

dtv Taschenbücher 24484

## Warum Gott doch würfelt

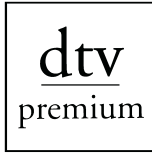
Über »schizophrene Atome« und andere Merkwürdigkeiten aus der Quantenwelt

von  
Marcus Chown, Kurt Neff

1. Auflage

dtv München 2005

Verlag C.H. Beck im Internet:  
[www.beck.de](http://www.beck.de)  
ISBN 978 3 423 24484 8





MARCUS CHOWN

**Warum Gott  
doch würfelt**

Über »schizophrene Atome«  
und andere Merkwürdigkeiten  
aus der Quantenwelt

Aus dem Englischen  
von Kurt Neff

Deutscher Taschenbuch Verlag



**Mix**  
Produktgruppe aus vorbildlich  
bewirtschafteten Wäldern und  
anderen kontrollierten Herkünften

Zert.-Nr. GFA-COC-1298  
[www.fsc.org](http://www.fsc.org)  
© 1996 Forest Stewardship Council

Der Inhalt dieses Buches wurde auf einem nach den  
Richtlinien des Forest Stewardship Council zertifizierten  
Papier der Papierfabrik Munkedal gedruckt.

Deutsche Erstausgabe

August 2005

4. Auflage Dezember 2007

Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG,

München

[www.dtv.de](http://www.dtv.de)

© 2005 Marcus Chown

Titel der Originalausgabe: Quantum Theory Cannot Hurt You, Darling (Faber & Faber)

© 2005 der deutschsprachigen Ausgabe:

Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG,

München

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Sämtliche,  
auch auszugsweise Verwertungen bleiben vorbehalten.

Umschlagkonzept: Balk & Brumshagen

Umschlagbild: Tullio Pericoli, Margarethe Hubauer Illustration

Satz: Fotosatz Reinhard Amann, Aichstetten

Gesetzt aus der Bembo 10,5/13 p

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Gedruckt auf säurefreiem, chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany · ISBN 978-3-423-24484-8

# Inhalt

## Vorwort

|   |     |
|---|-----|
| ERSTER TEIL: Kleine Dinge                         | 11  |
| 1 Einstein einatmen                               | 13  |
| 2 Und er würfelt doch ...                         | 28  |
| 3 Das schizophrene Atom                           | 42  |
| 4 Unbestimmtheit und die Grenzen des Wissens      | 55  |
| 5 Das telepathische Universum                     | 75  |
| 6 Das Identischsein und die Herkunft der Vielfalt | 90  |
| ZWEITER TEIL: Große Dinge                         | 115 |
| 7 Der Niedergang von Raum und Zeit                | 117 |
| 8 $E = mc^2$ und das Gewicht des Sonnenscheins    | 141 |
| 9 Es gibt gar keine Schwerkraft                   | 154 |
| 10 Das ultimative Kaninchen aus dem Hut           | 186 |
| Danksagung  | 213 |
| Literaturhinweise                                 | 215 |
| Register  | 217 |



# Vorwort

Eine der folgenden Behauptungen ist wahr:

- Jeder Atemzug, den Sie machen, enthält ein Atom, das Marilyn Monroe ausgeatmet hat.
- Es gibt eine Flüssigkeit, die bergauf fließen kann.
- In der obersten Etage eines Gebäudes altern Sie schneller als im Parterre.
- Ein Atom kann sich an mehreren Orten gleichzeitig befinden; auf Sie übertragen würde das bedeuten, dass Sie sich gleichzeitig in London und New York aufhalten könnten.
- Die ganze Menschheit würde in einen Raum von der Größe eines Zuckerwürfels passen.
- Ein Prozent des Schnees im Fernsehbild bei unscharfer Sendereinstellung ist ein Überbleibsel des Urknalls.
- Es gibt kein Naturgesetz, das gegen die Möglichkeit von Zeitreisen spräche.
- Eine Tasse Kaffee wiegt mehr, wenn der Inhalt heiß, als wenn er kalt ist.
- Je schneller Sie sich in einem Transportmittel fortbewegen, desto schlanker werden Sie.

Aber nein, ich habe mir einen Scherz erlaubt: Alle diese Behauptungen sind wahr.

Ich bin immer wieder erstaunt darüber, wie viel seltsamer doch die reale Wissenschaft als die phantastische – die Science-fiction – ist, wie viel unglaublicher das Universum, in dem wir leben, als alles, was wir uns eventuell hätten ausdenken können. Die zwei überragenden Errungenschaften der letzten hundert Jahre sind die »Quantentheorie«, unser Bild von den Atomen und ihren Bausteinen, und Einsteins »allgemeine Relativitätstheorie«, un-



ser Bild von Raum und Zeit und von der Gravitation. Zusammengekommen liefern die beiden die Erklärung für praktisch die ganze Welt um uns herum. Ja, man kann mit guten Gründen behaupten, dass die Quantentheorie die moderne Welt überhaupt erst *geschaffen* hat, weil sie nämlich nicht lediglich erklärt, wieso der Boden unter unseren Füßen fest ist und warum die Sonne scheint, sondern weil sie die Basis schuf für Computer und Lasergeräte und Kernreaktoren. Wenn auch die Relativitätstheorie nicht ebenso omnipräsent in unsere Alltagswelt hineinspielt, so verdanken wir ihr doch das Wissen, dass es solche Sachen wie »Schwarze Löcher« gibt, aus denen nichts, nicht einmal Licht, entkommen kann, dass das All nicht »schon immer« da war, sondern einer gigantischen Explosion, dem »Urknall«, entsprungen ist, und dass – so unglaublich es auch klingt – Zeitreisen durchaus eine reale Möglichkeit sein könnten.

Von Einstein stammt der Satz: »Grundlegende wissenschaftliche Ideen sind meist im Prinzip einfach und lassen sich in der Regel allgemeinverständlich ausdrücken.« Meine ganze Erfahrung spricht dafür, dass er Recht hat. Ich möchte mit diesem Buch interessierten Laien die bedeutsamsten naturwissenschaftlichen Ideen des einundzwanzigsten Jahrhunderts verstehen helfen. Dazu musste ich eigentlich nur die Grundgedanken der Quantentheorie und der Relativitätstheorie isolieren – die sich als überraschend einfach erwiesen – und demonstrieren, dass sich alles – aber auch absolut alles – übrige logisch zwingend aus ihnen ergibt.

Leichter gesagt als getan. Speziell die Quantentheorie ist ein Flickwerk von Teilstücken, die sich im Lauf der vergangenen achtzig Jahre angesammelt haben, und wie es scheint, hat es niemand der Mühe für wert gehalten, sie zu einem nahtlosen Ganzen zu verweben. Noch schwerer wiegt, dass Physiker offenbar überfordert sind, wenn sie entscheidend wichtige Teile der Theorie – wie die »Dekohärenz«, die erklärt, warum zwar Atome, aber nicht auch Menschen gleichzeitig an zwei Orten sein können – Nichtphysikern auch nur halbwegs begreiflich

machen sollen. Als ich mit einer ganzen Anzahl von »Fachleuten« über dieses Thema korrespondiert hatte und mir schon überlegte, ob es nicht vielleicht angebracht wäre, die »Dekohärenz« in »Inkohärenz« (Zusammenhanglosigkeit!) umzubenennen, dämmerte mir, dass möglicherweise die Fachleute in diesem Fall selber nicht den vollen Durchblick haben. In gewisser Weise wirkte das befreiend. Da offenbar kein klares Bild von der Sache vorhanden war, sagte ich mir, dass ich mir aus den Einblicken, die ich bei verschiedenen Autoren gewonnen hatte, mein eigenes Bild davon zusammensetzen müsse.

Das ist der Grund, warum Sie viele Erklärungen, die Sie hier lesen, anderswo nicht finden werden. Ich hoffe, dass sie helfen, den Nebel, der die Schlüsselideen der modernen Naturwissenschaft umgibt, für Sie einigermaßen zu lichten, so dass Sie gewahr zu werden beginnen, in welchem einem atemberaubend staunenswerten Universum wir leben.



ERSTER TEIL

# Kleine Dinge



# I Einstein einatmen

Wie wir entdeckten, dass alle Dinge auf Erden  
aus Atomen aufgebaut sind und dass Atome zum  
größten Teil aus leerem Raum bestehen

Ein Wasserstoffatom, das in einer Zelle auf meiner  
äußersten Nasenspitze sitzt, hat früher einmal  
zu einem Elefantenrüssel gehört. Ein Kohlenstoffatom  
in meinem Herzmuskel saß einmal im Schwanz  
eines Dinosauriers.

*Jostein Gaarder*

Jetzt mach eine Faust, und wenn du dir vorstellst,  
deine Faust ist ein Atomkern, dann ist das Atom  
so groß wie die Paulskathedrale, und wenn's zufällig  
ein Wasserstoffatom ist, dann schwirrt ein einzelnes  
Elektron drin rum wie 'n Nachtfalter in 'ner leeren  
Kathedrale, mal droben in der Kuppel, mal am Altar vorbei.

*Tom Stoppard*

**W**ir hatten gar nicht vorgehabt, die Waffe zum Einsatz zu  
bringen. Aber sie waren ein so verdammt aufsässiges Volk.  
Wir konnten tun, was wir wollten, um ihnen ihr Misstrauen zu  
nehmen – sie blieben dabei, uns als den ›Feind‹ zu betrachten.  
Als sie dann ihr ganzes nukleares Arsenal auf unser Schiff abfeu-  
erten, das ihren blauen Planeten in weitem Abstand umkreiste,  
war es aus mit unserer Geduld.

Die Waffe war einfach, aber von durchschlagender Wirkung.  
Sie presste allen leeren Raum aus der Materie heraus. Beim An-  
blick des metallisch schimmernden Würfels von knapp einem

Zentimeter Kantenlänge schüttelte der Kommandant des Forschungsschiffes vom Sirius trübsinnig den Hauptkopf. Schwer zu glauben, dass dies alles war, was von der ›Menschheit‹ übrig geblieben war.

Wem die Vorstellung, man könnte die gesamte Menschheit auf das Format eines Zuckerwürfels zusammenstauchen, nach Science-fiction klingt, der sollte noch einmal genau nachrechnen. Es ist eine erstaunliche Tatsache, dass das Volumen normaler Materie zu 99,999999999999 Prozent leerer Raum ist. Könnte man all diesen leeren Raum irgendwie aus den Atomen unseres Körpers herauspressen, würde die ganze Menschheit tatsächlich in einen Raum von der Größe eines Zuckerwürfels passen.

Die erschreckende Leere der Atome ist nur eine der erstaunlichen Eigenschaften der Materiebausteine. Eine andere ist natürlich ihre Größe. Man müsste zehn Millionen von ihnen in gerader Linie aneinander reihen, um eine Strecke von der Länge des Durchmessers eines Punktes auf dieser Buchseite zu erhalten – was uns die Frage aufnötigt: Wie sind wir überhaupt dahinter gekommen, dass alles aus Atomen zusammengesetzt ist?

Den Gedanken, dass alles aus Atomen besteht, äußerte erstmals der griechische Philosoph Demokrit um 440 v. Chr.\* Mit einem Stein – oder einem Stock oder einer Tontafel – in der Hand fragte er sich: »Wenn ich diesen Gegenstand halbiere und dann eine der zwei Hälften halbiere und dann eine von den Hälften der Hälfte – kann ich damit endlos weitermachen?« Seine Antwort war ein nachdrückliches Nein. Es war für ihn unvorstellbar, dass Materie endlos in immer kleinere Teile zerlegt werden könnte. Früher oder später, so sagte er sich, musste die

---

\* Zum Teil finden sich diese Ausführungen bereits in meinem früheren Buch *Die Suche nach dem Ursprung der Atome* (dty 24323). Alle, die es gelesen haben, bitte ich also um Nachsicht für die Wiederholung. Aber ein Grundwissen über das Atom ist nun einmal unerlässliche Voraussetzung für das Verständnis der hier folgenden Kapitel über die »Quantentheorie«, die im Wesentlichen eine Theorie der atomaren Sphäre ist.

Prozedur bei einem winzigen Materiekörnchen anlangen, das nicht mehr in kleinere Stückchen zerteilbar war. Und weil das griechische Wort für »unzerschneidbar, unzerteilbar« *a-tomos* lautet, nannte Demokrit die hypothetischen Bausteine aller Materie »Atome«.

Da die Atome zu klein sind, um mit den Sinnesorganen wahrgenommen werden zu können, musste es stets ein schwieriges Unterfangen bleiben, handfeste Beweise für ihre Existenz aufzufinden. Gleichwohl gelang dies im achtzehnten Jahrhundert einem schweizerischen Mathematiker namens Daniel Bernoulli. Der machte sich nämlich klar, dass Atome, wenn sie auch nicht direkter Beobachtung zugänglich waren, möglicherweise doch auf indirektem Wege beobachtet werden könnten. Insbesondere sah er die Möglichkeit, dass in riesiger Zahl zusammenwirkende Atome, einen Effekt hervorbringen, der stark genug ist, um in der Alltagswelt in Erscheinung zu treten. Er brauchte nur irgendeine Gegebenheit in der Natur ausfindig zu machen, bei der dies der Fall war. Und die entdeckte er im »gasförmigen Aggregatzustand«.

Ein Gas wie die Luft oder den Wasserdampf dachte sich Bernoulli als eine Ansammlung von Milliarden und Abermilliarden Atomen, die immerfort in rasender Bewegung durcheinanderschießen wie ein Schwarm zorniger Bienen. Dieses plastische Bild legte sofort eine Erklärung für den »Gasdruck« nahe, der einen Ballon bläht oder als »Schub« auf den Kolben einer Dampfmaschine wirkt: In einen hermetisch abgedichteten Behälter eingesperrt, mussten die Gasatome unablässig gegen die Wände trommeln wie Hagelkörner auf ein Blechdach. Und die Globalwirkung musste eine kribbelige Kraft sein, die unsere relativ groben Sinnesorgane als konstanten Druck oder Schub registrieren.

Aber aus Bernoullis mikroskopischer Erklärung des Gasdrucks ergab sich mehr als lediglich ein brauchbares Bild der Vorgänge in einem Gas. Von höchster Wichtigkeit war, dass sich aus ihr eine spezifische Voraussage ableiten ließ: Wird ein Gas auf die



Hälfte seines Ausgangsvolumens zusammengepresst, müssen die einzelnen Atome vom einen Aufprall auf die Behälterwand zum nächsten nur noch die Hälfte der vorherigen Strecke zurücklegen; sie prallen also innerhalb desselben Zeitraums zweimal so häufig wie zuvor gegen die Wand, was sich als Verdoppelung des Gasdrucks auswirkt. Kompression auf ein Drittel des Ausgangsvolumens verdreifacht die Häufigkeit des Aufprallens der Atome und hat somit die Verdreifachung des Gasdrucks zur Folge. Usw.

Exakt dieses Verhalten hatte der britische Naturforscher Robert Boyle im Jahr 1662 beobachtet. Es war die Bestätigung für Bernoullis Gas-Modell, und insofern in diesem Modell unzählige winzigen Körnchen gleichende Atome im leeren Raum in ungeordneter Bewegung durcheinander fliegen, sprach es für die Existenz von Atomen.

Trotz dieses Erfolgs ließ der definitive Beweis für die Existenz der Atome noch bis Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts auf sich warten. Er war in dem undurchschauten Phänomen der »Brownschen Bewegung« versteckt.

Die Brownsche Bewegung hat ihren Namen von dem britischen Botaniker Robert Brown, der an Matthew Flinders' Australien-Expedition von 1801/02 teilnahm. Während seiner Zeit auf den Antipoden klassifizierte er viertausend Arten australischer Pflanzen und entdeckte dabei das Steuerzentrum der lebenden Zelle, den »Kern«. Richtig bekannt wurde er jedoch durch eine Entdeckung, die er im Jahr 1827 machte, als er im Wasser gelöste Pollenkörner beobachtete. Durch sein Mikroskop spähend, sah Brown die Körner in einer merkwürdigen Zitterbewegung, einem Zickzackkurs, der an Betrunkene auf dem Heimweg von der Kneipe erinnerte, durch das flüssige Element treiben.

Niemand, weder Brown noch sonst wer, kam auf die Lösung des Rätsels der jeweils wie angestoßen taumelnden Pollenkörner – bis der sechsundzwanzigjährige Albert Einstein im Zuge des größten Kreativitätsschubs in der Geschichte der Naturwissenschaft sich der Sache annahm. In seinem *annus mirabilis* 1905

stürzte Einstein nicht nur Newton vom Sockel, indem er dessen Bewegungsgesetze durch seine »spezielle Relativitätstheorie« ersetzte, sondern er knackte auch das fast achtzig Jahre alte Rätsel der Brownschen Bewegung.

Ursache des irren Tanzes der Pollenkörner ist Einstein zufolge der Umstand, dass sie ständig einem von allen Seiten erfolgenden Bombardement mit winzigen Wassermolekülen ausgesetzt sind. Stellen Sie sich einen riesigen, übermannshohen aufblasbaren Gummiball vor, der von einer ihn umschwärmenden Menschenmenge auf einem Spielfeld umhergetrieben wird. Wenn jeder der Beteiligten den Ball ohne Rücksicht auf die anderen nur nach seinem Belieben fortstößt, gibt es zu jedem Zeitpunkt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine Richtung, aus der mehr Stöße auf den Ball einwirken als aus anderen Richtungen. Dieses wechselhafte Ungleichgewicht reicht aus, um den Ball in regellosem Zickzackkurs ruckweise über das Feld wandern zu lassen. Ähnlich lässt sich die regellose Bewegung der Brownschen Pollenkörner daraus erklären, dass sie aus von Mal zu Mal wechselnder Richtung von mehr Wassermolekülen gestoßen werden als aus jeder anderen Richtung.

Einstein konzipierte eine mathematische Theorie der Brownschen Bewegung, anhand deren sich eine Aussage darüber treffen ließ, wie weit und wie schnell sich ein durchschnittliches Pollenkorn zwischen zwei Anstößen durch die umgebenden Wassermoleküle bewegen musste. Der entscheidende Faktor in seiner Rechnung war die Größe der Wassermoleküle: Je größer sie waren, desto größer auch das Ungleichmaß der im Augenblick des Anstoßes auf das Korn einwirkenden Kräfte und desto intensiver mithin die resultierende Brownsche Bewegung.

Der französische Physiker Jean-Baptiste Perrin beobachtete in Wasser gelöste Partikel von Gummigutt, dem gelben Harz eines kambodschanischen Baums, und verglich seine Beobachtungen mit den aus Einsteins Theorie ableitbaren Voraussagen. Das versetzte ihn in die Lage, die Größe der Wassermoleküle und im nächsten Schritt auch die ihrer atomaren Bausteine zu berech-

nen. Er kam zu dem Schluss, dass der Durchmesser eines Atoms nur etwa einen Zehnmilliardstel Meter ( $10^{-10}$  m) oder einen Zehnmillionstel Millimeter ( $10^{-7}$  mm) beträgt: Atome sind so winzig, dass man zehn Millionen von ihnen nebeneinander legen müsste, um eine Reihe zu erhalten, die so lang wäre wie der Durchmesser eines typografischen Punktes.

Ja, Atome sind so klein, dass bereits ein einzelner Atemzug Milliarden und Abermilliarden von ihnen enthält, und wenn man die Luft eines Atemzugs gleichmäßig in der Erdatmosphäre verteilt, würden auf jede Volumeneinheit vom Umfang eines Atemzugs etliche Atome aus jenem zu verteilenden Atemzug entfallen. Mit anderen Worten: Jedes Mal, wenn Sie Luft holen, atmen Sie mindestens ein Atom ein, das Albert Einstein – oder Julius Cäsar oder Marilyn Monroe oder meinetwegen auch der letzte Tyrannosaurus Rex, der über den Erdboden stapfte – ausgeatmet hat.

Wichtiger noch: Die Atome der »Biosphäre« unseres Planeten unterliegen einem ständigen Recyclingprozess. Stirbt ein Organismus, so verwest er, und die Atome, aus denen er aufgebaut ist, kehren zurück in den Erdboden und in die Atmosphäre, wo sie in Pflanzen einwandern, die wiederum animalischen Lebewesen als Nahrung dienen. »Ein Wasserstoffatom, das in einer Zelle auf meiner äußersten Nasenspitze sitzt, hat früher einmal zu einem Elefantenrüssel gehört«, schreibt der norwegische Romancier Jostein Gaarder in *Sofies Welt*. »Ein Kohlenstoffatom in meinem Herzmuskel saß einmal im Schwanz eines Dinosauriers.«

Die Brownsche Bewegung war der stärkste Beweis für die Existenz von Atomen. Niemand, der jemals durch ein Mikroskop den irren Tanz der unter permanentem Beschuss stehenden Pollenkörner beobachtet hatte, konnte noch daran zweifeln, dass die Welt letztlich aus winzigen kugeligen Teilchen aufgebaut ist. Aber die – von Atomen verursachte – Zitterbewegung von Pollenkörnern zu beobachten ist nicht dasselbe, wie Atome tatsächlich zu »sehen«. Letzteres ließ auf sich warten bis zur Erfindung eines der faszinierendsten Instrumente der bisherigen Wissen-

schaftsgeschichte im Jahr 1980: des »Rastertunnelmikroskops«, abgekürzt RTM.

Das Funktionsprinzip des RTM ist denkbar einfach. Ein Blinder kann das Gesicht seines Gegenübers »sehen«, indem er einfach mit einem Finger darüber hinfährt und aus dem, was er ertastet, ein mentales Bild formt. Das RTM funktioniert ganz ähnlich. Der Unterschied liegt darin, dass der Finger ein metallener »Finger« ist: eine Nadel mit sehr feiner Spitze, entfernt vergleichbar der Abtastnadel eines altmodischen Plattenspielers. Indem man die Nadelspitze zeilenweise über die Oberfläche eines Materials führt und die Information über ihr Auf und Ab in einen Computer einspeist, gewinnt man ein Bild von der Oberflächenbeschaffenheit im atomaren Bereich.

Selbstverständlich steckt noch mehr dahinter. Die Erfindung funktioniert zwar nach einem einfachen Prinzip, doch bis es so weit war, gab es in der Praxis gewaltige Probleme zu überwinden. Zum Beispiel galt es eine Nadel aufzutreiben, deren Spitze fein genug war, um Atome »abtasten« zu können. Die Schwedische Akademie der Wissenschaften, die die Träger des Nobelpreises für Physik auswählt, hat diese Schwierigkeiten ohne Zweifel klar erkannt. Im Jahr 1986 sprach sie den Erfindern des RTM, Gerd Binnig und Heinrich Rohrer, beide am IBM-Forschungslaboratorium in Rüschlikon tätig, den Physiknobelpreis zu.

Binnig und Rohrer sind die ersten Menschen in der Geschichte, die ein Atom wirklich zu »sehen« bekommen haben. Ihre Aufnahmen vom RTM-Bildschirm gehören zum Faszinierendsten, was die Wissenschaftsgeschichte an Bildern zu bieten hat – sie rangieren auf gleicher Ebene wie der Anblick der über der grauen Einöde des Mondes aufgehenden Erde und das Bild der schwungvoll gewendelten DNA-Doppelhelix. Sie zeigen: Atome sehen wie kleine Fußbälle aus. Oder wie in Obststeigen verpackte und zum Kauf ausgelegte Apfelsinen. Aber vor allem sehen sie aus wie die winzigen Materiekörnchen, die Demokrit vor zweieinhalbtausend Jahren vor seinem inneren Auge

erblickt hatte. Niemand sonst hat je eine korrekte wissenschaftliche Voraussage so lange Zeit vor der Möglichkeit experimenteller Bekräftigung getroffen.

Indes enthüllte das Rastertunnelmikroskop nur eine einzelne Facette der Atome. Wie schon Demokrit wusste, sind Atome weit mehr als lediglich Materiekörnchen in Bewegung.

## **Die Legosteine der Natur**

Eine zentrale Rolle in Demokrits Auffassung von den Atomen spielte der Gedanke, dass diese winzigen Materiekörnchen die Legosteine der Natur sind (wenn wir es so anachronistisch ausdrücken dürfen). Sie kamen nach seiner Meinung in einer Vielfalt verschiedener Formen und Größen vor, die sich auf unendlich viele unterschiedliche Weisen miteinander verbinden, und das Resultat ist je nachdem eine Rose, ein Goldbarren oder ein Mensch: alles nur eine Sache der Kombination.

»Wenn in einer Sintflut alle wissenschaftlichen Kenntnisse zerstört würden und nur ein Satz an die nächste Generation von Lebewesen weitergereicht werden könnte, welche Aussage würde die größte Informationsmenge in den wenigsten Worten enthalten?« Für den amerikanischen Nobelpreisträger Richard Feynman gab es darauf nur eine Antwort: »Alle Dinge sind aus Atomen aufgebaut.«

Der wichtigste Schritt auf dem Weg zu dem Beweis, dass die Atome die Legosteine der Natur sind, bestand darin, die verschiedenen Arten von Atomen zu identifizieren. Weil aber Atome für die unmittelbare Wahrnehmung durch unsere Sinnesorgane viel zu klein sind, war das eine ebenso gewaltige Aufgabe wie der Beweis, dass Atome winzige Materiekörnchen in unaufhörlicher Bewegung sind. Nur ein einziger Weg führte zum Ziel: Stoffe ausfindig zu machen, die aus einer einzigen Art von Atomen zusammengesetzt sind.

Der französische Aristokrat Antoine Lavoisier nahm sich die-