

¶

Ernst Peter Fischer

Schrödingers Katze
auf dem Mandelbrotbaum

Durch die Hintertür
zur Wissenschaft

Pantheon

Die Abbildungen stammen aus dem
Archiv des Autors.



Mix

Produktgruppe aus vorbildlich
bewirtschafteten Wäldern und
anderen kontrollierten Herkünften

Zert.-Nr. SGS-COC-1940

www.fsc.org

© 1996 Forest Stewardship Council

Verlagsgruppe Random House FSC-DEU-0100

Das für dieses Buch verwendete FSC-zertifizierte
Papier EOS liefert Salzer, St. Pölten.

Zweite Auflage

Januar 2007

Copyright © 2006 by Pantheon Verlag, München,
in der Verlagsgruppe Random House GmbH

Umschlaggestaltung: Jorge Schmidt, München

Lektorat: Annalisa Viviani, München

Satz: Ditta Ahmadi, Berlin

Grafiken: Peter Palm, Berlin

Reproduktionen: Mega Satz, Berlin

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN: 978-3-570-55015-1

www.pantheon-verlag.de

*Für Karin und Erwin Conradi,
die Geschichten lieben und Geschichte machen.*

Inhalt

KEPLERS PROBLEM 9

AUF DER ATOMAREN BÜHNE 15

Schrödingers Katze 17 – Plancks Quantensprung 28 –
Heisenbergs Unbestimmtheit 41 – Bohrs Hufeisen 54 –
Einsteins Spuk 66 – Paulis Verbot 78 – Hawkings Strah-
lung 90 – Zeilingers Prinzip 93

KLASSISCHE KNIFFLIGKEITEN 97

Maxwells Dämon 99 – Olbers' Paradoxon 111 –
Faradays Käfig 123 – Maxwells Gleichungen 126 –
Newtons Eimer 130 – Röntgens Strahlen 142

UMGANG MIT DEM UNENDLICHEN 147

Mandelbrots Apfelmännchen 149 – Eulers Zahl 161 –
Hilberts Hotel 173 – Russells Antinomie 185 – Turings
Maschine 188 – Poincarés Vermutung 192

DES LEBENS VERTRACKTE REGELN 197

Darwins Finken 199 – Mendels Gesetze 212 – Kekulés
Traum 225 – Liebig's Fleischextrakt 238 – Delbrücks
Schludrigkeit 241 – Cricks Dogma 253

ZUR NATUR DES MENSCHEN 265

Kochs Postulate 267 – Milgrams Experiment 270 – Lorenz’
Prägung 273 – Pawlows Reflex 276

HISTORISCHE BESONDERHEITEN 279

Plancks Prinzip 281 – Freuds Kränkungen 292 –
Buridans Esel 304 – Ockhams Rasiermesser 307 – Brenners
Besen 310 – Moores Gesetz 313 – Poppers Paradox 316 –
Bacons Diktum 318 – Hersheys Himmel 321 – Snows
Kulturen 324 – Nobels Preis 327

FISCHERS LÖSUNG 339

Literatur 343

Personenregister 349

KEPLERS PROBLEM

Keplers Problem betrifft die Vermittlung von Wissenschaft. Es betrifft alle Forscher, die etwas Neues erkannt, entdeckt oder erdacht haben und über ihre Einsicht nun berichten wollen, und zwar nicht im Kollegenkreis, sondern vor einem breiten Publikum. Im Fall von Johannes Kepler (1571–1630) geht es um die Einsichten, die der Astronom und Astrologe vor rund vierhundert Jahren über die Bewegungen der Himmelskörper gewinnen konnte. Die Menschen hatten in den Jahrhunderten vor ihm versucht, die seit der Antike wahrgenommene Ordnung im Kosmos durch eine Welt voller Sphären mit idealer Kreisform zu beschreiben. Dabei gingen sie lange Zeit davon aus, dass die Erde, auf der sie lebten, im Zentrum des Universums zu finden war. Doch das Bemühen, die vielen Erscheinungen, die sich am Himmel dem menschlichen Auge darboten, unter dieser Vorgabe vollständig verstehen zu können, misslang. Die Vorhersagen der Astronomen wichen immer stärker vom Verlauf der Gestirne ab, und so wurden die Sterngucker nach und nach gezwungen, auch andere Vorstellungen über den Aufbau des Kosmos zu entwickeln. Kepler entschied sich um 1600, auf den Vorschlag von Nikolaus Kopernikus (1473–1543) einzugehen und die Sonne ins Zentrum zu rücken und die Planeten – einschließlich der Erde – um sie kreisen zu lassen. Bei der zunehmend genauer werdenden Durchmusterung

rung der Bewegungen am Himmel fiel Kepler selbst ohne Fernrohr auf, dass zumindest der Mars bei seinem Umlauf um die Sonne sich nicht exakt auf einem Kreis bewegte. Als die Beobachtungsdaten nach mühevolem Rechnen eine Ellipse erkennen ließen, konnte Kepler ein erstes Gesetz für die Physik des Himmels formulieren: »Die Umlaufbahn eines Planeten hat die Form einer Ellipse.«

So lautet Keplers damals neuartige und überraschende Lösung für die Wissenschaft, und wir bewundern an seiner Einsicht die markante Knappheit, mit der sie Jahrhunderte des Messens und Nachdenkens in wenigen Worten ausdrücken kann. Die Wissenschaft liebt es, ihre großen Einsichten in knappen Formeln auszudrücken, und es fällt nicht schwer, Beispiele dafür zu finden: »Evolution gelingt durch Mutation und Selektion«; »Die Leitfähigkeit eines Metalls kommt durch die freie Beweglichkeit seiner Elektronen zustande«; »Die Chromosomen enthalten die Erbinformationen in Form von DNA-Molekülen«; »Eine Säure ergibt zusammen mit einer Base ein Salz«; »Alkohol ist wasser- und fettlöslich.«

Keplers Problem beginnt, wenn sich Wissenschaftler vor ein Publikum hinstellen, um ihre Einsichten zu verkünden. Jederzeit und allerorten ist nämlich damit zu rechnen, dass sich unter den Zuhörern jemand befindet, der einen der verwendeten Begriffe noch nie gehört oder gerade nicht parat hat. Konkret in Keplers Fall wird es entweder jemanden geben, der nicht weiß, was ein Planet ist, oder es wird sich jemand fragen, was eine Umlaufbahn ist, oder jemand hat vergessen, wie eine Ellipse aussieht. Dasselbe gilt für die anderen genannten Sätze der Wissenschaft: Was ist eine Mutation? Was sind Chromosomen? Was ist ein Elektron? Was ist eine chemische Base? Sie enthalten zwar alle wichtigen Einsichten aus der Wissenschaft, erwähnen dabei aber Dinge, mit denen wir gewöhnlich keinen



Johannes Keplers »Uphill battle«.

Umgang haben und mit denen wir uns erst vertraut machen müssen.

Natürlich sind Fachausdrücke aus Politik, Wirtschaft und den Medien auch nicht einfacher zu verstehen. Aber wir haben uns im Alltag der Nachrichten und des Internets daran gewöhnt, Begriffe wie »Föderalismusreform«, »Weblog« oder »Subsidiarität« lässig hinzunehmen. Außerdem sind wir uns ziemlich sicher, dass es irgendwo schon jemanden gibt, der uns genau erklären kann, was es mit dem Vertrag von Maastricht, dem Schengener Abkommen, dem FIFA-Disziplinarausschuss und der passiven Abseitsregel im Fußball auf sich hat. Dies führt dazu, dass jemand, der diese Dinge nicht versteht, sich an die eigene Nase fasst, sich selbst dafür die Schuld gibt und sie nicht auf andere abwälzt. Bei der Wissenschaft ist das anders. Da spricht man von einer Bringschuld der Forschung statt von einer Holschuld des Publikums. Wer Mutation und Selektion nicht versteht, wer einen Planeten nicht von einem Fixstern

unterscheiden kann, wer nicht weiß, ob ein Elektron größer oder kleiner als ein Atom ist, wer nicht versteht, warum Antibiotika nichts gegen Viren ausrichten, der wälzt diese Unkenntnis nicht auf seine eigene Passivität ab. Er klagt vielmehr das Bildungssystem an und beginnt, über die Unfähigkeit der Forscher zu jammern, die nicht in der Lage zu sein scheinen, ihren Fachjargon aus dem Elfenbeinturm abzulegen und allgemeinverständlich zu sprechen.

Keplers Problem ist also das Problem der Vermittlung von Wissenschaft, und hierfür gibt es auch nach Jahrzehnten des Experimentierens noch keine Lösung – und erst recht keine Patentlösung. Eine von vielen Möglichkeiten besteht darin, das Interesse an der Wissenschaft dadurch zu wecken, dass man mehr von den Menschen redet, die sie hervorgebracht haben. Ich habe dies verschiedentlich direkt unternommen – in Büchern wie *Aristoteles, Einstein und Co.* und *Leonardo, Heisenberg und Co.* –, und ich versuche es in diesem Band erneut auf indirekte Weise. Bestimmte Fragestellungen oder Denkangebote sind unmittelbar mit den Personen verknüpft, die sie aufgeworfen haben, und diese Verbindung kann genutzt werden, um die Neugierde auf den jeweils verhandelten Gegenstand zu lenken. Es wird natürlich immer schwierig bleiben, genau zu verstehen, was zum Beispiel die rätselhafte Größe namens Entropie bedeutet, mit der sich die Physiker seit dem 19. Jahrhundert herumschlagen. Aber vielleicht steigt die Lust, über das damit Gemeinte nachzudenken, wenn man erfährt, dass die fachlichen Diskussionen sich um ein Teufelchen gedreht haben, das die Naturgesetze verletzen sollte und das erst mehr als hundert Jahre nach seiner Erfindung in den Ruhestand versetzt werden konnte. Das Teufelchen, das können wir nämlich selbst sein, indem wir in das Naturgeschehen eingreifen und dabei lernen, wo unsere Grenzen liegen.

Hinter diesem eher allgemeinen Problem der Vermittlung steckt noch die Frage, wie die jeweils genannten Personen auf das mit ihrem Namen verbundene Thema gekommen sind. Hier müssten sich Vertreter einer Psychologie der Wissenschaft bemühen und äußern, die es leider noch nicht in ausreichender Zahl gibt. Wieso ist Kepler zum Beispiel so sicher, dass Kopernikus etwas Zutreffendes sagt, wenn er die Sonne ruhen und die Erde sich bewegen lässt? Schließlich sagen unsere Sinne – und die Alltagssprache – etwas anderes. Sie kennen sowohl den Sonnenaufgang als auch den Sonnenuntergang, und von Stillstand kann keine Rede sein. Oder wieso bezweifelt der Physiker Erwin Schrödinger die Deutung seiner eigenen Theorie der Atome und erkundet ihre Tragfähigkeit, indem er eine Katze in eine Höllenmaschine sperrt?

Das vorliegende Buch vertraut darauf, Keplers Problem dadurch lösen zu können, dass es nicht nur von alltagsfernen Einsichten der Forschung erzählt, sondern in der Nähe der Menschen beginnt, denen wir sie verdanken. Die Anregung zu dieser Publikation bekam ich von Jörg Sobiella vom Mitteldeutschen Rundfunk, mit dem ich, ausgehend von »Schrödingers Katze«, für das Kulturprogramm »Figaro« eine kleine Sendereihe vorgelegt habe. Sie war eine Kostprobe der hier präsentierten Schlüsselideen großer naturwissenschaftlicher Forscher.

Ernst Peter Fischer

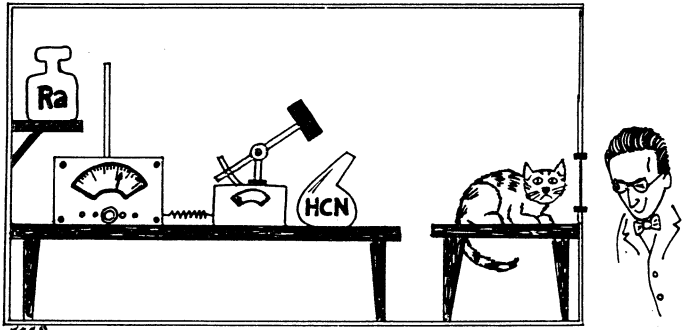
Konstanz, im Sommer 2006

AUF DER ATOMAREN BÜHNE

Schrödingers Katze

»Der Mensch kann auf dem Mond erwachen, aber keine Katze machen.« So hat Rainer Kunze einmal in einem Kinderbuch gereimt, und er wollte damit zwei von uns Menschen anvisierte technisch-wissenschaftliche Sphären vergleichen – die planbare Erfahrung und Erkundung des Weltraums mit der unfassbaren Entstehung und Entwicklung des Lebens. Doch so schön und wichtig sein Satz ist, er stimmt nicht ganz, denn zumindest einem Menschen ist es gelungen, eine Katze zu machen. Sie stammt von dem Physiker Erwin Schrödinger und spukt in unserem Kopf herum. Ihr geistiger Vater hat die Katze 1935 aus dem Sack gelassen und in einen Kasten gesteckt, um sich mit ihrer Hilfe darüber zu wundern, wie merkwürdig die Wirklichkeit geworden war, nachdem die damals neue physikalische Wissenschaft sie beschrieben hatte.

In Schrödingers Katze steckt ein Geheimnis, wie wir noch sehen werden, und deshalb lebt sie, aber sie lebt gefährlich, und zwar gleich doppelt. Sie lebt nicht nur gefährlich in dem Stahlkasten, den Physiker bis heute umschleichen, wenn sie verstehen wollen, ob ihre Theorien die Welt tatsächlich zutreffend beschreiben. Schrödingers Katze lebt aber auch gefährlich in den Köpfen, in denen sie auftaucht, wenn sich deren Träger darum bemühen, die Wirklichkeit so zu erfassen, dass auch die Handlungsmöglichkeiten der Katze dazugehören.



Das Experiment mit Schrödingers Katze.

Die Gefahr im Kasten droht, weil dort ein Giftgas auf den Zufall wartet, der es freisetzt; und die Gefahr in den Köpfen droht, weil Schrödingers Katze eine Theorie der atomaren Natur veranschaulichen soll, die nicht nur im eingeschränkt wissenschaftlichen, sondern selbst im global ökonomischen Bereich extrem erfolgreich ist, von der aber zugleich auch gesagt wird, dass nur derjenige sie wirklich verstanden hat, der dabei wenigstens ein wenig verrückt geworden ist.

Bei Schrödingers Katze handelt es sich um ein Gedankenexperiment. Man stellt sich vor, dass eine Katze in einen Kasten aus Stahl (mit Beobachtungsklappe) eingesperrt wird, in dem zum einen noch ein zerbrechliches Gefäß mit einem Giftgas (Blausäure) steht und in dem sich zum zweiten eine Quelle mit radioaktiven Atomen befindet. Zwar soll die Katze keinen Kontakt mit dem ihr Leben bedrohenden Glasbehälter bekommen können, aber über diesem Gefäß schwebt ein Hammer, der in dem Moment betätigt wird und das tödliche Gift freisetzt, in dem die radioaktiven Atome strahlen. Nun kann die zuständige Physik der Atome zwar genau erklären, wann die Hälfte der radioaktiven Atome ihre Energie freigesetzt hat – sie kann also sta-

tistische Auskünfte geben –, sie kann aber nicht vorhersagen, zu genau welchem Zeitpunkt im Kasten eine solche Strahlung auftritt und die Prozesse in Gang setzt, die zum Tod der Katze führen – die Physik kann in einem solchen Fall nur statistische Auskünfte geben.

Wir stellen die Radioaktivität der Atome nun so ein, dass es innerhalb einer Stunde mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit zu einem Zerfall und damit zum Zerschlagen des Gefäßes kommt. Was wissen wir dann nach dieser Stunde über die Katze im Kasten, ohne nachzuschauen? Wir wissen, dass sie mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit lebendig und mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit tot sein wird. Aber was heißt das?

Die Physik, die Schrödinger mit seiner Katze verstehen wollte, handelt natürlich nicht von ausgewachsenen Lebewesen, sondern von Atomen und den dazugehörigen Bauteilen, wie es etwa die Elektronen sind. Nun kann ein Atom nicht tot oder lebendig sein, sich wohl aber in zwei Richtungen orientieren, die wir ›rauf‹ und ›runter‹ nennen wollen. Wir stellen uns jetzt statt der Katze ein Atom im Stahlkasten vor – natürlich ohne Gift, dafür eventuell mit einem Magnetfeld. Wir können alles so einrichten, dass wir von diesem Atom auch nur wissen, dass es mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit ›rauf‹ und mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit ›runter‹ zeigt. Was passiert nun, wenn wir in dem Fall die Beobachtungsklappe öffnen?

Das weiß die Physik genau. Sie sagt (in den Lehrbüchern), dass wir durch unser Messen das Atom festlegen. Unsere Beobachtung bestimmt, ob es ›rauf‹ oder ›runter‹ zeigt. Und das fand Schrödinger unsinnig, denn das würde – übertragen auf seine Katze im geschlossenen Kasten – bedeuten, dass das schnurrende Wesen eine Art verschmiertes Leben führt und halb lebendig und halb tot ist. Und dieser Absurdität folgte eine ungeheure zweite, denn was die Katze wirklich ist, entscheidet sich nicht von innen, sondern erst durch das Nachsehen von außen. Wer die Beobachtungsklappe betätigt, bringt die Katze um – falls er sie tot im Kasten findet (oder er macht sie völlig lebendig, wenn sie weiter herumspringt). Das heißt, Schrödingers Katze lebt wirklich gefährlich, solange jemand vor ihrem Kasten herumschleicht und seine Finger Richtung Beobachtungsklappe streckt. Vielleicht sollten wir das unterbinden und das ganze Konstrukt in aller Stille verschwinden lassen. Oder möchte es doch jemand riskieren, der Katze ins Gesicht zu blicken?

Der Name vor der Katze

Wissenschaftlich gesehen geht es bei Schrödingers Katze um die Physik der Atome, die in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts sehr erfolgreich entwickelt werden konnte. Sie konnte Naturgesetze aufzeigen, mit deren Hilfe es unter anderem möglich wurde, die Grundelemente (Chips) der modernen Computer zu bauen. Die aktuelle Weltwirtschaft basiert zu einem beachtlichen Teil auf Produkten, die ohne die genannte Physik der Atome nicht einmal vorstellbar wären. Was so gut funktioniert, sollte auch entsprechend gut verstanden sein, denkt sich der Laie, um sich durch Schrödingers Katze eines Besseren belehren zu lassen. Ihr Erscheinen führt uns vor Augen, dass wir unserer erfolgreichsten wissenschaftlichen Theorie ziemlich fremd gegenüberstehen und dass etwas mit dem (tiefen philosophischen) Verständnis der Physik nicht stimmt, auf deren mathematischer Oberfläche unsere Wirtschaft floriert!

Das hier im Mittelpunkt stehende Tier ist nach dem österreichischen Physiker Erwin Schrödinger (1887–1962) benannt, der 1933 mit dem Nobelpreis für sein Fach ausgezeichnet worden ist und den sein Vaterland einmal auf dem letzten 1000-Schilling-Schein vor der Einführung des Euro abgebildet hat. Schrödingers Ruhm basiert vor allem auf einer grandiosen Leistung, die er in der zweiten Hälfte der 1920er Jahre vollbrachte, als er mit nach wie vor atemberaubender mathematischer Eleganz Grundgleichungen für das Verhalten von Atomen aufstellte. Diese Gleichungen sind nach ihm benannt und sorgen seit Jahrzehnten dafür, dass es in der Welt der Wissenschaft keinen Namen gibt, der häufiger ausgesprochen wird. Ununterbrochen werden überall dort, wo sich Physiker betätigen, die Schrödinger-Gleichungen eingesetzt, und stets bekommt die Fachwelt durch sie die Auskünfte, die sie braucht, um das

Wechselspiel der materiellen Dinge erfassen und für technische Entwicklungen nutzen zu können.

Was auf den ersten Blick wie ein makelloser Triumph aussieht, bekommt seine ersten dunklen Flecke, wenn man erfährt, dass Schrödingers Interesse an den Atomen durch ein Gefühl geweckt wurde, das er als ekelhaft und abscheulich beschrieben hat. Unser Held fühlte sich tatsächlich angewidert von einer Beschreibung der Atome, die der junge Physiker Werner Heisenberg um 1925 vorgestellt hat und die uns in einem späteren Kapitel erneut begegnen wird (»Heisenbergs Unbestimmtheit«). Heisenberg hatte bei seiner Behandlung der Atome ernst gemacht mit der damals bereits über zwanzig Jahre alten Beobachtung, dass es in der Natur Quantensprünge gibt, wie wir heute mit einem längst populär gewordenen Begriff sagen. Atome können offenbar problemlos von einem Zustand mit hoher Energie in einen Zustand mit geringerer Energie wechseln, ohne irgendetwas oder irgendwo dazwischen zu sein, und wenn sie das tun, strahlen sie noch triumphierend etwas Licht ab. Wir können jetzt sehen, dass sie »gesprungen« sind, ohne zu wissen, wie es ihnen gelungen ist.

Schrödinger verärgerte diese Quantenspringerei über alle Maßen, mit der sich seine Kollegen zufriedengaben, und er setzte im Winter 1925/26 sein ganzes physikalisches und mathematisches Können ein, um die elende Hopserei aus der Wissenschaft zu vertreiben und den Weg zurück zu den Tugenden der klassischen Physik mit ihrem klaren, auf Vorhersehbarkeit angelegten Verständnis der Natur zu finden.

Wer das Auftreten von Schrödingers Katze verstehen will, muss von ihrem Schöpfer nicht nur wissen, was er wissenschaftlich unternommen hat. Es gehört auch zum Gesamtbild von Schrödinger, dass er zunächst eher ein gemütlicher Mensch war, der in den 1920er Jahren von einem Lehrstuhl an einer

kleinen Provinzuniversität träumte. Dort wollte er in aller Ruhe seinen physikalischen Pflichten angemessen nachkommen und daneben sehr viel Zeit für die Lektüre philosophischer Texte aufwenden, wobei es ihm damals neben griechischen vor allem indische Schriften angetan hatten. Ein Pfeifchen rauchen, ein Gläschen trinken, ein Büchlein studieren, immer mal wieder eine junge Frau abschleppen – so hätte es ein genügsames, glückliches Leben an der Peripherie der großen Wissenschaft werden können, doch dann kam der Ärger wegen der Quantensprünge, und in höchster Erregung warf Schrödinger Heisenberg den Fehdehandschuh hin.

Schon nach wenigen Monaten intensiven Nachsinnens – erst beim Skilaufen mit einer Freundin in den Ferien und dann weiter zu Hause bei der eigenen Frau – glaubte er, mit seinen Schrödinger-Gleichungen vollkommen triumphiert zu haben. Er hatte eine (mathematische) Form gefunden, mit der sich die Abläufe im Inneren eines Atoms als Bewegung von schwingenden Wellen darstellen ließen. Was Heisenberg als scharfe Quantensprünge über merkwürdige Lücken in der Wirklichkeit hinnehmen musste, über die man nichts wissen konnte, schien Schrödinger in die zugleich rasche und grazile Bewegung einer durchgängigen Saite verwandeln zu können, wie sie etwa bei einer Geige vorkommt, wenn das Streichen des Bogens oder das Greifen der Finger für den Wechsel eines Tons sorgen oder gar eine komplette Melodie zustande bringen.

So dachte Schrödinger jedenfalls, bis ihm seine Kollegen nach und nach klarmachten, dass an dieser Stelle der Wunsch der Vater des Gedankens war. Schrödingers Gleichungen konnten allein deshalb keine real schwingenden Elemente – wie die Saiten einer Geige – darstellen, weil sie in einer völlig fremden Welt definiert waren. Schrödingers Gleichungen handeln tatsächlich nicht von dieser Welt. Sie lassen sich nur als mathema-