

Oliver Morsch

Sandburgen, Staus und Seifenblasen

ERLEBNIS
wissenschaft



Oliver Morsch

Sandburgen, Staus und Seifenblasen

Erlebnis Wissenschaft bei WILEY-VCH

- Audretsch, Jürgen (ed.)
Verschränkte Welt
Faszination der Quanten
2002, ISBN 3-527-40318-3
- Bartels, Cornelia / Göllner, Heike / Koolman, Jan / Maser, Edmund / Röhm, Klaus-Heinrich
Tabletten, Tropfen und Tinkturen
2005, ISBN 3-527-30263-8
- Emsley, John
Sonne, Sex und Schokolade
Mehr Chemie im Alltag
2003, ISBN 3-527-30790-7
- Emsley, John
Parfum, Portwein, PVC ...
Chemie im Alltag
2003, ISBN 3-527-30789-3
- Emsley, John
Fritten, Fett und Faltencreme
Noch mehr Chemie im Alltag
2004, ISBN 3-527-31147-5
- Froböse, Gabriele / Froböse, Rolf
Lust und Liebe – alles nur Chemie?
2004, ISBN 3-527-30823-7
- Froböse, Rolf
Mein Auto repariert sich selbst
Und andere Technologien von übermorgen
2004, ISBN 3-527-31168-8
- Genz, Henning
Nichts als das Nichts
Die Physik des Vakuums
2004, ISBN 3-527-40319-1
- Häußler, Peter
Donnerwetter – Physik!
2001, ISBN 3-527-40327-2
- Koolman, Jan / Moeller, Hans / Röhm, Klaus-Heinrich (eds.)
Kaffee, Käse, Karies ...
Biochemie im Alltag
1998, ISBN 3-527-29530-5
- Morsch, Oliver
Licht und Materie
Eine physikalische Beziehungsgeschichte
2003, ISBN 3-527-30627-7
- Morsch, Oliver
Sandburgen, Staus und Seifenblasen
2005, ISBN 3-527-31093-2
- Quadbeck-Seeger, Hans-Jürgen / Fischer, Axel (eds.)
Die Babywindel und 34 andere Chemiegeschichten
2000, ISBN 3-527-30262-X
- Reitz, Manfred
Auf der Fahrte der Zeit
Mit naturwissenschaftlichen Methoden vergangene Rätsel entschlüsseln
2003, ISBN 3-527-30711-7
- Renneberg, Reinhard / Reich, Jens
Liebling, Du hast die Katze geklont!
Biotechnologie im Alltag
2004, ISBN 3-527-31075-4
- Schneider, Martin
Teflon, Post-it und Viagra
Große Entdeckungen durch kleine Zufälle
2002, ISBN 3-527-29873-8
- Unger, Ekkehard
Auweia Chemie!
2004, ISBN 3-527-31238-2
- Voss – de Haan, Patrick
Physik auf der Spur
Kriminaltechnik heute
2005, ISBN 3-527-40516-X
- Zankl, Heinrich
Fälscher, Schwindler, Scharlatane
Betrug in Forschung und Wissenschaft
2003, ISBN 3-527-30710-9
- Zankl, Heinrich
Nobelpreise
Brisante Affairen, umstrittene Entscheidungen
2005, ISBN 3-527-31182-3

Oliver Morsch
Sandburgen, Staus und Seifenblasen



WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Autor

Oliver Morsch
Università di Pisa
Via Buonarroti 2
56127 Pisa
Italien

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Satz: TypoDesign Hecker GmbH, Leimen

Druck und Bindung: Ebner & Spiegel GmbH, Ulm

ISBN-13: 978-3-527-31093-7

ISBN-10: 3-527-31093-2

ISBN ePDF 978-3-527-64108-6

ISBN ePub 978-3-527-64107-9

ISBN Mobi 978-3-527-64109-3

Inhaltsverzeichnis

Danksagung IX

Geleitwort XI

Einleitung 1

1 Das Geheimnis der Paranuss

Von flüssigem Sand und Schokolinsen 5

Experiment 1: Die Nuss im Glas 6

Flüssiger Sand 9

Eine Lawine geht ab 15

Experiment 2: Reislawine in der Plastikhülle 16

Ein Anti-Schwamm 18

Experiment 3: Sandstrand in der Wasserflasche 19

Orangenhäufen und Schokolinsen 21

Wohin mit all der Kraft? 25

Silos und Sanduhren 26

Muster aus dem Nichts 30

Der Drang zur Trennung 35

Experiment 4: Streifen aus dem Nichts 39

Ein wenig Wasser wirkt Wunder 40

Da war doch noch die Nuss... 43

2 Kelvins Bettfeder

Die komplexe Welt der Blasen und Schäume 47

Einblick in Schäume 48

Experiment 5: Ein Schaumbad in der Wasserflasche	48
Ein Stau löst sich auf	50
Spannendes Spülmittel	52
Sandiger Schaum	54
Lauschangriff auf Seifenblasen	55
Experiment 6: Kontrollierter Schaum	56
Physik im Bierglas	57
Experiment 7: Bierschaumzerfall	58
Die Form des Schaums	59
Experiment 8: Minimallösungen mit Seifenblasen	60
Kelvins Bettfeder	62
Es geht noch besser	64
Gefrorener Rauch und Bioterror	66
Schäume im Weltall	68

3 Die Stauprofessoren

Warum Verkehr manchmal fließt und manchmal nicht	69
Verkehr unter der Lupe	71
Ein Gedankenexperiment	72
Eine wackelige Sache	76
Zurück ist's schwieriger...	77
Experiment 9: Stau im Computer	79
Verkehr gefriert wie Wasser	79
Verkehr in Formeln	81
Körnige Autos?	83
Künstlicher Verkehr	84
Schneller rechnen mit zellulären Automaten	86
Stau ohne Autos?	89
Zocker am Steuer	90
Rasantes Fahren verhindert Staus	92
Kontrollierter Verkehr	93
Lästige Lastwagen?	96

Kooperatives Fahren 97

Schwierige Fragen 98

4 Die Macht der Menge

Von Massenpanik und Trampelpfaden 103

Tod auf der Tribüne 105

Modellierte Massen 110

Verbesserte Flucht 113

Experiment 10: Programmierte Panik 115

Zu Land, zu Wasser... 117

Unsichtbare Pfade 119

Trampelfade und Museen 125

5 Die unsichtbare Hand

Von Stadionwellen und Pendeluhrn 129

Besonderer Beifall 132

Geisterpendel und Glühwürmchen 136

Im Gleichtakt auf und ab 140

6 Ising, Internet und Indianer

Der Einfluss des Nachbarn und andere Mechanismen
der Gesellschaft 143

Einflussreiche Nachbarn 145

Was ist Toleranz? 150

Leben im Zuckerland 153

Derricks Draht nach Hollywood 157

Kleine Welten 159

Sex, Jobs und schwache Bindungen 163

Die Entstehung des Internet 167

Entdeckungsreise durch das Web 171

Heimliche Chefs 177

7 Physik und Briefmarkensammeln

Ein Epilog 179

Der Computer als Mikroskop 182

Literaturempfehlungen 185

Web-Tipps 189

Literaturverzeichnis 193

Glossar 199

Namensregister 205

Sachregister 207

Danksagung

Bücher haben die unangenehme Eigenschaft, nie wirklich fertig zu werden. Dass dieses Buch am Ende eines langen Prozesses doch noch das Licht der Welt erblickte, liegt nicht zuletzt an der geduldi- gen und verständnisvollen Betreuung durch meine Lektorinnen bei WILEY-VCH, Frau Gudrun Walter und Frau Waltraud Wüst.

Ein populärwissenschaftliches Buch über Themen zu verfassen, für die man nicht selbst Fachmann ist, macht das Schreiben gleich- zeitig interessant und herausfordernd. Mein besonderer Dank gilt daher den Experten, die sich Zeit nahmen, um mit mir über ihre Ar- beit zu sprechen: Heinrich Jaeger, Boris Kerner, Michael Schre- ckenberg, Stephen Morris, Troy Shinbrot, Robert Behringer, Tamás Vicsek, Stefan Hutzler, Walter Willinger und Kai Nagel.

Ebenso wichtig wie die Experten waren die »interessierten Laien«, die Teile des Manuskripts probeglesen und viele wertvolle Verbes- serungsvorschläge gemacht haben. Insbesondere André Morsch, Armin von Ungern-Sternberg, Thomas P. Weber und Sandro Wim- berger gebührt dafür Dank. Die Verantwortung für inhaltliche Feh- ler oder stilistische Ausrutscher in der endgültigen Fassung dieses Buches liegt selbstverständlich allein bei mir.

Lara Androvandi fotografierte die Experimente, Nicole Naumann half mir bei einigen Recherchen und brachte mir Studentenfutter nach Italien. Meinen Eltern und meinem Bruder danke ich für die Liebe und Unterstützung über all die Jahre.

Ein ganz besonderer Dank von Herzen geht schließlich an Matil- de Colatosti, die mich ermutigt und ertragen hat, während ich dieses Buch schrieb. *Grazie di cuore, Mati.*

Geleitwort

Die Welt um uns herum besteht aus zahllosen atomaren Bausteinen, die als Festkörper, Flüssigkeiten oder Gase entweder in einem geordneten Zustand auftreten oder ungeordnet den Raum ausfüllen. Dass sich solche „Vielteilchensysteme“ im Vergleich zu den einzelnen Bausteinen völlig anders und oft unerwartet verhalten können, hat vor allem die Physik gezeigt. Selbst in Systemen aus identischen Bausteinen ergibt sich aus der Wechselwirkung von vielen Teilchen ein besonderes kollektives Verhalten. So bestimmen kleine Unterschiede in der Anordnung derselben kugelförmigen Kohlenstoffatome, ob wir es mit weichem Graphit oder hartem Diamant zu tun haben. Und natürlich besteht ein Wassertropfen aus einzelnen H_2O Molekülen, bekommt aber seine besonderen Materialeigenschaften aus der Koexistenz zig-tausender dieser Moleküle im selben Tropfenvolumen. Das wird schon im Sprachgebrauch klar: mit „Wasser“ verbinden wir nicht die Eigenschaften einzelner Moleküle, sondern deren kollektiven Aggregatzustand. Ohne dass sich die Wechselwirkungen zwischen benachbarten Molekülen ändern, verhält sich Wasser wie eine Flüssigkeit bei Zimmertemperatur, verdampft aber durch Erhitzen oder gefriert in einen Festkörper, wenn die Temperatur tief genug sinkt.

Was passiert aber, wenn die Bausteine nicht mikroskopisch klein, sondern selbst aus vielen Atomen zusammengesetzt sind? Oder wenn die Bausteine gar nicht reale Teilchen sind, sondern virtuelle Knotenpunkte in einem Computernetzwerk? Gibt es in diesen Fällen immer noch Aggregatzustände, die sich wie Festkörper, Flüssigkeiten oder Gase verhalten? Oder passiert etwas völlig Neues? Diese Fragen sind genau einer der Ansatzpunkte dieses Buches.

Die meisten der Massenphänomene, die Oliver Morsch beschreibt, basieren auf solchen „grobkörnigen“ Ansammlungen vieler Teilchen. Systeme dieser Art sind übrigens nicht selten. Ganz im

Gegenteil, sie sind überall zu finden. Vor allem in den Grenzgebieten zwischen der traditionellen Festkörperphysik und neueren Richtungen, wie zum Beispiel der nichtlinearen Dynamik, granularen Physik oder Biophysik, sind sie eher die Regel als die Ausnahme. Und sie begegnen uns auf Schritt und Tritt im täglichen Leben. Morsch zeigt das mit Systemen wie Sand, Verkehr oder Schaum.

Es mag überraschen, dass Systeme, die sich aus vielen – oft mit dem bloßen Auge sichtbaren – makroskopischen Bausteinen zusammensetzen, Neuland für die Physik sind, während sich ihre mikroskopischen Verwandten oft mit Standardmethoden beschreiben lassen. Das liegt nicht zuletzt daran, dass in makroskopischen Systemen ein weites Spektrum neuen Verhaltens auftritt, mit dem sich die Physik erst in den letzten zehn, fünfzehn Jahren ernsthaft beschäftigt hat. Es ist ein Hauptanliegen dieses Buchs, einige dieser neuen Ansätze zu zeigen. Wie ein roter Faden ziehen sich deshalb auch zwei dazugehörige Stichworte, Komplexität und Selbstorganisation, durch die Kapitel.

Als wir Ende der 80-er Jahre in Chicago unsere ersten Experimente mit Sandlawinen begannen, hatten wir keine Ahnung, das wir zusammen mit weltweit vielleicht einer Handvoll Kollegen damit den Anstoß zu einem neuen Gebiet, der granularen Physik, geben würden. Aber Granulat wie Sand oder Saatgut ist nicht nur in der Industrie und Landwirtschaft allgegenwärtig, es hat sich mittlerweile auch zum Paradebeispiel eines komplexen, nicht-thermodynamischen Systems gemausert. Sand, zusammengesetzt aus zig-tausenden Körnern, ist gewissermaßen eine makroskopisch vergrößerte Version atomarer Systeme (denken wir nur an die Kugelpackungen, mit denen wir in der Chemie und der Physik Moleküle beschreiben). Trotzdem aber verhält sich Sand weder wie ein ordentlicher Festkörper noch wie eine normale Flüssigkeit noch wie ein typisches Gas. Dabei ist es gar nicht nötig, eine komplizierte Wechselwirkung zwischen benachbarten Bausteinen anzunehmen. Schon aus kugelförmigen Bausteinen mit allereinfachsten Wechselwirkungen ergibt sich für das Gesamtsystem eine erstaunliche Bandbreite differenzierten Verhaltens. So entwickelt Sand Eigenschaften, die zwar manchmal festkörper- und manchmal flüssigkeitsähnlich sind, die man oft aber weder dem einen noch dem anderen Zustand zuordnen kann.

Für Physiker macht diese Kombination aus einfachen Bausteinen, simplen Regeln und komplexem Verhalten den Sand zu einer Metapher für eine ganze Reihe anderer Systeme. Diese können auch aus noch größeren Bausteinen bestehen, wie das zum Beispiel bei Verkehr der Fall ist. Umgekehrt hat sich in letzter Zeit herausgestellt, dass Erkenntnisse, die im Großen gesammelt wurden, neue Anstöße zum Verstehen des Kleinen geben können. Ein Beispiel dafür ist das Konzept des „Jamming“, das ursprünglich entwickelt wurde, um das spontane Verkeilen von Granulat bei hoher Dichte zu erklären. Wahrscheinlich ist es aber auch auf eines der großen ungelösten Probleme der mikroskopischen Physik anwendbar, nämlich die Frage, warum sich sogenannte unterkühlte Flüssigkeiten wie Fensterglas, Polymere, Gummi oder auch viele magnetische Systeme so zähflüssig verhalten, dass man sie fast als Festkörper betrachten kann.

Oliver Morsch lädt mit diesem Buch zu einem Rundgang durch die Welt komplexer Systeme ein. Er schlägt dabei einen großen Bogen, der oft überraschende Einblicke zeigt und durch die Nebeneinanderstellung verschiedenster Systeme faszinierende Zusammenhänge sichtbar macht.

Chicago, März 2005

*Heinrich Jaeger
Professor für Physik, James Franck Institute,
Universität Chicago und
Direktor des Materials Research Center,
Chicago*

Einleitung

Als am 23. Januar 1998 das Space Shuttle *Endeavour* vom Kennedy Space Center in Cape Canaveral abhob, hatte es eine ungewöhnliche Last an Bord: eine Dose mit Sand. Diese war nicht etwa ein Andenken an den heimischen Badestrand, das ein Astronaut mitgenommen hatte, sondern Teil eines wissenschaftlichen Experiments. Eine Gruppe von Physikern wollte herausfinden, was mit Sand passiert, wenn man ihn langsam zusammendrückt. Vielleicht hätte man von einem mehrere Millionen Dollar teuren Experiment, das mit viel Aufwand in eine Erdumlaufbahn geschossen wird, etwas anderes erwartet: Versuche zur Zellteilung unter Schwerelosigkeit etwa, aus denen man neue Erkenntnisse über die Entstehung von Lebewesen gewinnen kann, oder Beobachtungen des Weltalls, die Aufschluss über seine Vergangenheit und Zukunft geben. Aber eine Dose mit Sand? Was gibt es da wohl zu untersuchen?

Mehr, als man denkt. Sand und andere Körner gehören zu einer Sorte von Stoffen, über deren Verhalten die Wissenschaft noch erstaunlich wenig weiß. Erstaunlich deshalb, weil körnige Materie so allgegenwärtig und uns wohl vertraut ist. Die meisten Menschen – ob Wissenschaftler oder Laien – sind sicher überrascht, wenn man ihnen erzählt, dass sich auf der ganzen Welt Forscher sehr ernsthaft und intensiv damit befassen, wie sich Sand und Körner in den verschiedensten Situationen verhalten, als Füllung einer Sanduhr beispielsweise oder zu einer Sandburg geformt. Doch die Wahrheit ist: Es gibt da noch jede Menge zu entdecken und zu erklären.

Nicht nur bei Körnern & Co. haben die Forscher Wissenslücken. Seit einigen Jahren beschäftigen sich Physiker und Mathematiker mit Phänomenen, von denen man auf den ersten Blick gar nicht vermuten würde, dass diese Disziplinen für sie zuständig sind. Wer heute schon ein Bier getrunken oder Geschirr gewaschen hat, der ist bereits einem dieser Phänomene – dem Schaum – hautnah begeg-

net. Wenn es im Auto auf dem Weg zur Arbeit mal wieder nur im Schritttempo voranging, ist es vielleicht tröstlich zu wissen, dass Fachleute auf der ganzen Welt eifrig daran arbeiten, den Stau und seine Ursachen zu verstehen, um ihn so vorherzusagen und, vielleicht, eines Tages vermeiden zu können.

Was all diese verschiedenen Dinge miteinander zu tun haben, wird deutlich, wenn man sich ansieht, woraus sie sich zusammensetzen. Sandhügel bestehen aus lauter kleinen Sandkörnern, Schäume aus vielen Bläschen, und in einem Stau versammelt sich eine ganze Menge Autos. So einfach es ist, die Flugbahn eines in die Luft geworfenen Sandkorns oder die Fahrtstrecke eines einzelnen Autos vorherzusagen, so schwer – und in vielen Fällen nahezu unmöglich – ist es zu wissen, wie sich eine große Zahl dieser »Teilchen« verhalten wird, wenn sie sich gemeinsam auf engem Raum bewegen und dabei miteinander zusammenstoßen (oder, im Falle der Autos, einander ausweichen). Kurzum: Sobald man anstelle einer Seifenblase einen Schaum oder anstatt eines einzelnen Menschen eine Menschenmenge im Fußballstadion betrachtet, hat man es auf einmal mit höchst komplexen Systemen zu tun. Für Wissenschaftler bedeutet *komplex* gleichzeitig *interessant*, und so sind aus der wissenschaftlichen Beschäftigung mit Sandhaufen und Verkehrsstaus gleich mehrere Forschungsdisziplinen entstanden, die in den vergangenen Jahren zu vielen spannenden Entdeckungen geführt haben. In diesem Buch werden wir uns einige davon ansehen.

Auf den folgenden Seiten geht also um Massenphänomene in den verschiedensten Spielarten. Zwei Ideen, denen wir bei all diesen auf den ersten Blick sehr verschiedenen Themen immer wieder begegnen werden, sind Selbstorganisation und Komplexität. Im Gegensatz zu Systemen, die »nur« kompliziert sind, zeichnen sich komplexe Systeme dadurch aus, dass in ihnen qualitativ Neues entsteht: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Selbstorganisation schließlich ist eine Folge dieses komplexen Verhaltens, die zum Beispiel dazu führt, dass sich Sanddünen aus einzelnen Sandkörnern bilden oder in Bahnen organisierte Menschenströme aus einer ungeordneten Menschenmenge.

Komplexe Systeme sind in den letzten Jahren zu einem wichtigen Forschungsthema geworden. Der Physiker Stephen Hawking meint sogar, das 21. Jahrhundert werde das »Jahrhundert der Komplexität« sein. Dieses Buch will nicht nur eine (sehr vereinfachte) Einführung

in einige komplexe Systeme geben, sondern vor allem neugierig machen. Die Systeme, um die es hier geht, sind uns allesamt aus dem Alltag vertraut und geben der Wissenschaft dennoch weiterhin Rätsel auf. Im Falle von Sand und Schäumen kann man sogar einige der Experimente, mit denen Physiker diese Stoffe untersuchen, zu Hause selbst nachstellen; mit Verkehr, Menschenmassen und dem World Wide Web haben wir sowieso tagtäglich zu tun. In diesem Sinne will dieses Buch Neugier wecken auf alltägliche Dinge, die oftmals seltsamer und weniger gut erforscht sind, als man glaubt.

Wer am Ende der Lektüre neugierig genug geworden ist, findet im Anhang eine Liste mit weiterführender Literatur zu allen besprochenen Themen. Beginnen wir nun aber endlich mit unserem Streifzug durch die faszinierende Welt der Massenphänomene. Am Anfang steht dabei wieder eine Dose – diesmal gefüllt mit Nüssen.

1

Das Geheimnis der Paranuss

Von flüssigem Sand und Schokolinsen

Die letzten ungelösten Rätsel der Physik verbergen sich manchmal an den unscheinbarsten Orten – zum Beispiel in einer Dose mit Studentenfutter. Dort geschieht etwas, an dessen Erklärung sich Wissenschaftler seit Jahren die Zähne ausbeißen. Das Ganze hört sich harmlos an: Schüttelt man die Dose, so wandern mit der Zeit die dicksten Nüsse der Mischung nach oben, und die kleineren Nüsse und Rosinen sammeln sich am Boden. Ein simpler Effekt, wie es scheint. Können ein paar Cashewnüsse und Rosinen so schwer zu verstehen sein?



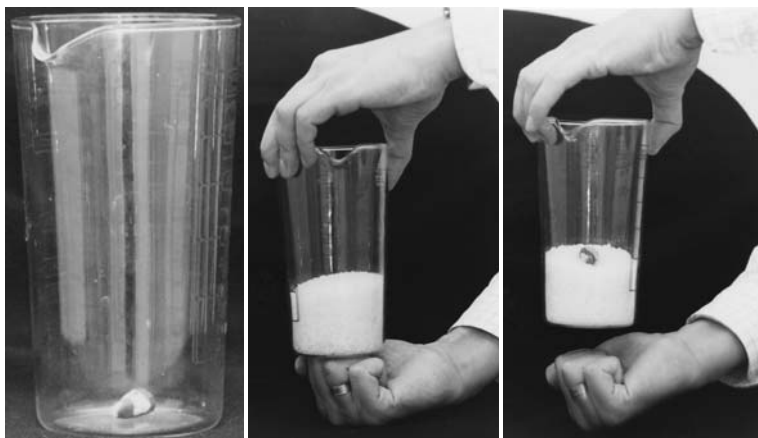
Abb. 1: Studentenfutter aus Rosinen, kleinen und großen Nüssen.

Dass die dicksten Brocken, in den meisten Fällen Paranüsse, nach kräftigem Schütteln aus einer gleichmäßigen Mischung an die Oberfläche steigen, wissen Lastwagenfahrer, die Nussmischungen über die holprigen Straßen Brasiliens (die Heimat der Paranuss) fahren, schon lange. Es scheint also ein recht alltägliches Phänomen zu sein. Wenn man aber ein wenig darüber nachdenkt (oder es selbst ausprobiert, wie in Experiment 1 beschrieben), beginnt man sich zu wundern: Warum sollte sich die Nussmischung durch Schütteln verändern? Wären die Paranüsse vorher obenauf gewesen und hätten sich durch das Schütteln mit den restlichen Nüssen vermischt, so wäre das einleuchtend gewesen. Aber andersherum? Und überhaupt, müssten die größten Nüsse nicht nach *unten* sinken, da sie doch schwerer sind als alle anderen? Damit sind wir auch schon mitdrin im Geheimnis der Paranuss.

Experiment 1: Die Nuss im Glas

Den Paranuss-Effekt kann man in einem sehr einfachen Experiment zu Hause beobachten. Dazu braucht man ein Glas, etwas grobes Meersalz und eine Paranuss, die man zum Beispiel im Studentenfutter findet (mit einer Muskatnuss geht es allerdings auch). Die Nuss legt man auf den Boden des Glases und

schüttet sie mit dem Salz zu, wobei die Füllhöhe in etwa dem drei- bis vierfachen Nussdurchmesser entsprechen sollte. Dann beginnt man, leicht auf die Unterseite des Glases zu klopfen. Nach einer gewissen Zahl von Stößen wird die Nuss plötzlich an der Oberfläche erscheinen und dort auch bleiben. Wenn man das Glas allerdings etwas schief hält oder nicht auf die Mitte der Unterseite klopft, kann es pas-



sieren, dass die Nuss erst an die Oberfläche befördert wird, dann aber wieder im Salz verschwindet. Am besten wiederholt man das Experiment einige Male mit verschiedenen Klopfstärken und Klopfrichtungen. Zudem kann man den Versuch abwandeln, indem man

verschieden große Nüsse (oder mehrere Nüsse auf einmal) nimmt oder Reis anstelle des Salzes in das Glas füllt. Wer es noch wissenschaftlicher haben will, kann jedes Mal aufschreiben, nach wie vielen Stößen die Nuss an die Oberfläche gelangt.

Unter einem großen physikalischen Rätsel stellt man sich wohl etwas anderes vor: den Ursprung der Materie, das Schicksal des Universums ... An Nüsse und Körner denkt man eher nicht. Doch gerade die granulare Materie ist es, die Physikern regelmäßig neue Überraschungen bereitet. Mit *granularer Materie* ist all das gemeint, was in irgendeiner Weise körnig ist: Sand, Reis, Nüsse oder Kieselsteine. Auch im großen Maßstab trifft man granulare Materie an. So bilden zum Beispiel die Eisschollen der Arktis einen granularen Stoff, ebenso wie die Gesteinsbrocken, aus denen die Saturnringe bestehen. Wenn man sich ein wenig umsieht, so merkt man schnell, dass fast alles, mit dem wir täglich zu tun haben, granular ist oder irgendwann einmal war: das Müsli und der gemahlene Kaffee, der Schotter unter den Gleisen der S-Bahn und schließlich der Reis zum Abendessen.

Bei so viel Körnigem könnte man annehmen, dass granulare Materie zu den am besten erforschten Gebieten der Physik gehört – doch das Gegenteil ist der Fall. Die Wissenschaft weiß mehr über Quarks und Strings als über Körner und Pulver. Granulare Materie ist ein schönes Beispiel dafür, dass man die Natur nicht zwangsläufig besser versteht, wenn man sie in immer kleinere Teile zerlegt. Zweifellos hat die Physik riesige Fortschritte durch die Erkenntnis gemacht, dass alle Materie aus Atomen aufgebaut ist. Noch vor etwa 100 Jahren war das höchst umstritten. Bald darauf entdeckten die Wissenschaftler, dass Atome ihrerseits aus noch kleineren Bausteinen – Elektronen, Protonen und Neutronen – bestehen, die sich wiederum, wie man seit den 1950er Jahren weiß, aus Quarks zusammensetzen.

Diese Art, der Natur auf die Spur zu kommen, heißt Reduktionismus: Man erklärt die Eigenschaften einer Sache dadurch, dass man sie in kleinere Untereinheiten zerlegt. Dieses Spiel kann man dann mit den Untereinheiten fortführen, und so immer weiter.