwüsten überwinden. Und das fast ausschließlich in nicht kartierten Gebieten, die weit von jedem Nachschub entfernt waren.

Aber wenn Bouguer und La Condamine eine herausragende Eigenschaft hatten, dann war es ihre Hartnäckigkeit, und sie hielten neuneinhalb lange, grausige, sonndurchglühende Jahre an

ihrem Vorhaben fest. Kurz vor Abschluss des Projekts erfuhren sie, nach den Befunden einer zweiten französischen Expedition, die in Nordskandinavien eigene Messungen vorgenommen hatte (und sich dort ebenfalls mit beträchtlichen Unannehmlichkeiten auseinander setzen musste, von nassen Sumpfen bis zu gefährlichen Eisschollen), dass ein Grad an den Polen tatsächlich länger sei, wie Newton es vorhergesagt hatte. Am Äquator gemes- sen, war der Umfang der Erde um 43 Kilometer größer als bei einer Messung über die Pole.¹²

Bouguer und La Condamine hatten also fast zehn Jahre lang für ein Ergebnis gearbeitet, das sie eigentlich gar nicht finden wollten, und nun erfuhren sie auch noch, dass sie nicht die ersten waren, die es gefunden hatten. Entmutigt schlossen sie ihre Arbeiten ab und bestätigten mit ihren Ergebnissen, dass die andere französische Expedition Recht gehabt hatte. Anschließend – sie sprachen immer noch nicht miteinander – kehrten sie zur Küste zurück und fuhren auf verschiedenen Schiffen nach Hause.

Newton hatte in seinem *Principia* auch vorausgesagt, ein neben einem Berg aufgehängtes Bleilot werde sich leicht in Richtung des Berges neigen, weil es nicht nur von der Schwerkraft der Erde, sondern auch von der Gravitation des Berges angezogen wird. Das war mehr als nur eine Kuriosität: Wenn man die Ablenkung genau messen und die Masse des Berges herausfinden konnte, ließ sich daraus die allgemeine Gravitationskonstante berechnen, ein grundlegender Wert der Gravitation, der als G bezeichnet wird. Mit ihrer Hilfe lässt sich dann die Masse der Erde bestimmen.

Bouguer und La Condamine hatten dies am Chimborazo in Peru versucht, waren aber sowohl wegen technischer Schwierigkeiten als auch wegen ihrer eigenen Streitigkeiten gescheitert. Die Idee blieb 30 weitere Jahre unbeachtet, bis der königliche englische Astronom Nevil Maskelyne sie wieder aus der Versenkung holte. In dem bekannten Buch *Längengrad* von Dava Sobel wird Maskelyne als Dummkopf und Bösewicht dargestellt, der das übertragende Können des Uhrmachers John Harrison nicht

anerkennt. Vielleicht stimmt dieses Bild, aber wir verdanken Maskelyne andere Dinge, die in dem Buch nicht erwähnt werden, nicht zuletzt eine funktionierende Methode, um das Gewicht der Erde zu ermitteln. Wie er richtig erkannte, besteht das Hauptproblem darin, dass man einen Berg mit einer so regelmäßigen Form finden muss, dass man seine Masse beurteilen kann.

Auf sein Drängen hin beauftragte die Royal Society einen verlässlichen Mann, eine Rundreise um die britischen Inseln zu unternehmen und nach einem geeigneten Berg zu suchen. Maskelyne konnte genau den Richtigen für diese Aufgabe: den Astronomen und Landvermesser Charles Mason. Maskelyne und Mason hatten sich elf Jahre zuvor angefreundet, als sie damit beschäftigt waren, ein höchst bedeutsames astronomisches Ereignis zu messen: den Durchgang des Planeten Venus vor der Sonne. Der unermüdliche Edmund Halley hatte schon einige Jahre zuvor die Idee geäußert, man solle einen solchen Durchgang von verschiedenen Punkten auf der Erde messen und mit Hilfe der Triangulation die Entfernung zur Sonne berechnen; auf dieser Grundlage konnte man dann die Abstände zu allen anderen Objekten im Sonnensystem ermitteln.

Leider ereigneten sich Venusdurchgänge nur in unregelmäßigen Abständen. Sie kommen paarweise mit einem Abstand von acht Jahren vor, aber dann bleiben sie 100 Jahre oder länger aus, und während Halleys Lebenszeit gab es keinen einzigen.* Aber die Idee schweite weiter, und als 1761, fast zwei Jahrzehnte nach Halleys Tod, der nächste Durchgang bevorstand, war die wissenschaftliche Welt vorbereitet – und zwar besser als bei jedem astronomischen Ereignis zuvor.

Mit der typischen Leidenschaftlichkeit jener Zeit machen sich Wissenschaftler an mehr als 100 Orte rund um den Erdball auf den Weg: nach Sibirien, China, Südafrika und Indonesien, in die Wälder von Wisconsin und an viele andere Stellen. Frankreich schickte 32 Beobachter, 18 weitere kamen aus Großbritannien,

andere stammten aus Schweden, Russland, Italien, Deutschland, Irland und anderen Ländern.

Es war das erste internationale wissenschaftliche Gemeinschaftsunternehmen aller Zeiten, und fast überall traten Probleme auf. Viele Beobachter wurden durch Kriege, Krankheiten oder Schiffbruch aufgehalten. Andere gelangten zwar an ihren Bestimmungsort, als sie aber ihre Gepäckkisten öffneten, fanden sie ihre Instrumente beschädigt oder von der tropischen Hitze verbogen vor. Wieder einmal war anscheinend den Franzosen das Schicksal beschieden, dass die am spektakulärsten vom Pech verfolgten Teilnehmer aus ihren Reihen stammten. Jean Chappe verwendete mehrere Monate darauf, mit Pferdewagen, Boote und Schlitten nach Sibirien zu reisen, wobei er seine empfindlichen Instrumente vor jedem gefährlichen Holzern bewahrte, aber dann musste er feststellen, dass die letzte, entscheidende Etappe durch angeschwollene Flüsse versperrt war – eine Folge des ungewöhnlich heftigen Frühjahrsregens. Als die Einheimischen nun sahen, wie Chappe seltsame Instrumente zum Himmel richtete, machten sie ihn sehr schnell für die Überschwemmung verantwortlich. Er kam zwar mit dem Leben davon, brachte aber keine brauchbaren Messergebnisse mit.

Noch mehr Pech hatte Guillaume Le Gentil, dessen Erlebnisse Timothy Ferris in seinem Buch *Kinder der Milchstraße* hervorragend beschrieben hat.¹³ Le Gentil wollte den Durchgang in Indien beobachten und machte sich ein Jahr vorher in Frankreich auf den Weg, aber wegen verschiedener Pannen war er am Tag des Ereignisses immer noch auf See, und das war so ungünstig der schlechteste Ort – ununterbrochene Messungen sind auf einem schwankenden Schiff völlig unmöglich.

Aber Le Gentil ließ sich nicht abschrecken: Er setzte seine Reise nach Indien fort und wollte dort auf den nächsten Durchgang im Jahr 1769 warten. Nachdem ihm nun acht Jahre für die Vorbereitungen blieben, errichtete er eine erstklassige Beobachtungsstation; er prüfte immer wieder seine Instrumente und ver-^{setzte alles in einen Zustand der vollkommenen Bereitschaft.} Als er am Tag des zweiten Durchgangs, dem 4. Juni 1769, mörte:

* Der nächste Durchgang findet am 8. Juni 2004 statt, ein zweiter folgt im Jahr 2012; im 20. Jahrhundert gab es keinen.

gens aufwachte, war schönes Wetter, aber gerade als die Venus sich vor die Sonne schob, wurde diese von einer Wolke verdeckt, die fast während der gesamten Dauer des Durchgangs – drei Stunden, 14 Minuten und sieben Sekunden – nicht mehr von der Stelle wichen.

Ohne sich aus der Ruhe bringen zu lassen, packte Le Gentil seine Instrumente ein und machte sich zum nächsten Hafen auf, aber unterwegs zog er sich eine Ruhrekrankung zu, die ihn fast ein Jahr lang ans Bett fesselte. Immer noch geschwächt, ging er schließlich an Bord eines Schiffes, das in einem Sturm vor der afrikanischen Küste fast untergegangen wäre. Als er endlich, elfeinhalb Jahre nach seiner Abreise, unverrichteter Dinge wieder nach Hause kam, musste er feststellen, dass seine Angehörigen ihn in Abwesenheit für tot erklärt und mit Begeisterung sein Anwesen geplündert hatten.

Im Vergleich dazu hatten die 18 weit verstreuten britischen Beobachter nur mit relativ geringfügigen Entrückungen zu kämpfen. Mason geriet an einen jungen Landvermesser namens Jeremiah Dixon und kam anscheinend gut mit ihm zurecht, denn die beiden gingen eine dauerhafte Partnerschaft ein. Sie hatten die Anweisung, nach Sumatra zu reisen und dort den Durchgang aufzuzeichnen, aber schon nach einer Nacht auf See wurde ihr Schiff von einer französischen Fregatte angegriffen. (Zwischen den Wissenschaftlern herrschte zwar ein Geist der internationalen Zusammenarbeit, zwischen einzelnen Staaten aber keineswegs.) In einer Notiz an die Royal Society teilten Mason und Dixon mit, es sei auf hoher See offensichtlich entsetzlich gefährlich, und sie fragten an, ob man nicht vielleicht das ganze Unternehmen abblasen sollte.¹⁴ Als Antwort erhielten sie sehr schnell eine eisige Verneinung. Darin wurde betont, man habe sie bereits entlohnt, die Nation und wissenschaftliche Welt zählt auf sie, und wenn sie nicht weiterarbeiten, würden sie ihren Ruf ein für alle Mal verlieren. Kleinlaut segelten sie weiter, aber unterwegs hörten sie, Sumatra sei den Franzosen in die Hände gefallen. Deshalb beobachteten sie den Durchgang vom Kap der Guten Hoffnung aus. Auf dem Rückweg machten sie

bei dem einsamen Außenposten St. Helena im Atlantik Station, und dort trafen sie mit Maskelyne zusammen, dessen Beobachtungen durch eine Wolkendecke vereitelt worden waren. Mason und Maskelyne gingen eine dauerhafte Freundschaft ein und zeichneten während mehrerer glücklicher Wochen, die allerdings möglicherweise nur von geringfügigem Nutzen waren, die Gezeitenströmungen auf.

Weinig später kehrte Maskelyne nach England zurück und wurde dort königlicher Astronom, während Mason und Dixon – jetzt offenbar abgeklärt – sich für viele lange und häufig gefährliche Jahre zu Vermessungsarbeiten auf eine 390 Kilometer lange Strecke in der amerikanischen Wildnis begaben, um Grenzstreitigkeiten zwischen den Besitzungen von William Penn und Lord Baltimore sowie ihren jeweiligen Kolonien Pennsylvania und Maryland beizulegen. Das Ergebnis war die berühmte Mason-Dixon-Linie, die später als Grenze zwischen Sklavenhalter- und Freistaaten große symbolische Bedeutung erlangte. (Die Grenzziehung war zwar ihre Hauptaufgabe, sie nahmen aber auch mehrere astronomische Vermessungen vor, darunter die genaueste Messung eines Winkelgrades auf dem Meridian, die es in ihrem Jahrhundert gab – eine Leistung, die ihnen in England weit mehr Ruhm einbrachte als die Beendigung eines Grenzkonflikts zwischen eingebildeten Aristokraten.)

Wieder in Europa, waren Maskelyne sowie seine Kollegen im Deutschland und Frankreich zu der Schlussfolgerung gezwungen, dass die Messungen des Venusdurchgangs von 1761 im Wesentlichen ein Fehlschlag waren. Ein Problem bestand paradoxerweise darin, dass es zu viele Beobachtungen gab, und wenn man sie zusammenstelle, ergaben sich häufig unlösbare Widersprüche. Die wirklich erfolgreiche Aufzeichnung eines Venusdurchgangs blieb einem kaum bekannten, in Yorkshire geborenen Kapitän namens James Cook vorbehalten, der das Ereignis 1769 von einem sonnenbeschienenen Hügel auf Tahiti aus beobachtete, um dann im weiteren Verlauf Australien zu kartieren und für die britische Krone zu vereinnahmen. Als er zurückkehrte, verfügte man über so viele Erkenntnisse, dass der französische Astronom Joseph Lalande die mittlere Entfernung

von der Erde zur Sonne auf etwas mehr als 150 Millionen Kilometer berechnen konnte. (Bei zwei weiteren Durchgängen im 19. Jahrhundert konnten die Astronomen den Abstand mit 149,59 Millionen Kilometern bestimmen, ein Wert, der seither Gültigkeit hat. Heute wissen wir, dass der genaue Abstand 149.597.870,691 Kilometer beträgt.) Endlich hatte die Erde eine Position im Weltraum.

Was Mason und Dixon anging, so kehrten sie als Helden der Wissenschaft nach England zurück und beendeten aus unbekannten Gründen ihre Partnerschaft. Angesichts der Tatsache, dass man im Zusammenhang mit entscheidenden wissenschaftlichen Ereignissen des 18. Jahrhunderts immer wieder auf ihre Namen stößt, wissen wir über beide erstaunlich wenig. Es gibt von ihnen keine Bilder und nur wenige schriftliche Erwähnungen. Interessanterweise schreibt das *Dictionary of National Biography* über Dixon, er sei »angeblich in einem Kohlebergwerk geboren worden«,¹⁵ aber dann überlässt man es der Fantasie des Lessers, sich plausible Umstände zur Erklärung dieser Behauptung auszudenken, und anschließend heißt es nur noch, er sei 1777 in Durham gestorben. Abgesehen von seinem Namen und der langjährigen Verbindung mit Mason wissen wir nichts über ihn.

Auch Mason tritt nur geringfügig stärker aus dem Schatten der Geschichte. Bekannt ist, dass er 1772 auf Maskelynes Geheiß den Auftrag übernahm, einen geeigneten Berg für das Experiment mit der gravitationsbedingten Ablenkung zu finden, und dass er anschließend ausführlich berichtete, der gesuchte Berg liege mitten im schottischen Hochland unmittelbar über dem Loch Tay und trage den Namen Schiehallion. Dennoch war er nicht dazu zu bewegen, dort einen ganzen Sommer mit Vermessungsarbeiten zu verbringen. Ins Freiland begab er sich nie mehr. Der nächste Bericht über ihn stammt aus dem Jahr 1786. Damals tauchte er ganz plötzlich und auf geheimnisvolle Weise mit seiner Frau und acht Kindern in Philadelphia auf, wo er offenbar am Rande völliger Armut lebte. In Amerika war er nicht mehr gewesen, seit er 18 Jahre zuvor seine Vermessungs-

arbeiten abgeschlossen hatte, und es ist kein Grund bekannt, warum er sich dort aufhielt – er hatte weder Freunde noch Geldgeber, die ihn aufgenommen hätten. Einige Wochen später war er tot.

Nachdem Mason es abgelehnt hatte, den Berg zu vermessen, fiel diese Aufgabe an Maskelyne. Er richtete sich im Sommer 1774 vier Monate lang in einer abgelegenen schottischen Bergschlucht ein und leitete dort eine ganze Mannschaft von Landvermessern, die von allen nur denkbaren Standpunkten aus Hunderte von Messungen vornahmen. Um aus den vielen Zahlen die Masse des Berges zu ermitteln, waren langwierige Berechnungen erforderlich, für die man einen Mathematiker namens Charles Hutton einstellte. Die Landvermesser hatten auf einer Landkarte eine Fülle von Messwerten eingetragen, von denen jeder die Höhenlage eines Punktes am Berg oder in seiner Umgebung bezeichnete.

Eigentlich war es nur ein verwirrender Zahlenfriedhof, aber Hutton bemerkte, dass alles viel geordneter aussah, wenn er Punkte gleicher Höhe mit Bleistiftilinen verband. Auf diese Weise konnte er sich sofort einen Eindruck von der gesamten Form und den Steigungen des Berges verschaffen. Er hatte die Höhenlinien erfunden.

Ausgehend von seinen Messungen am Schiehallion berechnete Hutton die Masse der Erde mit 5000 Millionen Millionen Tonnen, und daraus konnte er auch für die Masse aller anderen größeren Objekte im Sonnensystem, einschließlich der Sonne selbst, vernünftige Schätzungen ableiten. Aus diesem einen Experiment erfahren wir also etwas über die Masse der Erde, der Sonne, des Mondes, der anderen Planeten und deren Monde. Und nebenbei fielen noch die Höhenlinien ab – kein schlechtes Ergebnis für die Arbeit eines einzigen Sommers.

Dennoch waren nicht alle mit der Ausbeute zufrieden. Das Experiment am Schiehallion hatte einen wichtigen Schwachpunkt: Man konnte nicht zu einer zuverlässigen Zahl gelangen, ohne über die tatsächliche Dicthe des Berges Bescheid zu wissen. Hutton war bequemlichkeitshalber davon ausgegangen,

dass der Berg wie gewöhnliches Gestein ungefähr die 2,5-fache Dichte von Wasser hatte, aber das war eigentlich nicht mehr als eine einigermaßen vernünftige Vermutung.¹⁶

Mit diesem Thema beschäftigte sich jemand, von dem man es kaum erwartet hätte: John Michell, ein Landpfarrer, der in dem einsamen Dorf Thornhill in Yorkshire seinen Dienst versah. Trotz seiner isolierten und relativ bescheidenen Stellung war Michell einer der großen wissenschaftlichen Denker des 18. Jahrhunderts, der deshalb auch großes Ansehen genoss.

Neben vielen anderen fiel ihm die Wellennatur von Erdbeben auf, er unternahm zahlreiche originelle Forschungsarbeiten rund um Magnetismus und Gravitation, und – besonders bemerkenswert – er dachte 200 Jahre früher als alle anderen an die Möglichkeit, es könne schwarze Löcher geben, ein Gedankensprung, zu dem nicht einmal Newton fähig war. Als der in Deutschland geborene Musiker William Herschel zu der Erkenntnis gelangte, dass das wahre Interesse in seinem Leben der Astronomie galt, wandte er sich an Michell und ließ sich von ihm den Bau von Teleskopen erklären – eine Hilfeleistung, der die Planetenforschung bis heute viel zu verdanken hat.¹⁷

Aber die fantasievollste und folgenschwerste Leistung von Michell war ein von ihm entworfener und gebauter Apparat, mit dem man die Masse der Erde messen konnte. Leider starb er, bevor er die Experimente ausführen konnte, und sowohl die Idee als auch die erforderliche Ausrüstung gingen an den hochintelligenten, aber auch überaus zurückhaltenden Londoner Wissenschaftler Henry Cavendish über.

Über Cavendish allein könnte man ein ganzes Buch schreiben. Er stammte aus höchst privilegierten Kreisen – seine Großväter waren die Herzöge von Devonshire und Kent – und war der begabteste englische Wissenschaftler seiner Zeit, aber auch der seltsamste. Er litt, wie einer seiner wenigen Biografen es ausdrückte, an Schüchternheit »in einem Ausmaß, das an Krankheit grenzte«.¹⁸ Jeder zwischenmenschliche Kontakt verursachte ihm tiefstes Unbehagen.

Als er einmal seine Haustür öffnete, stand ihm ein österreichischer, gerade aus Wien angereister Bewunderer gegenüber. Der aufgeregte Österreicher begann sofort, mit Lobeshymnen loszuplappern. Wenige Augenblicke lang nahm Cavendish die Komplimente auf wie Keulenschläge, aber dann hielt er es nicht mehr aus und flüchtete über den Kiesweg zum Gartentor hinaus, wobei er die Haustür weit offen ließ. Erst einige Stunden später ließ er sich dazu bewegen, auf sein Anwesen zurückzukehren. Selbst die Haushälterin verkehrte nur brieflich mit ihm. Manchmal wagte er sich zwar durchaus in Gesellschaft – insbesondere besuchte er gern die wöchentlichen wissenschaftlichen Abendgesellschaften des großen Naturforschers Sir Joseph Banks –, aber den anderen Gästen war immer klar, dass man Cavendish unter keinen Umständen ansprechen oder auch nur ansehen durfte. Wer sich für seine Meinung interessierte, erhielt den Rat, sich wie zufällig in seiner Nähe herumzutreiben und »wie ins Leere zu reden«.¹⁹ Handelte es sich um wissenschaftlich stichhaltige Äußerungen, kam dann möglicherweise eine gemurmelte Antwort, aber in den meisten Fällen war nur ein verärgertes Quietschen zu hören (er hatte offensichtlich eine sehr hohe Stimme), und wenn man sich dann umdrehte, blickte man tatsächlich ins Leere, während Cavendish sich in eine ruhigere Ecke flüchtete.

Mit seinem Reichtum und seinen Einsamkeitsbestrebungen verwandelte Cavendish sein Haus in ein großes Labor, wo er ungestört in allen Ecken der Physik herumsäubern konnte – er beschäftigte sich mit Elektrizität, Wärme, Gravitation, Gasen und allem, was mit der Zusammensetzung der Materie zu tun hatte. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts interessierten sich Menschen mit naturwissenschaftlichen Neigungen brennend für die physikalischen Eigenschaften grundlegender Dinge – insbesondere der Gase und der Elektrizität –, und sie erkannnten allmählich immer deutlicher, was man mit diesen Dingen anfangen kann, wobei allerdings häufig mehr Begeisterung als Verunsicherung im Spiel war. In Amerika setzte Benjamin Franklin im

heit grenzte«.¹⁸ Jeder zwischenmenschliche Kontakt verursachte ihm tiefstes Unbehagen.

Als er einmal seine Haustür öffnete, stand ihm ein österreichischer, gerade aus Wien angereister Bewunderer gegenüber. Der aufgeregte Österreicher begann sofort, mit Lobeshymnen loszuplappern. Wenige Augenblicke lang nahm Cavendish die Komplimente auf wie Keulenschläge, aber dann hielt er es nicht mehr aus und flüchtete über den Kiesweg zum Gartentor hinaus, wobei er die Haustür weit offen ließ. Erst einige Stunden später ließ er sich dazu bewegen, auf sein Anwesen zurückzukehren. Selbst die Haushälterin verkehrte nur brieflich mit ihm. Manchmal wagte er sich zwar durchaus in Gesellschaft – insbesondere besuchte er gern die wöchentlichen wissenschaftlichen Abendgesellschaften des großen Naturforschers Sir Joseph Banks –, aber den anderen Gästen war immer klar, dass man Cavendish unter keinen Umständen ansprechen oder auch nur ansehen durfte. Wer sich für seine Meinung interessierte, erhielt den Rat, sich wie zufällig in seiner Nähe herumzutreiben und »wie ins Leere zu reden«.¹⁹ Handelte es sich um wissenschaftlich stichhaltige Äußerungen, kam dann möglicherweise eine gemurmelte Antwort, aber in den meisten Fällen war nur ein verärgertes Quietschen zu hören (er hatte offensichtlich eine sehr hohe Stimme), und wenn man sich dann umdrehte, blickte man tatsächlich ins Leere, während Cavendish sich in eine ruhigere Ecke flüchtete.

Mit seinem Reichtum und seinen Einsamkeitsbestrebungen verwandelte Cavendish sein Haus in ein großes Labor, wo er ungestört in allen Ecken der Physik herumsäubern konnte – er beschäftigte sich mit Elektrizität, Wärme, Gravitation, Gasen und allem, was mit der Zusammensetzung der Materie zu tun hatte. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts interessierten sich Menschen mit naturwissenschaftlichen Neigungen brennend für die physikalischen Eigenschaften grundlegender Dinge – insbesondere der Gase und der Elektrizität –, und sie erkannnten allmählich immer deutlicher, was man mit diesen Dingen anfangen kann, wobei allerdings häufig mehr Begeisterung als Verunsicherung im Spiel war. In Amerika setzte Benjamin Franklin im

* Herschel war 1781 der erste Wissenschaftler der Neuzeit, der einen Planeten entdeckte. Er wollte ihn nach dem britischen König auf den Namen George rufen, würde aber überstimmt. Seitdem heißt der Planet Uranus. (G. S. 199)

einem berühmten Experiment sein Leben aufs Spiel, als er im Gewitter einen Drachen steigen ließ. In Frankreich untersuchte ein Chemiker namens Pilatre de Rozier die Brennbarkeit von Wasserstoff, indem er seinen Mund mit dem Gas füllte und es dann in eine offene Flamme blies; damit bewies er mit einem Schlag, dass Wasserstoff tatsächlich brennbar ist und dass Augenbrauen nicht unbedingt ein unverzichtbarer Bestandteil eines Gesichtes sind. Cavendish setzte sich in seinen Experimenten selbst immer stärkeren elektrischen Schlägen aus und führte dabei sorgfältige Aufzeichnungen über die zunehmenden Schmerzen, bis er seine Schreibfeder nicht mehr halten konnte und manchmal sogar das Bewusstsein verlor.

Im Laufe seines langen Lebens machte Cavendish eine Reihe bahnbrechender Entdeckungen – unter anderem war er der Erste, der Wasserstoff in reiner Form darstellte und ihn mit Sauerstoff reagieren ließ, sodass Wasser entstand. Aber fast nichts, was er tat, entbehrt einer gewissen Seltsamkeit. Zur ständigen Empörung seiner Wissenschaftskollegen spielte er in seinen Veröffentlichungen häufig auf die Ergebnisse zweideutiger Experimente an, von denen er niemandem etwas erzählt hatte. In seiner Geheimniskrämerei ähnelte er nicht nur Newton, sondern er legte es aktiv darauf an, diesen zu übertreffen. Seine Experimente zur elektrischen Leitfähigkeit waren ihrer Zeit um ein Jahrhundert voraus, blieben aber leider auch unbekannt, bis dieses Jahrhundert vorüber war. Seine Leistungen blieben sogar in ihrer Mehrzahl bis Ende des 19. Jahrhunderts unentdeckt – erst dann machte sich der Physiker James Clerk Maxwell aus Cambridge an die Aufgabe, Cavendishes Aufzeichnungen wissenschaftlich aufzuarbeiten, und zu jener Zeit hatten bereits in fast allen Fällen andere das Verdienst eingestrichen.

Neben vielen anderen – und ohne jemandem etwas davon zu sagen – entdeckte oder postulierte Cavendish den Energieerhaltungssatz, das Ohmsche Gesetz, Dalton's Gesetz der Partialdrücke, Richters Gesetz der umgekehrten Proportionen, Charles' Gasgesetz und die Prinzipien der elektrischen Leitfähigkeit. Und das ist nur ein Teil seiner Leistungen. Nach Angaben des Wissenschaftshistorikers J. G. Crowther »nahm er auch die Ar-

beiten von Kelvin und G. H. Darwin über die Verlangsamung der Erddrehung durch die Reibung der Gezeiten und die 1915 veröffentlichte Entdeckung von Larmor über die Auswirkungen lokaler Abkühlung in der Atmosphäre vorweg ... aber auch die Arbeiten von Pickering über gefrierende Mischungen und einen Teil der Arbeiten von Roosevelt über heterogene Gleichgewichte.²⁰ Und schließlich hinterließ er Anhaltspunkte, die unmittelbar zur Entdeckung der Edelgase führten – manche Elemente aus dieser Gruppe sind so schwer fassbar, dass das letzte erst 1962 dingfest gemacht wurde. Besonders interessant ist in unserem Zusammenhang jedoch Cavendishs letztes bekanntes Experiment: Im Spätsommer 1797, mit 67 Jahren, wandte er seine Aufmerksamkeit den Kisten mit Ausrüstungsgegenständen zu, die ihm John Michell – anscheinend einfach aus wissenschaftlichem Respekt – hinterlassen hatte.

Zusammengebaut sah Michells Apparat ganz ähnlich aus wie eine ins 18. Jahrhundert versetzte Bodybuilding-Maschine. Sie war eine Konstruktion aus Gewichten, Gegengewichten, Pendeln, Drehachsen und Drahtseilen. Kernstück der Maschine waren zwei Bleikugeln von jeweils knapp 160 Kilo, die neben zwei kleineren Kugeln aufgehängt waren.²¹ Damit sollte gemesen werden, wie stark die kleineren Kugeln durch die Gravitation der größeren abgelenkt werden, sodass man zum ersten Mal jene schwer fassbare Größe dingfest machen konnte, die als Gravitationskonstante bekannt ist. Mit ihrer Hilfe konnte man dann das Gewicht (oder genauer gesagt, die Masse)^{*} der Erde berechnen.

Da die Gravitation sowohl die Planeten in ihren Umlaufbahnen hält als auch fallende Gegenstände mit einem Knall landen

* Für den Physiker sind Masse und Gewicht zwei ganz verschiedene Dinge. Die Masse eines Gegenstandes bleibt immer gleich, sein Gewicht dagegen verändert sich, je nachdem, wie weit er vom Mittelpunkt eines Planeten oder eines anderen großen Objektes entfernt ist. Ein Mensch, der zum Mond fliegt, ist dort viel leichter, hat aber nach wie vor die gleiche Masse. Auf der Erde kann man Masse und Gewicht unter allen praktischen Gesichtspunkten gleichsetzen und deshalb auch beide Begriffe zumindest außerhalb des Schulunterrichts als gleichbedeutend ansehen.

lässt, halten wir sie meist für eine starke Kraft, aber das stimmt eigentlich nicht. Stark ist sie nur in einem gewissermaßen kollektiven Sinn, wenn ein sehr massereiches Objekt, beispielsweise die Sonne, ein anderes massereiches Objekt wie die Erde festhält. Im kleineren Maßstab ist die Gravitation außerordentlich schwächlich. Jedes Mal, wenn wir ein Buch vom Tisch nehmen oder eine Münze vom Boden aufheben, überwinden wir mühevoll die gesamte Schwerkraft eines ganzen Planeten. Auf einem solchen Feder gewichtsniveau wollte Cavendish die Gravitation messen.

Das entscheidende Wort hieß Empfindlichkeit. In dem Raum mit dem Apparat durfte nicht die geringste Störung auftreten, deshalb postierte Cavendish sich im Nachbarzimmer und stellte seine Beobachtungen mit einem Teleskop an, mit dem er durch ein kleines Loch blickte. Es waren unglaublich heikle Arbeiten mit 17 raffinierten, gekoppelten Messungen, und bis zu ihrem endgültigen Abschluss verging fast ein Jahr. Als er seine Berechnungen schließlich beendet hatte, gab Cavendish bekannt, die Erde wiege ein wenig mehr als 13 000 000 000 000 000 000 englische Pfund oder sechs Milliarden Billionen Tonnen, um eine moderne Maßeinheit zu verwenden.²²

Heute stehen den Wissenschaftlern so genaue Apparate zur Verfügung, dass sie das Gewicht einer einzigen Bakterienzelle feststellen können, und die Anzeige ist so empfindlich, dass sie noch beeinflusst wird, wenn jemand in 25 Metern Entfernung gähnt, aber Cavendishs Messungen von 1797 konnten sie nicht nennenswert verbessern. Nach der derzeit besten Schätzung wiegt die Erde 5,9725 Milliarden Billionen Tonnen, was im Vergleich zu Cavendishs Befunden nur einer Abweichung von etwa einem Prozent entspricht. Interessanterweise war das alles nur eine Bestätigung für Schätzungen, die Newton schon 110 Jahre vor Cavendish ohne den geringsten experimentellen Beleg vornahm.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wussten die Wissenschaftler also über Form und Abmessungen der Erde sowie über ihre Entfernung von der Sonne und den Planeten sehr genau Bescheid, und Cavendish hatte das Gewicht beigetragen, ohne sein

Haus auch nur zu verlassen. Man könnte sich also vorstellen, dass es auch relativ einfach war, das Alter der Erde zu ermitteln. Schließlich lag das notwendige Material den Wissenschaftlern buchstäblich zu Füßen. Irrtum. Menschen spalteten das Atom und erfanden Fernsehen, Nylon und löslichen Kaffee, bevor sie das Alter ihres eigenen Planeten herausgefunden hatten.

Um die Gründe zu verstehen, müssen wir in den Norden nach Schottland reisen, und dabei begegnet uns zunächst ein hochintelligenter, geradezu genialer Mann, von dem nur die wenigen schon einmal gehört haben. Er hatte kurz zuvor eine neue Wissenschaft erfunden: die Geologie.

ber, und Silber steht über dem Gold, weil alle drei als Metalle chemisch verwandt sind; Helium, Neon und Argon dagegen stehen als Gase in einer anderen senkrechten Spalte. (Fachlich korrekt müsste man sagen: Die Anordnung erfolgt auf Grund der Elektronenvalenzen, aber wer das verstehen will, muss sich bei der Abendschule einschreiben.) Die waagerechten Reihen dagegen enthalten die Elemente in aufsteigender Reihenfolge nach der Zahl der Protonen in ihren Atomkernen, das heißt nach ihrer so genannten Ordnungszahl.

Auf den Aufbau der Atome und die Bedeutung der Protonen werden wir in einem späteren Kapitel zu sprechen kommen, vorerst reicht es, wenn wir das Ordnungsprinzip verstehen: Ein Wasserstoffatom enthält nur ein Proton, hat deshalb die Ordnungszahl 1 und steht in der Tabelle an erster Stelle; das Uran mir seinen 92 Protonen ist fast am Ende angestiegen und trägt die Ordnungszahl 92. In diesem Sinn ist Chemie, wie Philip Ball deutlich gemacht hat, wirklich nur eine Frage des Zählens.²⁰ (Nebenbei bemerkt: Die Ordnungszahl ist nicht mit dem Atomgewicht zu verwechseln, das die Gesamtzahl der Protonen und Neutronen in den Atomen eines Elements angibt.) Immer noch gab es vieles, was man nicht wusste oder verstand. Der Wasserstoff ist im Universum das häufigste Element, und doch hatte noch weitere 30 Jahre niemand eine Ahnung, dass es ihn gab. Helium, das zweithäufigste Element, war erst im Jahr vorher entdeckt worden – über seine Existenz hatte man zuvor nicht einmal Vermutungen angestellt –, und das nicht auf der Erde, sondern auf der Sonne. Dort hatte man es während einer Sonnenfinsternis mit dem Spektroskop nachgewiesen, und deshalb erinnert sein Name an den griechischen Sonnengott Helios. In seiner Form dargestellt wurde es erst 1895. Aber immerhin: Dank Mendelejews Erfindung stand die Chemie jetzt auf einem sichereren Fundament.

Für die meisten Menschen ist das Periodensystem im absurden Sinn etwas Schönes, aber für Chemiker brachte es sofort eine Ordnung und Klarheit mit sich, die man garnicht hoch genug einschätzen kann. »Das Periodensystem der chemischen Elemente ist zweifellos das eleganteste Ordnungsdiagramm, das

jemals entwickelt wurde«, schrieb Robert E. Krebs in seinem Buch *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements*, und ähnliche Einschätzungen findet man in praktisch allen heutigen Büchern über die Geschichte der Chemie.²¹

Heute kennen wir »ungefähr 120 « Elemente²², 92 davon kommen in der Natur vor, ein paar Dutzend weitere wurden im Labor erzeugt. Die wirkliche Zahl ist ein wenig umstritten, denn die schweren, synthetisch hergestellten Elemente existieren nur wenige Millionen Sekunden, und in manchen Fällen streiten die Chemiker darüber, ob sie nun wirklich nachgewiesen wurden oder nicht. Zu Mendelejews Zeit kannte man erst 63 Elemente, und seine Klugheit bestand unter anderem in der Erkenntnis, dass die Elemente, über die man damals Bescheid wusste, nicht das vollständige Bild ausmachten, sondern dass noch viele Puzzlesteine fehlten. Seine Tabelle sagte erfreulich genau vor, aus, wo neue Elemente einzurichten waren, wenn man sie entdeckte.

Übrigens weiß niemand genau, wie hoch die Zahl der Elemente noch steigen kann: Alles, was über das Atomgewicht 168 hinausgeht, gilt als »reine Spekulation«. Aber was man auch findet, es wird mit Sicherheit fein säuberlich in Mendelejews großes Schema passen.²³

Eine letzte große Überraschung hielt das 19. Jahrhundert noch für die Chemiker bereit. Es begann 1896, als Henri Becquerel in Paris ein Paket mit Uransalzen in einer Schublade achtlos auf eine eingepackte Fotoplatte legte. Als er die Platte einige Zeit später herausnahm, musste er zu seiner Überraschung feststellen, dass das Salz darauf eine Schwärzung hinterlassen hatte, ganz als ob man die Platte dem Licht ausgesetzt hätte. Die Salze gaben also irgendeine Art von Strahlung ab.

Nachdem Becquerel über die Bedeutung seiner Beobachtung nachgedacht hatte, tat er etwas sehr Seltsames: Er übergab das Thema zur weiteren Untersuchung an eine Doktorandin. Glücklicherweise handelte es sich bei der Studentin um die kürzlich nach Frankreich ausgewanderte Polin Marie Curie. In Zusammenarbeit mit ihrem Mann Pierre, den sie kurz zuvor

geheiratet hatte, stellte sie fest, dass bestimmte Gesteinstypen ständig ungewöhnlich große Energiemengen abstrahlen, ohne dass sich ihre Größe oder sonst eine erkennbare Eigenschaft verändert. Was die Curies nicht wissen konnten – und was niemand wusste, bevor Einstein es im darauf folgenden Jahrzehnt erklärte: In dem Gestein verwandelte sich Masse auf äußerst effiziente Weise in Energie. Marie Curie taufte das Phänomen auf den Namen »Radioaktivität«.²⁴ Im Laufe ihrer Arbeiten fanden die Curies auch zwei neue Elemente: das Polonium, das sie nach ihrem Heimatland benannten, und das Radium. Im Jahr 1903 erhielt das Ehepaar Curie zusammen mit Becquerel den Nobelpreis für Physik. (Marie Curie erhielt 1911 noch einen zweiten Nobelpreis, dieses Mal in Chemie; damit war sie die Einzige, die jemals mit den Preisen für Chemie und Physik ausgezeichnet wurde.)

An der McGill University in Montreal interessierte sich jetzt der junge, in Neuseeland geborene Ernest Rutherford für die neuen radioaktiven Substanzen. Mit seinem Kollegen Frederick Soddy entdeckte er, dass in diesen kleinen Materiemengen gewaltige Energiereserven gebunden sind und dass der radioaktive Zerfall dieser Reserven die Wärme der Erde zum größten Teil erklären kann. Außerdem fanden sie heraus, dass die radioaktiven Elemente sich bei ihrem Zerfall in andere Elemente verwandeln – ein Uranatom kann beispielsweise am nächsten Tag zu einem Bleiatom geworden sein. Das war eine wahrhaft außergewöhnliche Entdeckung. Es war schlicht und einfach Alchemie; niemand hätte sich je träumen lassen, dass so etwas ganz natürlich und von selbst stattfinden kann.

Der stets pragmatische Rutherford erkannte als Erster, dass in allem wertvoller praktische Anwendungsmöglichkeiten steckten. Ihm fiel auf, dass immer die gleiche Zeit – die berühmte Halbwertszeit – verstreicht, bis eine bestimmten Proberadioaktiven Materials zur Hälfte zerfallen ist, und dass man diese konstante, zuverlässige Zerfalls geschwindigkeit als Uhr benutzen kann. Wenn man weiß, wie schnell es zerfällt, kann man zurückrechnen und so sein Alter bestimmen. Er untersuchte ein Stück Pechblende (das

wichtigste Uranerz) und gelangte zu einem Alter von 700 Millionen Jahren – weit mehr, als die meisten seiner Zeitgenossen der Erde als Lebensdauer zugestehen mochten.

Im Frühjahr 1904 reiste Rutherford nach London und hielt einen Vortrag bei der Royal Institution, jener altehrwürdigen Organisation, die der Graf von Rumford 105 Jahre zuvor gegründet hatte, in einer Puder- und Perückenzeit, die jetzt im Vergleich zur heimsärmeligen Defigur der späten viktorianischen Ära unendlich weit entfernt schien. Rutherford sollte über seine neue Theorie des radioaktiven Zerfalls berichten, und dazu brachte er auch ein Stück Pechblende mit. Taktvoll – der betagte Kelvin war anwesend, allerdings nicht immer ganz wach – bemerkte Rutherford, Kelvin selbst habe gesagt, dass die Entdeckung einer neuen Wärmequelle seine Berechnungen über den Hafen werfen würde. Diese neue Quelle hatte Rutherford gefunden. Dank der Radioaktivität konnte die Erde viel älter sein als die 24 Millionen Jahre, die Kelvins Berechnungen zuließen – und selbstverständlich war sie es auch.

Kelvin strahlte über Rutherfords respektvolle Worte, rückte aber in Wahrheit nicht von seiner Meinung ab. Er erkannte die neuen Zahlen nie an und war bis zu seinem Tod überzeugt, seine Arbeiten über das Alter der Erde seien sein klügster und wichtigster Beitrag zur Wissenschaft – weit bedeutsamer als seine Erkenntnisse in der Thermodynamik.²⁵

Wie die meisten wissenschaftlichen Umwälzungen, so wurden auch Rutherfords neue Erkenntnisse nicht sofort überall anerkannt. John Joly aus Dublin behauptete noch in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts streit und fest, die Erde sei nicht älter als 89 Millionen Jahre, und nahm diese Ansicht auch mit ins Grab. Andere machten sich Sorgen, Rutherford habe ihnen jetzt vielleicht zu viel Zeit zugestanden. Aber auch mit der radiometrischen Datierung, wie man die Zerfallsmessung jetzt nannte, sollten noch Jahrzehnte ins Land gehen, bevor man sich dem wahren Alter der Erde bis auf etwa eine Milliarde Jahre genähert hätte. Die Wissenschaft war auf der richtigen Spur, hatte aber noch einen langen Weg vor sich.

Kelvin starb 1907, im gleichen Jahr wie Dmitrij Mendelejew.

Dieser hatte wie Kelvin seine produktive Phase längst hinter sich, aber seine letzten Jahre waren von weitaus weniger Gelassenheit geprägt. Mendelejew wurde mit zunehmendem Alter immer exzentrischer und schwieriger; unter anderem erkannte er weder die Existenz der Strahlung an noch die Entdeckung der Elektronen oder andere neue Erkenntnisse. In den letzten Jahrzehnten seines Lebens stürmte er auch häufig überall in Europa würdevoll aus Labors und Hörsälen. Im Jahr 1955 wurde das Element Nummer 101 zu seinen Ehren auf den Namen Mendeleiumum getauft. »Im Gegensatz zu seinen Leistungen, die bis heute Bestand haben, ist es ein instabiles Element«, wie Paul Strathern dazu anmerkt.²⁶

Die Strahlung zog natürlich immer weitere Kreise, ganz buchstäblich und auf eine Art, mit der niemand gerechnet hatte. Schon in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts waren bei Pierre Curie eindeutige Anzeichen der Strahlenkrankheit zu erkennen, insbesondere ein dumpfer Gliederschmerz und chronisches Unwohlsein, und die Beschwerden wären sicher auf unangenehme Weise fortgeschritten. Genau werden wir es nie wissen, denn er kam 1906 ums Leben, als ihn beim Überqueren einer Straße in Paris eine Kutsche überfuhr.

Die mittlerweile hoch angesehene Marie Curie arbeitete zeit ihres weiter auf dem Gebiet und war unter anderem 1914 an der Gründung des berühmten Radiuminstituts der Pariser Universität beteiligt. Trotz ihrer beiden Nobelpreise wurde sie nie in die Akademie der Wissenschaften gewählt, vor allem weil sie nach Pierres Tod ein Verhältnis mit einem verheirateten Physiker anfing, bei dem die Diskretion so wenig gewahrt blieb, dass es selbst in Frankreich zum Skandal wurde – zumindest in den Augen der alten Männer, die in der Akademie das Sagen hatten, aber das ist vielleicht eine andere Geschichte.

Lange Zeit nahm man an, eine so wundersame Energie wie die Radioaktivität müsse nützlich sein. Hersteller von Zahn-pasta und Abführmitteln setzten ihren Produkten jahrrelang radioaktives Thorium zu, und mindestens bis Ende der zwanziger Jahre wiesen das Glen Springs Hotel in der Region der Finger Lakes im US-Bundesstaat New York (und zweifellos auch viele

andere) stolz auf die therapeutischen Wirkungen ihrer »radioaktiven Mineralquellen« hin.²⁷ Erst 1938 wurden radioaktive Zusätze in Konsumartikeln verboten.²⁸ Für Marie Curie war es zu jener Zeit bereits viel zu spät: Sie starb 1934 an Leukämie. In Wirklichkeit ist die Strahlung so heimtückisch und dauerhaft, dass man Curies Papiere aus den neunziger Jahren des 19. Jahrhunderts und sogar ihre Kochbücher noch heute nicht anfassen darf. Ihre Labor Tagebücher werden in Schachteln mit Bleiblei-lage aufbewahrt, und wer sie sehen will, muss Schurzkleidung anlegen.²⁹

Durch die hingebungsvolle, unwissentlich riskante Arbeit der ersten Atomwissenschaftler stellte sich in den Anfangsjahren des 20. Jahrhunderts heraus, dass die Erde zweifellos ein ehrwürdiges Alter hat. Aber noch ein halbes Jahrhundert wissenschaftlicher Forschung musste vergehen, bevor man verlässliche Kenntnisse darüber hatte, wie alt sie nun wirklich ist. Gleichzeitig begann auch in der Wissenschaft eine neue Ära: das Atomzeitalter.

Milliarden Moleküle.² Und ebenso viele sind auch in jedem anderen Kubikzentimeter um uns herum. Man stelle sich nur vor, wie viele Kubikzentimeter die Welt vor unserem Fenster enthält – wie viele Zuckerkügel man brauchen würde, um das Blickfeld auszufüllen. Und wie viele sind es erst im Universum! Die Atome sind, kurz gesagt, in wahrhaft riesiger Zahl vorhanden. Außerdem sind sie unglaublich dauerhaft. Mit ihrer Langbigkeit kommen die Atome wirklich weit herum. Jedes Atom in einem Menschen hat wahrscheinlich schon Aufenthalte in mehreren Sternen hinter sich und war auf dem Weg zu seiner jetzigen Position schon Bestandteil von Millionen Lebewesen. Jeder von uns besteht bei seinem Tod aus so vielen ständig wieder verwerteten Atomen, dass eine beträchtliche Zahl davon – nach manchen Schätzungen bis zu einer Milliarde in jedem Menschen – vermutlich einst zu Shakespeare gehörte.³ Jeweils eine weitere Milliarde stammt von Buddha, Dschingis Khan und Beethoven oder jeder anderen historischen Gestalt, die uns einfällt. (Aus der entfernteren Vergangenheit müssen sie allerdings stammen, denn es dauert natürlich ein paar Jahrzehnte, bis die Atome aus einem Körper sich wieder verteilt haben; bisher ist also niemand auf diese Weise mit Elvis Presley vereint, so sehr manch einer sich das auch wünschen mag.)

Jeder von uns ist also eine Reinkarnation – allerdings eine kurzlebige. Wenn wir gestorben sind, lösen unsere Atome sich voneinander und finden anderswo eine neue Verwendung – als Teil eines Blattes, eines anderen Menschen oder eines Tautropfens. Die Atome selbst jedoch leben praktisch ewig.⁴ Wie lange ein Atom erhalten bleibt kann, weiß niemand genau, aber nach Angaben von Martin Rees sind es vermutlich etwa 10^{35} Jahre – eine so große Zahl, dass sogar ich es angenehm finde, sie in verkürzter Schreibweise auszudrücken.

Vor allem aber sind Atome klein – sehr klein. Eine halbe Milliarden von ihnen, nebeneinander aufgereiht, könnten sich hinter einem menschlichen Haar verstecken. Bei solchen Größenverhältnissen ist es praktisch unmöglich, sich ein einzelnes Atom vorzustellen, aber wir können es natürlich versuchen.

Wir fangen mit einem Millimeter an; das ist eine Linie von fol-

9. Das mächtige Atom

Während Einstein und Hubble neue Erkenntnisse über die großen Strukturen des Kosmos sammelten, schlügen andere sich damit herum, etwas näher Liegendes zu verstehen, das aber auf seine Weise genauso weit entfernt war: das winzige, immer noch rätselhafte Atom.

Der große Physiker Richard Feynman vom California Institute of Technology machte einmal eine sehr zutreffende Bemerkung: Wenn man die gesamte Wissenschaftsgeschichte auf eine einzige Aussage reduzieren sollte, müsste diese lauten: »Alle Dinge bestehen aus Atomen.¹ Atome sind überall und bilden die Bausteine von allem. Man braucht sich nur umzusehen: Alles setzt sich aus Atomen zusammen – nicht nur feste Gegenstände wie Mauern, Tisch oder Sofa, sondern auch die Luff zwischen. Und ihre Zahl ist so groß, dass man sie sich nun wirklich nicht vorstellen kann.

Die grundlegende Funktionseinheit aus Atomen ist das Molekül (von dem lateinischen Wort für »kleine Masse«). Einfach gesagt besteht ein Molekül aus mindestens zwei Atomen, die in einer mehr oder weniger stabilen Anordnung zusammenwirken: Fügt man zwei Wasserstoffatome mit einem Atom Sauerstoff zusammen, entsteht ein Wassermolekül. Chemiker denken meist eher an Moleküle als an Elemente, ganz ähnlich wie ein Schriftsteller, der nicht an die einzelnen Buchstaben denkt, sondern an Wörter. Man zählt also die Moleküle, und die sind, gelinde sagt, wirklich zahlreich. Auf Meereshöhe und bei 0°C enthält ein Kubikzentimeter Luft (das ist ungefähr ein Volumen von der Größe eines Zuckerküpfels) nicht weniger als 45 Milliarden

gender Länge: „Jetzt stellen wir uns vor, diese Linie sei in 1000 gleiche Abschnitte unterteilt. Jeder davon ist einen Mikrometer lang. Damit befinden wir uns im Größenbereich der Mikroorganismen. Ein typisches Pantoffeltierchen ist beispielsweise 0,002 Millimeter oder zwei Mikrometer breit und damit wirklich schon sehr klein. Wollte man ein Pantoffeltierchen mit bloßem Auge in einem Wassertropfen schwimmen sehen, müsste man diesen Tropfen bis auf einen Durchmesser von zwölf Metern vergrößern.⁵ Wollte man jedoch die Atome in diesem Tropfen erkennen, müsste er einen Durchmesser von 23 Kilometern haben.

Mit anderen Worten: Für Atom gilt noch einmal ein ganz anderer Kleinheitsmaßstab. Um in den Größenbereich der Atome vorzudringen, müssten wir eine jener Linien von einem Mikrometer nehmen und nochmals in 10 000 Abschnitte unterteilen. Erst dann sind wir im Bereich der Atome angelangt: einem Zehnmillionstel Millimeter. Ein solches Ausmaß der Verkleinerung übersteigt die Fähigkeiten unserer Fantasie, aber eine Vorstellung von den Verhältnissen kann man sich verschaffen, wenn man bedenkt, dass ein Atom sich zur Länge einer Linie von einem Millimeter ebenso verhält wie die Dicke eines Blattes Papier zur Höhe des Empire State Building.

Nützlich sind die Atome natürlich wegen ihrer großen Zahl und ihrer extremen Haltbarkeit, und an ihrer Winzigkeit liegt es, dass sie so schwer nachzuweisen und zu verstehen sind. Die Erkenntnis, dass Atome diese drei Eigenschaften haben – sie sind klein, zahlreich und praktisch unzerstörbar – und dass alle Dinge aus ihnen bestehen, hatte als Erster nicht Antoine-Laurent Lavoisier (wie man vielleicht vermummt könnte) und auch nicht Henry Cavendish oder Humphry Davy, sondern ein recht unscheinbarer, nur oberflächlich gebildeter englischer Quäker namens John Dalton, der uns bereits in dem Kapitel über Chemie begegnet ist.

Dalton wurde 1776 am Rand des Lake District nicht weit von Cockerermouth als Sohn einer armen Weberfamilie geboren, die überzeugte Quäker waren. (Viele Jahre später erblickte der Dichter William Wordsworth ebenfalls in Cockerermouth das

Licht der Welt.) John war ein außergewöhnlich intelligenter Schüler – seine Klugheit führte dazu, dass man ihm im ungewöhnlich jungen Alter von zwölf Jahren die Leitung der örtlichen Quäkerschule übertrug. Dies sagt über die Schule vielleicht ebenso viel aus wie über Daltons Frühreife, vielleicht aber auch nicht: Aus seinen Tagebüchern wissen wir, dass er ungefähr zu dieser Zeit bereits Newtons *Principia* in der lateinischen Originalfassung las und sich auch mit anderen, ähnlich anspruchsvollen Werken beschäftigte. Mit 15 – er war immer noch Schulmeister – nahm er eine Stellung in der nahe gelegenen Kleinstadt Kendal an, und zehn Jahre später zog er nach Manchester, das er während seiner restlichen 50 Lebensjahre kaum noch verließ. In Manchester wurde er so etwas wie ein intellektueller Hansdampf in allen Gassen: Er schrieb Bücher und Aufsätze über ein breites Themenpektrum von der Meteorologie bis zur Grammatik. Die Farbenblindheit, an der er selbst litt, wurde wegen seiner Untersuchungen lange Zeit als Daltongismus bezeichnet. Seinen Ruf begründete er aber durch ein gewichtiges Buch mit dem Titel *A New System of Chemical Philosophy*, das 1808 erschien.

Darin begegnete den gebildeten Lesern in einem kurzen Kapitel von nur fünf Seiten (das ganze Buch hatte über 900) zum ersten Mal eine annähernd moderne Vorstellung von Atomen. Daltons einfache Erkenntnis lautete: Der innerste Kern aller Materie sind äußerst kleine, nicht weiter teilbare Teilchen. »Ein Wasserstoffteilchen zu zerstören suchen, wäre genauso aussichtslos, wie einen neuen Planeten in das Sonnensystem einzuführen oder einen bereits bestehenden zu leugnen«, schrieb er.⁶

Eigentlich waren weder die Idee, dass es Atome gibt, noch der Begriff wirklich neu. Beide stammten bereits aus der griechischen Antike. Daltons Errungenschaft bestand darin, dass er sich Gedanken darüber mache, wie die Größenverhältnisse und Eigenschaften dieser Atome aussehen und wie sie zusammenpassen. So wusste er beispielsweise, dass Wasserstoff das leichteste Element ist, und deshalb schrieb er ihm ein Atomgewicht von 1 zu. Außerdem glaubte er, Wasser bestünde aus sieben Teilen Sauerstoff auf einen Teil Wasserstoff; also musste

der Sauerstoff nach seiner Überzeugung das Atomgewicht 7 haben. Mit solchen Mitteln gelangte er zu den relativen Gewichten aller bekannten Elemente. Nicht immer hatte er dabei genau Recht – das Atomgewicht des Sauerstoffs beträgt in Wirklichkeit nicht 7, sondern 16 –, aber das Prinzip war stichhaltig und bildet die Grundlage für die gesamte moderne Chemie sowie für große Teile der übrigen modernen Naturwissenschaften.

Mit diesen Arbeiten wurde Dalton berühmt – allerdings nach Art der englischen Quäker auf eine bescheidene Weise. Den französischen Chemiker P. J. Pelletier reiste 1826 nach Manchester, um den Helden der Atome kennen zu lernen.⁷ Pelletier rechnete damit, er werde Dalton an einer großen Institution vorfinden, und musste dann zu seinem Erstaunen feststellen, dass er kleinen Jungen an einer Schule in einer Seitenstraße die Grundlagen der Arithmetik beibrachte. Wie der Wissenschaftshistoriker E. J. Holmyard berichtet, stammelte Pelletier, nachdem er den berühmten Mann gesehen hatte, völlig verwirrt:

»Est-ce que j'ai l'honneur de m'adresser à Monsieur Dalton?« Er traute seinen Augen kaum: Derselbe Mann, der hier einem Jugendlichen die Grundrechnungsarten beibrachte, sollte der in ganz Europa berühmte Chemiker sein? »Ja,« sagte der Quäker kurz angedunden. »Nehmen Sie doch Platz, bis ich dem Kleinen hier seine Arithmetik eingerichtet habe.«⁸

Dalton versuchte zwar, sich allen Ehrungen zu entziehen, aber er wurde gegen seinen Wunsch in die Royal Society gewählt, mit Orden überhäuft und mit einer hübschen staatlichen Pension ausgestattet. Als er 1844 starb, erwiesen ihm 40 000 Menschen die letzte Ehre, und der Trauerzug war drei Kilometer lang.⁹ Der Eintrag über ihn ist einer der längsten im *Dictionary of National Biography*, vergleichbar unter den Wissenschaftlern des 19. Jahrhunderts nur mit denen von Darwin und Lyell.

Nachdem Dalton seine Gedanken geäußert hatte, blieben sie noch 100 Jahre eine reine Hypothese,¹⁰ und einige angesehene Wissenschaftler – insbesondere der Wiener Physiker Ernst Mach,

nach dem die Schallgeschwindigkeit benannt ist – bezweifelten, dass es überhaupt Atome gibt. »Atome sind mit den Sinnen nicht wahrzunehmen... sie sind ein reines Gedankenprodukt«, schrieb Mach. An der Existenz der Atome bestanden insbesondere im deutschsprachigen Raum so starke Zweifel, dass das Thema angeblich sogar für den Selbstmord des großen theoretischen Physikers und begeisterten Atomanhängers Ludwig Boltzmann im Jahr 1906 eine Rolle gespielt haben soll.¹¹

Den ersten unwiderleglichen Beweis für die Existenz der Atome lieferte Einstein 1905 mit seinem Aufsatz über die Brown'sche Molekularbewegung, aber diese Arbeit erregte kaum Aufmerksamkeit, und Einstein wurde ohnehin schon wenig später völlig durch seine Arbeit an der allgemeinen Relativitätstheorie in Anspruch genommen. Der erste wahre Held des Atomzeitalters, ja eigentlich sogar überhaupt die erste Gestalt auf dieser Bühne, war Ernest Rutherford.

Rutherford wurde 1871 in einer abgelegenen Ecke von Neuseeland geboren. Seine Eltern waren aus Schottland eingewandert, bauten Flachs an und zogen viele Kinder groß (so eine Formulierung von Steven Weinberg).¹² Aufgewachsen in einem abgelegenen Teil eines abgelegenen Landes, war er von den Hauptströmungen der Wissenschaft so weit entfernt, wie es überhaupt nur möglich war, aber 1895 erhielt er ein Stipendium, das ihm die Arbeit am Cavendish Laboratory der Universität Cambridge ermöglichte, und das war so ungefähr der angesagteste Ort der Welt, wenn man Physik betreiben wollte.

Physiker sind berüchtigt für die Verachtung, die sie Wissenschaftlern anderer Fachgebiete entgegenbringen. Als die Frau des großen österreichischen Physikers Wolfgang Pauli ihn wegen eines Chemikers verließ, war er vor Unglauben sprachlos. »Wenn sie einen Stierkämpfer genommen hätte, das hätte ich ja noch verstanden«, meinte er einmal verwundert zu einem Freund, »aber ein Chemiker...«¹³

Dieses Gefühl hätte auch Rutherford nachempfinden können.¹⁴ »Naturwissenschaft ist entweder Physik oder Briefmarkensammeln«, sagte er einmal, und dieser Ausspruch wurde

seither vielfach wiederholt. Es entbehrt deshalb nicht einer gewissen Ironie, dass er den Nobelpreis 1908 nicht für Physik bekam, sondern für Chemie.

Rutherford hatte Glück – einerseits, weil er ein Genie war, vor allem aber weil er in einer Zeit lebte, als Physik und Chemie so spannend waren und einander (seinen eigenen Empfindungen zum Trotz) so gut ergänzten. Derart angenehme Überschneidungen sollte es später nie mehr geben.

Bei allen seinen Erfolgen war Rutherford nicht besonders schlaflos, und seine Kenntnisse in Mathematik waren sogar ziemlich schlecht. In seinen Vorlesungen verlor er sich häufig sehr in seinen eigenen Gleichungen, dass er auf halbem Wege aufgeben und den Studenten sagen musste, sie sollten es selbst herausfinden.¹⁵ Nach den Berichten seines langjährigen Kollegen James Chadwick, der die Neutronen entdeckte, war er nicht einmal beim Experimentieren besonders schlau, sondern nur harmnäckig und aufgeschlossen. Was ihm an Eleganz fehlte, machte er jedoch durch Vielseitigkeit und eine Art Wagemut wett. Sein Geist arbeitete nach den Worten eines Biografen »immer an den Grenzen dessen, was er erkennen konnte, und das war beträchtlich mehr als bei den meisten anderen Menschen«.¹⁶ Angesichts eines unlösbarren Problems war Rutherford bereit, länger und härter zu arbeiten als die meisten anderen, und dabei war er auch aufgeschlossener für unorthodoxe Erklärungen. Seine größte Entdeckung gelang ihm, weil er unglaublich lange Stunden vor einem Bildschirm saß und die so genannte Szintillation von Alphateilchen zählte – eine Arbeit, die man normalerweise delegiert. Als einer der Ersten – vielleicht sogar überhaupt als Erster – erkannte er, dass man durch Nutzungsmachung der in den Atomen steckenden Kräfte eine Bombe bauen kann, die »diese alte Welt in Rauch aufgehen lässt«.¹⁷

Körperlich war er groß und kräftig, und seine Stimme ließ ängstliche Charaktere zusammenzucken. Als ein Kollege hörte, Rutherford solle in einer Radiosendung auftreten, die über den Atlantik übertragen wurde, fragte er trocken: »Wozu braucht er das Radio?«¹⁸ Außerdem besaß er ein gerüttelt Maß an gutmüti-

gem Selbstvertrauen. Einmal meinte jemand zu ihm, er scheine immer auf dem Kamm einer Welle zu reiten; darauf erwiederte Rutherford: »Kann sein, aber ich habe doch die Welle gemacht, oder?« C. P. Snow berichtet, wie er einmal in einem Schneiderladen in Cambridge eine Bemerkung von Rutherford mithörte: »Mein Bauch wird jeden Tag größer. Mein Geist auch.«¹⁹

1895 jedoch, als Rutherford am Cavendish Laboratory^{*} anfing, lagen Bauch und Ruhm noch weit in der Zukunft. Es war in der Naturwissenschaft eine Phase von einzigartigem Ereignisreichtum. In dem Jahr, als Rutherford in Cambridge eintraf, entdeckte Wilhelm Röntgen an der Universität Würzburg die nach ihm benannten Strahlen, und im folgenden Jahr stieß Henri Becquerel auf die Radioaktivität. Und am Cavendish Laboratory selbst begann eine lange Phase großartiger Errungenschaften. Hier entdeckten J. J. Thomson und seine Kollegen 1897 das Elektron, 1911 baute C. T. R. Wilson den ersten Teilchendetektor (auf den wir noch genauer zu sprechen kommen werden), und 1932 entdeckte James Chadwick das Neutron. Und in noch fernerer Zukunft, 1953, sollten James Watson und Francis Crick an dem gleichen Ort die Struktur der DNA aufklären.

Anfangs beschäftigte sich Rutherford mit Funkwellen, und das durchaus mit Erfolg: Es gelang ihm, ein deutliches Signal über weit mehr als einen Kilometer zu übertragen, zu jener Zeit eine beachtliche Leistung. Dann aber gab er die Arbeiten auf, weil ein älterer Kollege ihn überzeugt hatte, dass es für den Funk kaum eine Zukunft gebe.²⁰ Insgesamt betrachtet, ging es Rutherford am Cavendish Laboratory allerdings nicht besonders gut. Als er nach drei Jahren den Eindruck gewonnen hatte, dass seine Bemühungen ihn nicht weiterführten, übernahm er eine Stelle an der McGill University in Montreal, und dort begann sein langer, stetiger Aufstieg zum Ruhm. Als er den Nobelpreis erhielt (für »Untersuchungen zum Zerfall der Ele-

* Der Name erinnert an die gleiche Familie Cavendish, aus der auch Henry stammte. Das Labor wurde nach William Cavendish, dem siebten Duke von Devonshire benannt, der im viktorianischen England ein begabter Mathematiker und Stahlmagnat war. Er stiftete der Universität 1870 die Summe von 63 000 Pfund, damit sie ein Experimentalabor bauen konnte.

mente und zur Chemie radioaktiver Substanzen«, so die offizielle Formulierung), hatte er bereits an die Universität Manchester gewechselt, und dort unternahm er seine wichtigsten Forschungsarbeiten zur Aufklärung von Struktur und Eigenschaften der Atome.

Anfang des 20. Jahrhunderts wusste man bereits, dass Atome aus verschiedenen Teilen bestehen – das hatte Thomson mit seiner Entdeckung des Elektrons nachgewiesen; wie viele Teile es sind, wie sie zusammenpassen und welche Form sie haben, war jedoch nicht geklärt. Manche Physiker vermuteten, die Atome könnten würfelförmig sein, denn Würfel kann man dicht zusammenpacken, ohne dass Platz verschwendet wird.²¹ Allgemein herrschte jedoch die Ansicht vor, ein Atom habe Ähnlichkeit mit einem Rosinenbrötchen: Ein dichtes, festes Gebilde, das eine positive Ladung trägt, aber mit negativ geladenen Elektronen besetzt ist wie das Brötchen mit den Rosinen.

Im Jahr 1910 beschoss Rutherford (mit Hilfe seines Studenten Hans Geiger, der später das nach ihm benannte Strahlennachweisinstrument erfand*) Goldfolie mit ionisierten Heliumatomen, die man auch Alphateilchen nennt. Zu Rutherfords Überraschung prallten manche Teilchen ab. Es war, so erklärte er, als habe er eine 15-Zoll-Granate auf ein Blatt Papier gefeuert, und sie sei in seine Arme zurückgeschleudert worden. Damit hatte niemand gerechnet. Nach eingehendem Nachdenken erkannte er, dass es eigentlich nur eine Erklärungsmöglichkeit gab: Die Teilchen, die zurückgeworfen wurden, waren im Inneren des Atoms auf etwas sehr Kleines, Dichtes gestoßen, die anderen Teilchen dagegen waren ungehindert hindurchgeflogen. Ein Atom, das erkannte Rutherford jetzt, besteht zum größten Teil aus leerem Raum, hat aber in der Mitte einen sehr dichten Kern. Es war eine höchst erfreuliche Entdeckung, aber sie warf sofort ein Problem auf. Nach allen Gesetzen der herkömmlichen Physik dürfte es eigentlich keine Atome geben.

Halten wir einmal kurz inne und betrachten wir, was wir heute über den Aufbau der Atome wissen. Jedes Atom besteht aus dreierlei Elementarteilchen: den positiv geladenen Protonen, den negativ geladenen Elektronen und den Neutronen, die überhaupt keine Ladung tragen. Protonen und Neutronen liegen dicht gedrängt im Atomkern, den die Elektronen in einiger Entfernung umkreisen. Die Zahl der Protonen ist entscheidend für die chemische Identität eines Atoms.²² Enthält es ein Proton, handelt es sich um ein Wasserstoffatom, ein Atom mit zwei Protonen ist Helium, mit drei Protonen Lithium und so weiter. Mit jedem neuen hinzukommenden Proton entsteht ein neues Element. (Da der Zahl der Protonen in einem Atom immer die gleiche Zahl von Elektronen gegenübersteht, liest man manchmal auch, dass die Zahl der Elektronen ein Element definiert; das läuft aber auf das Gleiche hinaus. Mir hat man es so erklärt, dass die Protonen einem Atom seine Identität verleihen und die Elektronen für seine Persönlichkeit verantwortlich sind.)

Neutronen wirken sich nicht auf die Identität eines Atoms aus, tragen aber zu seiner Masse bei. Ihre Zahl ist in der Regel ungefähr ebenso groß wie die der Protonen, sie kann aber nach oben und unten ein wenig schwanken. Durch ein oder zwei Neutronen mehr entsteht ein neues Isotop.²³ Die Zahlen, die man im Zusammenhang mit archäologischen Datierungserfahren hört, bezeichnen Isotope: Kohlenstoff-14 beispielsweise ist ein Kohlenstoffatom mit sechs Protonen und acht Neutronen (zusammen also 14 Teilchen).

Neutronen und Protonen bilden den Atomkern. Dieser Kern ist winzig – er nimmt vom Gesamtvolumen des Atoms nur ein Millionstel eines Milliardstels in Anspruch.²⁴ Andererseits ist er aber unglaublich dicht, denn er enthält praktisch die gesamte Masse des Atoms. Cropper formuliert es so: Würde man ein Atom auf die Ausmaße einer Kathedrale vergrößern, wäre der Kern nur ungefähr so groß wie eine Fliege – aber die wäre viele tausend Mal schwerer als die Kathedrale.²⁵ Diese Geräumigkeit – diese unglaubliche, überraschende Menge an leerem Raum – war es, was Rutherford 1910 ins Grübeln brachte.

Noch heute ist es eine recht erstaunliche Vorstellung, dass

* Geiger wurde später übrigens zu einem überzeugen Nazi, der ohne Zögern jüdische Kollegen verriet, darunter viele, die ihm geholfen hatten.

Atome vorwiegend aus leerem Raum bestehen und dass die feste Materie, die wir überall um uns herum wahrnehmen, eigentlich eine Illusion ist. Wenn zwei Gegenstände in unserer Wirklichkeit zusammentreffen – als Beispiel dienen meist Billardkugeln –, stoßen sie in Wirklichkeit nicht aneinander, sondern, wie Timothy Ferris erklärt, »die negativ geladenen Felder der beiden Kugeln stoßen einander ab ... und sie könnten, wenn nicht ihre gleichmäßige elektrische Ladung sie daran hinderte, einander wie Galaxien unversehrt durchdringen«.²⁶ Wenn ich auf einem Stuhl sitze, sitze ich eigentlich nicht dort, sondern ich schwebte in einer Höhe von ungefähr einem Ångström (einem Hundertmillionstel Zentimeter) darüber, weil meine Elektronen und die des Stuhls sich jedem engeren Kontakt widersetzen.

In dem Bild eines Atoms, das fast jeder im Kopf hat, kreisen ein oder zwei Elektronen um den Atomkern wie Planeten um die Sonne. Dieses Bild schuf der japanische Physiker Hanitaro Nagaoka im Jahr 1904, und dabei stützte er sich eigentlich nur auf kluge Vermutungen. Es ist völlig falsch, hält sich aber hartnäckig. Isaac Asimov wies gern darauf hin, dass es Generatoren von Sciencefiction-Autoren zu Geschichten von der Welt in der Welt anregte, von Atomen, die zu winzigen, bewohnten Sonnensystemen wurden, oder von unserem Sonnensystem, das sich nur als winziger Baustein von etwas viel Größeres erweist. Noch heute benutzt CERN, die Europäische Organisation für Kernforschung, Nagaokas Bild als Logo für ihre Webseite. In Wirklichkeit erkannten die Physiker schon recht bald, dass Elektronen keineswegs kreisende Planeten sind, sondern eher die Blätter eines rotierenden Propellers, die jedes Stückchen Raum in ihrer Umlaufbahn gleichzeitig ausfüllen (allerdings mit dem entscheidenden Unterschied, dass die Propellerblätter nur überall zugleich zu sein scheinen; Elektronen sind es wirklich).

Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, dass man 1910 und noch viele Jahre danach von alledem kaum etwas wusste. Rutherfords Befund warf sofort einige große Probleme

auf; nicht zuletzt sollte man ja auch annehmen, dass ein Elektron nicht um den Atomkern kreist, sondern in ihm hineinstürzt. Nach der herkömmlichen Theorie der Elektrodynamik verliert ein fliegendes Elektron sehr schnell – in einem kurzen Augenblick – seine Energie, sodass es sich spiralförmig in Richtung des Atomkerns bewegt, was für beide katastrophale Folgen hat. Außerdem stellte sich die Frage, warum die Protonen mit ihrer positiven Ladung im Atomkern zusammenbleiben und nicht auseinander fliegen, sodass das ganze Atom sich auflöst. Was in der Welt des Allerkleinsten auch vorgehen mochte, es unterlag ganz eindeutig nicht den Gesetzen der makroskopischen Erfahrungen, auf die sich unsere Erwartungen stützen.

Als die Physiker immer tiefer in den subatomaren Bereich eindrangen, erkannten sie, dass er sich nicht nur von allem unterscheidet, was man bis dahin kannte, sondern auch von allem, was man sich überhaupt vorstellen konnte. Richard Feynman meinte dazu einmal: »Da Atome sich so ganz anders verhalten, als nun dies auch unserer alltäglichen Erfahrung vertraut ist, fällt es äußerst schwer, sich daran zu gewöhnen; jedem, sowohl dem Neuling auf diesem Gebiet wie auch dem erfahrenen Physiker, erscheint es seltsam und geheimnisvoll.«²⁷ Als Feynman das sagte, hatten die Physiker bereits ein halbes Jahrhundert Zeit gehabt, sich auf das seltsame Verhalten der Atome einzustellen. Man stelle sich nur vor, wie Rutherford und seine Kollegen sich kurz nach 1910 gefühlt haben müssen, als das alles völlig neu war.

Einer von Rutherfords Mitarbeitern war ein sanftmütiger,

ungänglicher Däne namens Niels Bohr. Als er 1913 über dem Aufbau des Atoms rätselte, kam ihm eine so spannende Idee,

dass er sogar seine Flitterwochen verschob und erst einmal einen Aufsatz schrieb, der sich als bahnbrechend erweisen sollte. Da die Physiker ein Gebilde von der Größe eines Atoms

nicht sehen konnten, mussten sie es zu beeinflussen versuchen

und dann aus seinem Verhalten auf seine Struktur schließen, wie

Rutherford es getan hatte, als er eine Folie mit Alphateilchen bombardierte. Wie nicht anders zu erwarten, führten solche Ex-

perimente manchmal zu verblüffenden Ergebnissen. Ein Rätsel,

das schon seit langer Zeit im Raum stand, hatte mit den Wellenlängen des Wasserstoffs im Spektrum zu tun. Das beobachtete Muster zeigte, dass Wasserstoffatome ihre Energie mit ganz bestimmten Wellenlängen abgeben, mit anderen jedoch nicht. Es war, als ob man jemanden beobachtete, der immer an bestimmten Stellen auftauchte, ohne dass man jemals sehen konnte, wie er von einem Ort zum anderen gelangte. Warum das so war, wusste niemand.

Als Bohr an diesem Problem herumrätselte, fiel ihm eine Lösung ein, und er schrieb seinen berühmten Artikel. Unter dem Titel »Über den Aufbau der Atome und Moleküle« erklärte er, wie den Elektronen der Sturz in den Atomkernen erspart bleiben konnte: Dazu, so seine Vermutung, müssten sie nur ganz bestimmte, genau definierte Umlaufbahnen besetzen. Nach dieser neuen Theorie würde ein Elektron, das zwischen zwei Umlaufbahnen wechselt, aus der einen verschwinden und sofort in der anderen auftauchen, *ohne sich in dem Raum zwischen ihnen aufzuhalten*. Diese Idee vom so genannten »Quantensprung« hört sich natürlich sehr seltsam an, aber sie war so gut, dass sie einfach wahr sein musste. Sie verhinderte nicht nur, dass Elektronen auf die katastrophale Spiralbahn in Richtung des Atomkerns gerieten, sondern sie erklärte gleichzeitig auch die verwirrenden Wellenlängen des Wasserstoffspektrums. Die Elektronen tauchten nur in bestimmten Umlaufbahnen auf, weil sie nur in bestimmten Umlaufbahnen existieren. Das war eine verblüffende Erkenntnis, und sie brachte Bohr 1922, ein Jahr nach Einstein, den Nobelpreis ein.

In der Zwischenzeit entwickelte der unermüdliche Rutherford, der mittlerweile die Nachfolge von J. J. Thomson als Leiter des Cavendish Laboratory angetreten hatte und sich wieder in Cambridge befand, ein Modell zur Beantwortung der Frage, warum der Atomkern nicht auseinander fliegt. Er erkannte, dass es dort noch andere, neutralisierende Teilchen geben musste, die er deshalb als Neutronen bezeichnete. Es war eine einfache, reizvolle Idee, aber sie war nicht leicht zu beweisen. Rutherfords Mitarbeiter James Chadwick widmete der Suche nach den Neutronen elf Jahre harter Arbeit, bevor er 1932

schließlich Erfolg hatte. Auch er erhielt 1935 den Physik-Nobelpreis. Boorse und seine Kollegen vertreten in ihrer historischen Darstellung des Themas im Übrigen die Ansicht, die verdeckte Entdeckung sei vermutlich sehr vorteilhaft gewesen, denn die Beherrschung der Neutronen war eine unabdingbare Voraussetzung für die Entwicklung der Atombombe.²⁸ (Da Neutronen keine Ladung tragen, werden sie von den elektrischen Feldern im Inneren eines Atoms nicht abgestoßen, und man kann sie wie winzige Torpedos auf den Atomkern schießen, was dann den zerstörerischen Vorgang der Kernspaltung in Gang setzt.) Hätte man das Neutron schon in den zwanziger Jahren dingfest gemacht, so Boorse, »wäre die Atombombe zuerst höchstwahrscheinlich in Europa entwickelt worden, und zwar zweifellos von den Deutschen«.

So jedoch hatten die Europäer alle Hände voll zu tun, das seltsame Verhalten der Elektronen zu begreifen. Vor allem stärkten sie vor dem Problem, dass ein Elektron sich manchmal wie ein Teilchen und manchmal wie eine Welle verhält. Diese unverständliche Dualität trieb die Physiker fast zur Verzweiflung. Während der folgenden zehn Jahre dachten sie überall in Europa angestrengt nach, kritzelierten Zahlen und boten konkurrierende Hypothesen an. Prinz Louis-Victor de Broglie, Spross einer Familie französischer Herzöge, fand beispielsweise heraus, dass bestimmte Anomalien im Verhalten der Elektronen verschwinden, wenn man sie als Welle betrachtet. Auf diesen Befund wurde der Österreicher Erwin Schrödinger aufmerksam: Er brachte einige raffinierte Verfeinerungen an und entwickelte ein nützliches System, das als Wellenmechanik bezeichnet wurde. Fast zur gleichen Zeit stellte der deutsche Physiker Werner Heisenberg eine Konkurrenztheorie vor, die er Matrizemechanik nannte. Sie war mathematisch so kompliziert, dass kaum jemand sie wirklich verstand, auch Heisenberg selbst nicht (»Ich weiß nicht einmal, was eine Matrix ist«, sagte der Physiker einmal verzweifelt zu einem Freund²⁹), aber anschließend löste sie manche Probleme, die mit Schrödingers Wellenmechanik nicht zu erklären waren.

Nun hatte die Physik zwei Theorien, die von gegensätzlichen

Voraussetzungen ausgingen und zu den gleichen Ergebnissen führten. Es war eine unmögliche Situation.

Im Jahr 1926 schließlich schlug Heisenberg zur allgemeinen Erleichterung einen Kompromiss vor, und daraus entstand ein neues Fachgebiet, das unter dem Namen Quantenmechanik bekannt wurde. Ihr Kernstück war die Heisenberg'sche Unschärferelation: Es besagt, dass das Elektron ein Teilchen ist, das sich aber mit Wellenbegriffen beschreiben lässt. Die Unschärfe, auf der die gesamte Theorie aufbaut, besteht darin, dass wir den Weg eines Elektrons kennen können, wenn es sich durch den Raum bewegt, oder aber den Ort, an dem es sich zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet; man kann aber niemals beides genau feststellen. Jeder Versuch, eines von beiden zu messen, führt zwangsläufig zu einer Beeinträchtigung des anderen. Dabei handelt es sich nicht um einen Mangel an ausreichend genauen Messinstrumenten, sondern es ist eine unveränderliche Eigenschaft des Universums.³⁰

In der Praxis bedeutet das, dass man nie genau voraussagen kann, wo sich ein Elektron in einem bestimmten Augenblick aufhält. Man kann nur die Wahrscheinlichkeit benennen, dass es dort ist. In einem gewissen Sinn, so eine Formulierung von Dennis Overbye, existiert das Elektron erst dann, wenn man es beobachtet. Oder, etwas anders ausgedrückt: Solange man ein Elektron nicht beobachtet, muss man davon ausgehen, dass es sich »überall und nirgendwo zugleich« befindet.³¹

Wem das verwirrend erscheint, der findet vielleicht ein wenig Trost in dem Gedanken, dass auch die Physiker verwirrt waren. Laur Overbyé bemerkte Bohr einmal, »wer zum ersten Mal von der Quantentheorie hörte und nicht empört sei... den habe sie nicht richtig verstanden«.³² Und als Heisenberg gefragt wurde, wie man sich ein Atom vorstellen solle, erwiderte er: »Versucht es gar nicht erst!«³³

Nun hatte sich also herausgestellt, dass ein Atom ganz und gar nicht dem Bild entspricht, das die meisten Menschen sich davon gemacht hatten. Die Elektronen fliegen nicht um den Zellkern wie Planeten um die Sonne, sondern man muss sie sich eher als formlose, wolkenähnliche Gebilde vorstellen. Die

»Hülle« eines Atoms ist keine harte, glänzende Kapsel, wie Zeichnungen es uns manchmal weismachen wollen, sondern nur die äußerste dieser unscharfen Elektronenwolken. Die Wolke selbst ist eigentlich bloß eine Zone der statistischen Wahrscheinlichkeit und kennzeichnet den Bereich, außerhalb dessen das Elektron nur selten anzutreffen ist.³⁴ Könnte man ein Atom sehen, hätte es also eher Ähnlichkeit mit einem sehr verwaschenen Tennisball als mit einer scharf abgegrenzten Metallkugel (in Wirklichkeit sieht es allerdings wie keines von beiden aus und auch nicht wie irgendetwas anderes, das wir schon gesehen haben; wir haben es hier mit einer ganz anderen Welt zu tun als der, die wir um uns herum wahrnehmen).

Die Seltsamkeiten schienen kein Ende zu nehmen. Zum ersten Mal waren die Wissenschaftler «auf einen Bereich des Universums gestoßen, zu dessen Verständnis die Verdrahlung unseres Gehirns nicht ausreicht», wie James Trefil es formulierte.³⁵ Oder mit den Worten von Feynman: »Dinge in kleinem Maßstab verhalten sich keineswegs wie Dinge in großem Maßstab.«³⁶ Als die Physiker sich näher damit beschäftigten, erkannten sie, was für eine Welt sie entdeckt hatten: Hier konnten Elektronen nicht nur von einer Umlaufbahn in die andere springen, ohne den dazwischenliegenden Raum zu durchqueren, sondern Materie konnte auch aus dem Nichts zu existieren beginnen – »vorausgesetzt, sie verschwindet ausreichend schnell wieder«, so Alan Lightman vom Massachusetts Institute of Technology.³⁷

Der vielleicht faszinierendste unwahrscheinliche Aspekt der Quantenmechanik ist eine Idee, die sich aus dem Ausschlussprinzip ergibt, das Wolfgang Pauli 1925 formulierte: Danach »wissen« paarweise zusammengehörige subatomare Teilchen selbst dann, wenn sie durch beträchtliche Entfernung getrennt sind, was der jeweils andere Partner gerade tut. Teilchen haben eine Eigenschaft, die man als Spin bezeichnet, und nach der Quantentheorie braucht man nur den Spin eines Teilchens festzustellen, dann nimmt sein Schwesternteilchen im gleichen Augenblick den entgegengesetzten, ebenso großen Spin an, ganz gleich, wie weit es entfernt ist.

Zur Verdeutlichung schreibt der Wissenschaftsautor Law-

rence Joseph: Stellen wir uns zwei genau gleiche Billardkugeln vor, von denen sich die eine in Ohio und die andere auf den Fidschi-Inseln befindet; sobald wir die eine in Drehung versetzen, beginnt die andere genau mit der gleichen Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung zu rotieren.³⁸ Dass dieses Phänomen tatsächlich existiert, wurde 1997 bewiesen: Damals schickten Physiker der Universität Genf Photonen elf Kilometer weit in entgegengesetzte Richtungen und wiesen nach, dass ein Eingriff bei einem davon auch bei dem anderen sofort zu einer Reaktion führt.³⁹

Die Sache gewann eine solche Dynamik, dass Bohr auf einer Tagung über eine neue Theorie meinte, es sei nicht die Frage, ob sie verrückt sei, sondern ob sie verrückt genug sei. Um deutlich zu machen, wie sehr die Quantenwelt der Intuition widerspricht, formulierte Schrödinger ein berühmtes Gedankenexperiment. Darin sitzt eine hypothetische Katze in einer Schachtel, in der ein Atom einer radioaktiven Substanz an ein Gefäß mit Blausäure gehetzt ist. Zerfällt das Teilchen innerhalb einer Stunde, löst es einen Mechanismus aus, durch den das Gefäß zerbricht und die Katze vergiftet wird. Geschieht das nicht, überlebt die Katze. Da wir aber nicht wissen, welche der beiden Fälle eintritt, haben wir wissenschaftlich keine andere Wahl, als die Katze als zu 100 Prozent lebendig und gleichzeitig zu 100 Prozent tot zu betrachten. Das bedeutet, wie Stephen Hawking mit einem Hauch verständlicher Erregung feststellt: »Man kann künftige Ereignisse nicht exakt voraussagen, wenn man noch nicht einmal in der Lage ist, den gegenwärtigen Zustand des Universums genau zu messen!«⁴⁰

Wegen solcher Seltsamkeiten hatten viele Physiker eine Abneigung gegen die Quantentheorie oder zumindest gegen einige ihrer Aspekte, und für keinen galt das stärker als für Einstein. Es entbehrt nicht einer gewissen Ironie, war er es doch in seinem traumhaften Jahr 1905 gewesen, der so überzeugend erklärt hatte, dass die Photonen des Lichts sich manchmal als Teilchen und manchmal als Welle verhalten können – die Vorstellung, die das Kernstück der neuen Physik bildete. »Die Quantentheorie ist durchaus beachtenswert, meinte er einmal höflich, aber

eigentlich möchte er sie nicht. Sein berühmter Ausspruch dazu lautete: »Gott würfelt nicht.«*

Einstein konnte den Gedanken nicht ertragen, dass Gott ein Universum geschaffen haben soll, in dem man manche Dinge prinzipiell nicht wissen kann. Außerdem war die Vorstellung vom Fernwirkungen – dass ein Teilchen im gleichen Augenblick ein anderes beeinflussen kann, das sich Milliarden Kilometer weit entfernt befindet – eine krasse Verletzung der speziellen Relativitätstheorie. Diese besagte ausdrücklich, dass nichts die Lichtgeschwindigkeit überstreifen kann, und nun beharrten die Physiker darauf, dass Informationen im subatomaren Maßstab doch dazu in der Lage waren. (Nebenbei bemerkt: Bis heute hat niemand erklärt, wie die Teilchen diese Leistung vollbringen. Die Wissenschaftler bewältigten dieses Problem, indem sie nicht darüber nachdachten*, so eine Formulierung des Physikers Yakir Aharonov.⁴¹⁾

Vor allem aber stellte sich das Problem, dass mit der Quantenphysik ein Maß an »Unsauberkeit« ins Spiel kam, das es zuvor nicht gegeben hatte. Plötzlich brauchte man zwei Systeme von Gesetzmäßigkeiten, um das Verhalten des Universums zu erklären – die Quantentheorie für die Welt des Allerkleinsten, die Relativitätstheorie für das Universum darum herum. Mit der Gravitation der Relativitätstheorie ließ sich ausgezeichnet erklären, warum Planeten um Sonnen kreisen oder warum Galaxien zu Haufenbildung neigen, aber wie sich herausstellt, hat sie auf der Ebene der Elementarteilchen keinerlei Auswirkungen. Um zu erklären, was die Arome zusammenhält, brauchte man andere Kräfte, und zwei solche Kräfte entdeckte man in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts: die starke und die schwache atomare Wechselwirkung. Die starke Wechselwirkung hält die Atome zusammen und ermöglicht es den Protonen, sich im Atomkern miteinander zu verbinden. Die schwache Wechsel-

* Zum mindesten wird der Ausspruch in der Regel so zitiert. In Wirklichkeit lautet er: »Es ist anscheinend schwierig, Gott in die Karten zu sehen. Aber dass er würtfelt und sich *relepathischer* Methoden bedient... kann ich keinen Augenblick lang glauben.«

Es ist eine wichtige, heilsame Geschichte über Habsucht, Betrug, schlechte Wissenschaft, mehrere unmöglich tödliche und die endgültige Klärung der Frage, wie alt die Erde ist.

selwirkung erfüllt eine ganze Reihe verschiedener Aufgaben, die meist mit der Steuerung bestimmter Formen des radioaktiven Zerfalls zu tun haben.⁴²

Die schwache atomare Wechselwirkung ist trotz ihres Namens zehn Milliarden Milliarden Mal stärker als die Gravitation, und die starke Wechselwirkung ist noch kräftriger – sogar ungeheuer viel kräftriger –, aber beide üben ihren Einfluss nur auf winzigste Entfernung aus. Der Einflussbereich der starken Wechselwirkung umfasst nur 1/100 000 des Durchmessers eines Atoms.⁴³ Das ist der Grund, warum Atomkerne so kompakt und dicht sind, und warum Elemente mit einem großen Atomkern aus vielen Teilchen meist instabil sind: Die starke Wechselwirkung kann einfach nicht alle Protonen zusammenhalten.

Unter dem Strich hatte das alles zur Folge, dass es in der Physik zwei Systeme von Gesetzmäßigkeiten gab, eines für die Welt des sehr Kleinen, das andere für das große Universum, und beide führten ein völlig getrenntes Eigenleben. Diese Situation gefiel auch Einstein nicht. Den Rest seines Lebens widmete er der Suche nach einem Weg, um beide in einer großen vereinheitlichten Theorie zusammenzuführen, aber darin scheiterte er. Hin und wieder glaubte er, es sei gelungen, aber am Ende löste sich jedes Mal alles in Luft auf. Im Laufe der Zeit wurde er immer mehr zur Randerscheinung und sogar zum Gegenstand des Mitleids. Oder, wie Snow es formuliert: »Seine Kollegen glaubten und glauben noch heute fast ohne Ausnahme, dass er die zweite Hälfte seines Lebens vergeudete.«⁴⁴

Anderswo jedoch machte man echte Fortschritte. Mitte der vierziger Jahre waren die Wissenschaftler so weit, dass sie das Atom weitgehend verstanden – das zeigte sich nur allzu deutlich im August 1945, als über Japan zwei Atombomben detonierten. Als es so weit war, glaubten die Physiker, sie hätten das Atom im Griff, und diese Ansicht ist durchaus verständlich. In Wirklichkeit jedoch sollte alles in der Teilchenphysik noch erheblich komplizierter werden. Aber bevor wir diese ein wenig anstrengende Geschichte im Angriff nehmen, müssen wir noch einen anderen Strang unserer historischen Handlung weiterverfolgen