

Sharon Bertsch McGrayne

Die Theorie, die nicht 

sterben wollte  Wie der

englische Pastor Thomas

Bayes eine Regel entdeckte,

die nach 150 Jahren voller

Kontroversen  heute 

aus Wissenschaft, Technik

 und Gesellschaft nicht

mehr wegzudenken ist 



SACHBUCH



Springer Spektrum

Die Theorie, die nicht sterben wollte



Sharon Bertsch McGrayne interessiert sich für die Schnittstelle von wissenschaftlichem Fortschritt und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und ist Autorin mehrerer Bücher über wissenschaftliche Entdeckungen und die Menschen, die dahinter stehen – darunter *Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles, and Momentous Discoveries* und *Prometheans in the Lab: Chemistry and the Making of the Modern World*. Die Absolventin des Swarthmore College hat als Wissenschaftsjournalistin für Zeitschriften wie *Science*, *Scientific American*, *Discover* und *The Times Higher Education Supplement* geschrieben und ist mit

mehreren Beiträgen in der *Encyclopaedia Britannica* vertreten. Sie lebt in Seattle im US-Bundesstaat Washington.

Website der Autorin: <http://www.mcgrayne.com>

Sharon Bertsch McGrayne

Die Theorie, die nicht sterben wollte

Wie der englische Pastor Thomas Bayes eine Regel entdeckte, die nach 150 Jahren voller Kontroversen heute aus Wissenschaft, Technik und Gesellschaft nicht mehr wegzudenken ist

Aus dem Englischen übersetzt von Carl Freytag



Springer Spektrum

Sharon Bertsch McGrayne
Yale University Press
New Haven
USA

ISBN 978-3-642-37769-3 ISBN 978-3-642-37770-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-37770-9

Übersetzung der amerikanischen Originalausgabe *The Theory That Would Not Die* von Sharon Bertsch McGrayne, erschienen bei Yale University Press 2011. © 2011 Sharon Bertsch McGrayne. Alle Rechte vorbehalten.

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

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Planung und Lektorat: Frank Wigger, Bettina Saglio

Redaktion: Bernhard Gerl

Einbandentwurf: deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-spektrum.de

*„Wenn sich die Fakten ändern, ändere ich meine Meinung.
Und Sie?“*

—John Meynard Keynes

Vorwort zur englischen Taschenbuch-Ausgabe 2013

Als ich vor zehn Jahren mit der Arbeit an diesem Buch anfang, kannten nur Spezialisten das Bayes-Theorem. Ich kann mich noch gut an die Freude erinnern, als ich 2003 im Netz nach dem Begriff „bayesian“ suchte und 100 000 Websites angezeigt bekam. Jetzt liefern die Suchmaschinen zehn Millionen Hinweise: eine gewaltige Steigerung. Das Interesse der Wissenschaftler und Techniker am Bayes-Theorem ist förmlich explodiert.

Seit dem Erscheinen des Buches 2011 ist aber aus dem Bayes-Theorem auch eine Metapher für die auf Daten basierende Entscheidungsfindung und das menschliche Denken geworden.

John Allen Paulos empfahl den Lesern des *New York Times Book Review*: „Wenn Sie noch nicht wie ein Bayesianer denken, sollten Sie einer werden.“

Bei einem Gespräch über dieses Buch erklärte Alan Krueger, der Leiter von Präsident Obamas Council of Economic Advisers einem Reporter Folgendes: „Das Bayes-Theorem ist eine statistische Theorie, die eine lange und interessante Geschichte hat. Bayes ist bei der Entscheidungsfindung wichtig, also bei der Frage, wie lange man an seinen Ansichten kleben soll und wie schnell man sie aktualisieren sollte, wenn neue Informationen dazukommen. Wir benutzen Bayes ganz intuitiv jeden Tag.“

Der Begriff „Bayes“ wurde über Jahrzehnte im 20. Jahrhundert so kontrovers diskutiert, dass man ihn am besten gar nicht verwendete. Das hat sich geändert, und heute kennen nicht nur Insider das Bayes-Theorem.

So hat zum Beispiel 2011, gerade als die Hardcover-Ausgabe des Buches herauskam, die französische Regierung ausdrücklich die Bayes'schen Methoden gerühmt, die nach einer zweijährigen vergeblichen Suche zur Auffindung des Wracks des Air-France-Flugs 447 führten. Die bemerkenswerte Geschichte dieser Suchaktion erzähle ich im letzten Kapitel des Buches.

Natürlich freue ich mich sehr, dass Bayes nun den Kinderschuhen entwachsen ist. Bei der Arbeit an dem Buch stieß ich zunächst auf wunderbare Geschichten von erfolgreichen Versuchen mit dem Theorem, die eine Revolution im Umgang mit Wissen darstellten. Aber das Bayes-Theorem wurde für mich sehr schnell mehr.

Es scheint, dass wir in einem Zeitalter der Dogmen leben, und Bayes sagt uns, dass es ganz in Ordnung ist, ein Vorhaben auch mit einer halbgenauen Idee zu beginnen. Reverend Thomas Bayes hat selbst verkündet, man möge mit einer Vermutung beginnen. Und wenn man nichts Genaueres weiß, soll man sie mit 50 zu 50 bewerten. Dann aber fordert das Bayes-Theorem von uns, diese a priori gesetzte Vermutung zu modifizieren und zu aktualisieren, wann immer neue Informationen auftauchen. Die Forderung von Bayes, angesichts neuen Wissens unermüdlich daran zu arbeiten, unsere Vorstellungen zu ändern, hat für mich ein besonderer Reiz.

Die Rezensenten meines Buches waren überraschend begeistert. Aber viele Leser und Rezensenten hätten gern mehr mathematische Beispiele gesehen, die Bayes bei der Arbeit zeigen. Daher enthält nun die Neuauflage, die auch die Grundlage für die vorliegende deutsche Übersetzung ist, etliche Boxen mit einigen einfachen mathematischen Fallbeispielen zur Verwendung des Bayes-Theorems: Da ist der tragische Justizirrtum im Fall von Sally Clark, die Vererbung der Bluterkrankheit, die Suche nach verschollenen Schiffen und die Macht subjektiver Apriori-Annahmen, wenn nicht genügend Daten vorliegen. Jedes der Fallbeispiele beleuchtet einen bestimmten Aspekt des Bayes-Theorems. Mein Dank für ihre Hilfe bei diesen zusätzlichen Fallbeispielen gilt John Carlin, Daniel Gianola, Ray Hill, Albert Madansky und Henry R. „Tony“ Richardson.

Zum Schluss will ich noch einmal meinen Dank an alle wiederholen, die das Buch ermöglicht und es im ersten Jahr nach seiner Veröffentlichung unterstützt und gefördert haben.

Seattle
August 2012

Sharon Bertsch McGrayne

Vorwort

Anmerkungen für die Leserinnen und Leser

Es gibt ein berühmtes Beispiel für eine wissenschaftliche Entdeckung, die wieder in den Schubladen verschwand: 1912 sammelten Geologen Beweise für die Kontinentaldrift – um anschließend 50 Jahre zu argumentieren, dass sich Kontinente gar nicht bewegen können.

Der wissenschaftliche Streit um das Bayes-Theorem ist weniger gut bekannt, dauerte aber viel länger, nämlich 150 Jahre. Es ging dabei um ein Thema, das uns grundsätzlich alle angeht: Wie analysieren wir Beweisstücke und ändern unsere Meinung, wenn wir neue Informationen bekommen, und wie treffen wir angesichts von Ungewissheit rationale Entscheidungen. Dieser Streit wurde erst zu Beginn des 21. Jahrhunderts entschieden.

Oberflächlich betrachtet ist das Bayes-Theorem so simpel, dass man es in einem Satz zusammenfassen kann: Wir revidieren unsere ursprüngliche Ansicht zu irgendeinem Sachverhalt aufgrund neuer objektiver Informationen und kommen so zu besseren Ansichten. Für die Anhänger des Theorems ist das eine elegante Formulierung dafür, dass wir aus Erfahrung klüger werden. Ganze Generationen von Verfechtern der Bayes'schen Regel erinnern sich an eine geradezu religiöse Erleuchtung, als sie unter den Bann ihrer inneren Logik gerieten. Die, die das Bayes-Theorem für etwas Subjektives hielten, liefen unterdessen Amok.

Die Geschichte des Theorems begann im England der 1740er-Jahre – inmitten einer hitzig geführten religiösen Debatte darüber, ob man aus irdischen Erfahrungen rationale Schlüsse auf die Existenz Gottes ziehen kann. Der Geistliche Thomas Bayes, ein Amateurmathematiker, entdeckte das Theorem, und wir feiern ihn noch heute als den Vater der Entscheidungsfindung auf mathematischer Basis. Bayes selbst jedoch ließ seine Entdeckung in Vergessenheit geraten. Er war damals in der Welt der Wissenschaft ein unbeschriebenes Blatt, und wir wissen von seiner Arbeit nur durch seinen Freund und Herausgeber Richard Price, einen Helden der amerikanischen Revolution, der aber ebenfalls fast vergessen ist.

Es gäbe gute Gründe, das Theorem mit einem anderen Namen zu verbinden, nämlich dem des Franzosen Pierre-Simon Laplace, der einer der einflussreichsten Mathematiker und Naturwissenschaftler der Geschichte war. Beim Versuch, eine ungeahnte Flut von Daten zu bewältigen, entdeckte Laplace das Theorem 1774 wieder. Er entwickelte es in den darauf folgenden 40 Jahren zu der Form weiter, die wir heute kennen. Dass wir Laplaces Entdeckung als Bayes'sche Regel oder Bayes-Theorem bezeichnen, ist lediglich eine historische Übereinkunft. Mit seiner Methode schloss Laplace beispielsweise darauf, dass hinter der bekannten Tatsache, dass mehr Jungen als Mädchen geboren werden, mit großer Sicherheit das Ergebnis eines Naturgesetzes steht.

Nach dem Tod von Laplace erklärten Forscher und Gelehrte, die auf präzise, objektive Antworten aus waren, seine Methode für subjektiv und überholt. Zur gleichen Zeit aber stützten sich Wissenschaftler, die praktische Probleme der realen Welt zu lösen hatten, auf eben diese Methode. Sie konnten einen spektakulären Erfolg verzeichnen, als Alan Turing im Zweiten Weltkrieg mit dem Bayes-Theorem den Enigma-Geheimcode der deutschen Kriegsmarine knackte. Das half nicht nur Großbritannien, sondern trug auch zur Entwicklung moderner Computer und Software bei. Andere führende mathematische Denker wie der Russe Andrei Kolmogorov und Claude Shannon aus New York erweckten das Theorem ebenfalls zu neuem Leben, um im Krieg zu schnellen Entscheidungen zu kommen.

In den Jahren, in denen Theoretiker in ihrem Elfenbeinturm dachten, sie hätten Bayes aus der Mathematik verbannt, trug die Methode dazu bei, in den USA die Arbeiterunfallversicherung einzuführen, das Bell-Telefonsystem während der Börsenkrise von 1907 vor dem finanziellen Ruin zu bewahren, Alfred Dreyfus aus einem französischen Gefängnis zu befreien, das Artilleriefeuer der Alliierten zu lenken, deutsche U-Boote aufzuspüren und das Epizentrum von Erdbeben zu lokalisieren sowie (fälschlicherweise) zu schließen, dass der Erdkern aus geschmolzenem Eisen besteht.

Aus Sicht der Theoretiker war das Bayes-Theorem ein Tabu. Aber praktisch gesehen konnte es mit allen möglichen Daten umgehen, seien sie nun in Fülle vorhanden oder nur spärlich. Während des Kalten Krieges half Bayes den USA, eine verlorengegangene Wasserstoffbombe sowie amerikanische und sowjetische U-Boote aufzuspüren, mit Bayes wurde die Sicherheit von Kernkraftwerken untersucht, die Tragödie um die Raumfähre Challenger vorhergesagt und belegt, dass Rauchen Lungenkrebs verursacht und ein hoher Cholesterinspiegel Herzinfarkte begünstigt. Mit Bayes konnten TV-Wahlsendungen früh verkünden, wer Präsident werden würde – und vieles mehr.

Warum regten sich rational denkende Naturwissenschaftler, Mathematiker und Statistiker derart über das Theorem auf, dass ihr Streit, wie ein Beobachter es nannte, zu einem Kampf bis aufs Messer wurde? Die Antwort ist einfach. In seinem tiefsten Inneren läuft Bayes der tief verwurzelten Über-

zeugung der modernen Wissenschaft entgegen, dass sie Objektivität und Präzision braucht. Bayes bestimmt „nur“ den Grad unseres Glaubens und besagt, dass wir sogar aus fehlenden und mangelhaften Daten, aus Näherungen und aus unserem Nichtwissen lernen können.

Aufgrund dieses philosophischen Grundsatzstreits rankt sich um das Bayes-Theorem eine Geschichte aus Fleisch und Blut, in der eine kleine Gruppe hart bedrängter Verfechter fast im ganzen 20. Jahrhundert für die Legitimität und Akzeptanz des Theorems kämpfte.

Seine enge Verbundenheit mit den Geheimnissen des Zweiten Weltkriegs und des Kalten Kriegs ist Teil dieser Geschichte. Es geht um ein Theorem, das nach Computern und Softwarepaketen verlangte und um eine Methode, die – aufgefrischt von Außenseitern in der Physik, von Computerwissenschaftlern und von Pionieren der Künstlichen Intelligenz – fast über Nacht akzeptiert wurde, nachdem sie „plötzlich“ funktionierte. In einer neuen Art von Paradigmenwechsel für eine pragmatische Welt begann ein Manager von Google, der Bayes „das Crack der modernen Statistik“ genannt hatte, „das verführt, süchtig macht und destruktiv ist“, Bayesianer für seine Firma zu rekrutieren.

Heute sorgen Bayes'sche Spam-Filter dafür, dass pornografische oder betrügerische E-Mails in den Junk-Ordner unserer Computer verschoben werden. Sinkt ein Schiff, lokalisiert die Küstenwache mit Bayes Überlebende, die möglicherweise schon Wochen auf See treiben. Wissenschaftler erforschen mit Bayes, wie Gene kontrolliert und reguliert werden. Bayes gewinnt sogar Nobelpreise, und Bayes durchkämmt das Internet und verkauft Songs und Filme. Bayes ist in die Computerwissenschaft eingedrungen wie auch in die Künstliche Intelligenz, das maschinelle Lernen, die Wall Street, Astronomie, Physik, innere Sicherheit, Microsoft und Google. Bayes hilft Computern, Sprachen zu übersetzen und reißt damit den Jahrtausende alten Turm von Babel ein. Bayes ist zur Metapher dafür geworden, wie unser Gehirn funktioniert. Und prominente Bayesianer beraten sogar die Regierung in Fragen der Energiewirtschaft, der Erziehung und der Forschung.

Das Bayes-Theorem ist aber nicht nur mit einer undurchsichtigen wissenschaftlichen Kontroverse verbunden, die inzwischen beigelegt wurde. Es betrifft uns alle. Es liefert uns einen Ansatz, wie wir in den weiten Bereichen des Lebens weiterkommen, die in der Grauzone zwischen absoluter Wahrheit und völligem Unwissen liegen. Oft haben wir über das, was uns interessiert, nur bruchstückhafte Informationen. Aber wir alle versuchen, auf der Grundlage der Erfahrungen, die wir gemacht haben, auf die Zukunft zu schließen und ändern unsere Meinung, wenn wir neue Informationen bekommen. Nach langen schmerzhaften Jahren der leidenschaftlichen Verdammung weist Bayes heute einen Weg, rational mit der Welt umzugehen.

Dieses Buch erzählt, wie es zu diesem bemerkenswerten Durchbruch kam.

Danksagung

Für ihren wissenschaftlichen Rat, ihre Sichtweisen und für ihre Geduld mit jemandem, der eine Vielzahl von Fragen stellte, bin ich Dennis V. Lindley, Robert E. Kass und George F. Bertsch zu tiefem Dank verpflichtet. Die drei Genannten haben auch viele Entwürfe des Buches gelesen und scharfsinnige Kommentare beigesteuert. Ohne die Unterstützung meines Mannes George F. Bertsch hätte ich dieses Buch nicht schreiben können.

Für ihre kenntnisreiche Hilfe bei entscheidenden Gedankengängen in meinem Buch danke ich James O. „Jim“ Berger, David M. Blei, Bernard Bru, Andrew I. Dale, Arthur P. Dempster, Persi Diaconis, Bradley Efron, Stephen E. Fienberg, Stuart Geman, Roger Hahn, Peter Hoff, Tom J. Lored, Albert Madansky, John W. Pratt, Henry R. „Tony“ Richardson, Christian P. Robert, Stephen M. Stigler und David L. Wallace.

Viele weitere Experten und Spezialisten haben mit mir oft ausführlich über bestimmte Bereiche, Probleme, Details und beteiligte Personen geredet. Dazu gehören Captain Frank A. Andrews, Frank Anscombe, George Apostolakis, Robert A. und Shirley Bailey, Friedrich L. Bauer, Robert T. Bell, David R. Bellhouse, Julian Besag, Alan S. Blinder, George E. P. Box, David R. Brillinger, Bruce Budowle, Hans Bühlmann, Frank Carter, Herman Chernoff, Juscelino F. Colares, Jack Copeland, Ann Cornfield, Ellen Cornfield, John Piña Craven, Lorraine Daston, Philip Dawid, Joseph H. Disenza, Ralph Erskine, Michael Fortunato, Karl Friston, Chris Frith, John „Jack“ Frost, Dennis G. Fryback, Mitchell H. Gail, Alan E. Gelfand, Andrew Gelman, Edward I. George, Edgar N. Gilbert, Paul M. Goggans, I. J. „Jack“ Good, Steven N. Goodman, Joel Greenhouse, Ulf Grenander, Gerald N. Grob, Thomas L. Hankins, Jeffrey E. Harris, W. Keith Hastings, David Heckerman, Charles C. Hewitt Jr., Ray Hilborn, David C. Hoaglin, Antje Hoering, Marvin Hoffenberg, Susan P. Holmes, David Hounshell, Ronald H. Howard, David Howie, Bobby R. Hunt, Fred C. Iklé, David R. Jardini, William H. Jefferys und Douglas M. Jessep.

Dazu Michael I. Jordan, David Kahn, David H. Kaye, John G. King, Kenneth R. Koedinger, Daphne Koller, Tom Kratzke, James M. Landwehr, Bernard Lightman, Richard F. Link, Edward P. Loane, Michael C. Lovell,

Thomas L. Marzetta, Scott H. Mathews, John McCullough, Robert L. Mercer, Richard F. Meyer, Glenn G. Meyers, Paul J. Miranti Jr., der stellvertretende Kommandant Dewitt Moody, Konteradmiral Brad Mooney, R. Bradford Murphy, John W. Negele, Viceadmiral John „Nick“ Nicholson, Peter Norvig, Stephen M. Pollock, Theodore M. Porter, Alexandre Pouget, S. James Press, Alan Rabinowitz, Adrian E. Raftery, Howard Raiffa, John J. Rehr, John T. Riedl, Douglas Rivers, Oleg Sapozhnikov, Peter Schlaifer, Arthur Schleifer Jr., Michael N. Shadlen, Edward H. „Ted“ Shortliffe, Edward H. Simpson, Harold C. Sox, David J. Spiegelhalter, Robert F. Stambaugh, Lawrence D. Stone, William J. Talbott, Judith Tanur, The Center for Defense Information, Sebastian Thrun, Oakley E. „Lee“ Van Slyke, Gary G. Venter, Christopher Volinsky, Paul R. Wade, Jon Wakefield, Homer Warner, Frode Weierud, Robert B. Wilson, Wing H. Wong, Judith E. Zeh und Arnold Zellner.

Ich möchte auch zwei Gutachtern (Jim Berger und Andrew Dale) für die sorgfältige Lektüre des Manuskripts und die nützlichen Kommentare danken, die es verbessert haben.

Einige Freunde und Familienmitglieder – Ruth Ann Bertsch, Cindy Vahey Bertsch, Fred Bertsch, Jean Colley, Genevra Gerhart, James Goodman, Carolyn Keating, Timothy W. Keller, Sharon C. Rutberg, Beverly Schaefer und Audrey Jensen Weitkamp – machten wesentliche Anmerkungen. Besonders dankbar bin ich den Mitarbeitern der Mathematik-Bibliothek der University of Washington in Seattle – und meiner Agentin Susan Rabiner sowie dem Verleger William Frucht für ihre unermüdliche Unterstützung.

Für Fehler, die das Buch trotz all dieser Hilfe noch aufweisen mag, bin natürlich ich selbst verantwortlich.

Abkürzungen

<i>JAMA</i>	<i>Journal of the American Medical Association</i>
<i>JASA</i>	<i>Journal of the American Statistical Association</i>
<i>JRSS</i>	<i>Journal of the Royal Statistical Society</i>
<i>OC</i>	<i>Oeuvres Complètes de Laplace</i> (s. Laplace 1904 ff.)
<i>PCAS</i>	<i>Proceedings of the Casualty Actuarial Society</i>

Inhalt

Vorwort zur englischen Taschenbuch-Ausgabe 2013.....	VII
Vorwort	IX
Danksagung.....	XIII
Abkürzungen.....	XV

Teil I

Aufklärung und anti-Bayes'sche Reaktion.....	1
1 Die Frage nach den Ursachen	3
2 Pierre-Simon Laplace: Der Mann, der alles machte	15
3 Viele Zweifler, wenige Verteidiger	39

Teil II

Die Zeit des Zweiten Weltkriegs	69
4 Bayes zieht in den Krieg	71
5 Noch einmal tot und begraben	101

Teil III

Die grandiose Wiedergeburt.....	103
6 Arthur Bailey: Bayes und die Versicherungen	105
7 Vom statistischen Werkzeug zur Glaubensfrage.....	111
8 Jerome Cornfield: Lungenkrebs und Herzinfarkt.....	127

9	Bayes und das Unmögliche: Unfälle mit Atombomben.	139
10	46 656 Varianten des Bayes-Theorems	149

Teil IV

Die Nützlichkeit von Bayes		159
11	Business-Entscheidungen	161
12	Wer schrieb die <i>Federalist</i> -Artikel?	179
13	Kalte Krieger	189
14	Three Mile Island	203
15	Eine Wasserstoffbombe fällt ins Mittelmeer	209

Teil V

Der Sieg des Bayes-Theorems		245
16	Heureka!	247
17	Bayes und die babylonische Sprachverwirrung	271
18	Epilog: Der Air France-Flug 447 Rio de Janeiro – Paris	293
	Anmerkungen	299
	Glossar	315
	Sachverzeichnis	351
	Namensverzeichnis	359

Teil I

Aufklärung und anti-Bayes'sche Reaktion

1

Die Frage nach den Ursachen

Irgendwann in den 1740er-Jahren machte der englische Geistliche Thomas Bayes jene geniale Entdeckung, die heute seinen Namen trägt. Merkwürdigerweise ging er ihr dann aber nicht weiter nach. Die Entdeckung wurde später und unabhängig von Bayes von einem anderen, weit berühmteren Mann erneut gemacht: von Pierre-Simon Laplace. Er gab ihr die moderne mathematische Form und erkannte, wie man sie in der Wissenschaft anwenden kann – um sich dann jedoch anderen Verfahren zuzuwenden. Obwohl das Bayes-Theorem die Aufmerksamkeit der bedeutendsten Statistiker des 20. Jahrhunderts auf sich zog, haben einige von ihnen die Methode und ihre Anhänger verunglimpft, und sie so lange zerlegt, bis man sie für tot erklärte. Zur gleichen Zeit gelang es aber, mit ihr praktische Fragen zu lösen, für die andere Verfahren keine Antwort lieferten: Die Verteidiger von Hauptmann Dreyfus demonstrierten mit ihr dessen Unschuld, Versicherungsmathematiker berechneten mit ihr die Tarife, Alan Turing entschlüsselte mit ihr den Enigma-Code der Deutschen und trug dazu bei, eine Niederlage der Alliierten im Zweiten Weltkrieg zu verhindern. Dann fand die US-Navy mit ihr eine verloren gegangene Wasserstoffbombe und lokalisierte sowjetische U-Boote. Die RAND-Corporation schätzte mit ihr die Wahrscheinlichkeit eines atomaren Unfalls ab, und Forscher in Harvard und Chicago versuchten mit ihr, die Autoren der unter Pseudonym veröffentlichten *Federalist Papers* von 1787/88 zu identifizieren. Viele Anhänger von Bayes hatten ein fast religiöses Bekehrungserlebnis, als sie den Wert der Methode für die Wissenschaft erkannten, aber sie mussten deren Verwendung verheimlichen und vorgeben, andere Verfahren zu nutzen. Erst im 21. Jahrhundert verlor die Methode ihr Stigma und wurde weitgehend akzeptiert, ja enthusiastisch gefeiert.

Am Anfang der Geschichte stehen Thomas Bayes und ein einfaches Gedankenexperiment. Wie der Grabstein Bayes' sagt, starb er 1761 im Alter von 59 Jahren. Er lebte also in einer Zeit, in der sich England von fast 200 Jahren religiöser Kämpfe, Bürgerkriege und Königsmorde erholte. Bayes war Geistlicher der Presbyterianer, einer religiösen Vereinigung, die verfolgt wurde, weil sie der Church of England, der Staatskirche, die Gefolgschaft verweigerte. In der Generation seiner Großeltern waren 2000 Nonkonformisten in engli-

schen Gefängnissen gestorben, und auch in Bayes sah man einen Abweichler. Zu Bayes' Zeit war die Mathematik in religiöse und politische Richtungen aufgespalten, und viele engagierte Mathematiker waren Amateure, da sie als Nonkonformisten keinen Zugang zu den englischen Universitäten hatten.¹

Da Thomas Bayes in England keinen akademischen Grad erwerben konnte, studierte er Theologie und vermutlich Mathematik an der University of Edinburgh im presbyterianischen Schottland, wo zu seinem Glück auch das akademische Niveau weit höher lag. 1721 ging er dann nach London, dort weihte ihn sein Vater, der Priester war, zum Geistlichen und stellte ihn als Helfer ein.

Die Hetzjagd auf Andersgläubige machte viele englische Nonkonformisten zu streitlustigen Kritikern, auch Bayes engagierte sich, als er Ende 20 war, in einer heißen theologischen Debatte: Kann man die Existenz des Bösen mit der Annahme göttlicher Güte vereinbaren? 1731 schrieb er dazu eine Streitschrift – heute würde man sagen: einen Blog – mit dem Titel *Divine Benevolence* (Göttliche Güte), in der er erklärte, Gott gebe den Menschen „das Höchstmaß an Glück, zu dem sie fähig sind“.

Als er 40 war, verschränkten sich Bayes' mathematische und theologische Interessen immer enger. Der irisch-anglikanische Bischof George Berkeley, nach dem die führende Universität Kaliforniens benannt ist, veröffentlichte eine flammende Schrift, in der er nonkonformistische Mathematiker sowie die Infinitesimalrechnung, die abstrakte Mathematik, Isaac Newton und alle anderen „Freidenker“ und „ungläubige Mathematiker“ verdammt, die der Ansicht waren, die Vernunft könne jeden Menschen erleuchten. Berkeleys Schrift war in der britischen Mathematik das aufsehenerregendste Ereignis zu Beginn des 18. Jahrhunderts.²

Bayes stieg nun wieder in den Krieg der Streitschriften ein und verfasste 1736 eine *Introduction to the Doctrine of Fluxions*, in der er Newtons Infinitesimalrechnung verteidigte und erklärte. Dieser Text ist Bayes' einzige mathematische Veröffentlichung, die zu seinen Lebzeiten erschien. Bald darauf, 1742, schlugen fünf Gelehrte (unter ihnen ein enger Freund Newtons) der Royal Society vor, ihn als Mitglied aufzunehmen. Die Nominierung vermied jeden Hinweis auf den Gelehrtenstreit und beschrieb Bayes als einen „Gentleman, dessen Verdienste bekannt sind, der in Geometrie und allen Teilen der mathematischen und philosophischen Gelehrsamkeit hochgebildet ist“. Seinerzeit war die Royal Society nicht die professionelle Organisation, die sie heute ist, sondern eine Vereinigung von beitragszahlenden Amateuren aus Kreisen des Landadels. Sie spielte aber dennoch eine bedeutende Rolle, denn einige der größten wissenschaftlichen Durchbrüche dieser Zeit sind Amateuren zu verdanken.

In jenen Jahren tat sich Bayes mit einer weiteren Gruppe von Amateurmathematikern zusammen, die wissenschaftlich gesehen auf der Höhe der Zeit waren. Er war in eine kleine Gemeinde in Tunbridge Wells gewechselt, einem eleganten Kurort mit einer eisenhaltigen Heilquelle. Als unabhängiger, wohlhabender Junggeselle – seine Familie hatte mit der Produktion von Sheffielder Stahlbesteck ein Vermögen gemacht – mietete er sich bei einer nonkonformistischen Familie ein. Seine kirchlichen Verpflichtungen waren überschaubar: eine Messe an jedem Sonntag. Und die Gepflogenheiten in dem Kurort erlaubten es, ganz im Gegensatz zu anderen Orten, dass sich Nonkonformisten, Juden, Römisch-Katholische und sogar Ausländer unter die englische Gesellschaft mischten, zu der auch einige wohlhabende Earls gehörten.

Ein regelmäßiger Gast in Tunbridge Wells war Philip, der zweite Earl of Stanhope; er hatte schon als Kind eine Leidenschaft für Mathematik entwickelt, die sein Erzieher aber als nicht standesgemäß ablehnte. Als Stanhope 20 war und tun konnte, was er wollte, konnte ihn niemand mehr von Euklid abbringen. Elizabeth Montagu zufolge, der „Königin der Blaustrümpfe“³ zeichnete Stanhope „ständig mathematische Skizzen in sein Notizbuch, sodass ihn die eine Hälfte der Leute für einen Hexenmeister hielt, die andere für einen Verrückten“.⁴ Stanhope veröffentlichte zeitlebens keine eigenen Texte – sei es wegen seiner aristokratischen Stellung, sei es, weil er so spät mit der Mathematik angefangen hatte. Aber er wurde zu Englands tonangebendem Schutzherrn der Mathematiker.

Der Earl und der tatkräftige Sekretär der Royal Society, John Canton, hatten ein informelles Netzwerk von Gelehrten geknüpft, die untereinander ihre Arbeiten zur kritischen Lektüre austauschten. Irgendwann stieß auch Bayes zu diesem Netzwerk. Eines Tages schickte Stanhope die Kopie eines Entwurfs von einem Mathematiker namens Patrick Murdoch an Bayes. Jener war mit einigen Punkten in dem Text nicht einverstanden und schickte seine Kommentare an Stanhope, der sie an Murdoch weitergab. Der antwortete wiederum über Stanhope, und so ging es hin und her. Die Beziehung des jungen Earl mit dem älteren Geistlichen Bayes schien sich zu einer Freundschaft entwickelt zu haben, denn Stanhope besuchte Bayes wenigstens einmal in Tunbridge Wells, rettete zwei Bündel mathematischer Aufzeichnungen von Bayes für seine Bibliothek und abonnierte sogar seine Reihe von Predigten.

1748 explodierte in England eine weitere brisante Mixtur aus Religion und Mathematik, als der schottische Philosoph David Hume seine *Enquiry Concerning Human Understanding* (*Untersuchung in Betreff des menschlichen Verstandes*) veröffentlichte, in der er einige der grundlegenden Schilderungen der christlichen Überlieferung angriff. Hume glaubte, man könne sich in nichts absolut sicher sein, ganz unabhängig davon, ob es auf traditionellen Glauben,

Zeugenaussagen, Gewohnheiten oder Ursache und Wirkung betrifft. Mit anderen Worten: Wir können uns allein auf unsere Erfahrung verlassen.

Da nun aber Gott als die „erste Ursache“ von allem galt, war Humes Skeptizismus bezüglich Ursache und Wirkung besonders verstörend. Hume argumentierte, dass zwar bestimmte Objekte ein für alle Mal mit bestimmten anderen zusammengehören. Wenn aber Regenschirme zum Regen gehören, bedeutet das nicht, dass sie den Regen verursachen. Die Tatsache, dass die Sonne schon Tausende Male aufgegangen ist, bietet keine Garantie dafür, dass sie es auch morgen tun wird. Vor allem aber beweist die Existenz der Schöpfung nicht die Existenz eines Schöpfers oder einer allerersten Ursache. Da wir nur selten sicher sein können, dass eine bestimmte Ursache eine ganz bestimmte Wirkung hat, müssen wir schon damit zufrieden sein, *wahrscheinliche* Ursachen und Wirkungen zu finden. Mit seiner Kritik des Konzepts von Ursache und Wirkung unterminierte Hume den Kern des christlichen Glaubens.

Humes Essay hatte nichts mit Mathematik zu tun, aber er hatte tief greifende wissenschaftliche Folgen. Viele Mathematiker und Naturwissenschaftler vertraten leidenschaftlich die Ansicht, dass die Naturgesetze wirklich die Existenz Gottes bewiesen, der ihre „erste Ursache“ war. Wie der berühmte Mathematiker Abraham de Moivre in seiner einflussreichen *Doctrine of Chances* schrieb,⁵ würde die Berechnung von Naturereignissen schließlich den dem Universum und seiner erlesenen „Weisheit und Ordnung“ zugrunde liegenden Plan enthüllen.

Die Zweifel Humes am Zusammenhang von Ursache und Wirkung lagen also in der Luft, als Bayes Wege suchte, das Problem mathematisch anzugehen. Heute wäre dafür die Wahrscheinlichkeitsrechnung als eine Mathematik der Unbestimmtheit das selbstverständliche Instrument, aber Anfang des 18. Jahrhunderts war der Begriff „Wahrscheinlichkeit“ noch kaum bekannt. Nur beim Glücksspiel machte man Gebrauch von ihm – für so grundlegende Dinge wie die Chance, beim Poker vier Asse auf die Hand zu bekommen. De Moivre, der einige Jahre in französischen Gefängnissen verbracht hatte, weil er Protestant war, hatte dieses Problem bereits gelöst, indem er seinen Blick von den Ursachen auf die Wirkungen lenkte. Niemand wusste aber damals, wie man umgekehrt von den Wirkungen zurück auf die Ursachen schließen und damit die „inverse“ Frage beantworten konnte: Was ist, wenn ein Pokerspieler in drei aufeinanderfolgenden Spielen vier Asse bekommt? Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Ursache dafür gezinkte Karten sind?

Wir wissen nicht genau, was Bayes' Interesse an diesem Problem der inversen Wahrscheinlichkeit auslöste. Er hatte de Moivres Buch gelesen, und der Earl of Stanhope war an den Anwendungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung für das Glücksspiel interessiert. Es könnte aber auch sein, dass es die vielen offenen Fragen waren, die sich aus Newtons Gravitationstheorie ergaben. New-

ton, der 20 Jahre zuvor gestorben war, hatte immer wieder betont, wie wichtig Beobachtungen waren und die Gravitationstheorie entwickelt, um die Beobachtungen zu erklären. Dann konnte er mit seiner Theorie die Resultate neuer Beobachtungen vorhersagen. Aber Newton konnte die *Ursache* der Schwerkraft nicht erklären und hatte sich auch nicht damit auseinandergesetzt, ob seine Theorie richtig war oder nicht. Letztlich könnte Bayes' Interesse auch durch Humes philosophischen Essay geweckt worden sein. Auf jeden Fall lagen die Probleme von Ursache, Wirkung und Ungewissheit in der Luft, und Thomas Bayes machte sich daran, sie quantitativ zu behandeln.

Bayes arbeitete zunächst die wesentliche Frage des Problems der inversen Wahrscheinlichkeit heraus und setzte sich als Ziel, die ungefähre Wahrscheinlichkeit für das zukünftige Auftreten eines Ereignisses herauszufinden, von dem er nur wusste, wie oft es sich in der Vergangenheit ereignet hatte oder auch nicht. Um dieses Problem zu quantifizieren, brauchte er eine Zahl, und irgendwann zwischen 1746 und 1749 stieß er auf eine geniale Lösung: Er erfand einfach einen Anfangswert, den er „guess“, also „Vermutung“ nannte. Dieser Anfangswert konnte und sollte dann später verbessert und aktualisiert werden, wenn mehr Informationen zur Verfügung standen.

Als Nächstes entwickelte Bayes ein Gedankenexperiment, die 18tes-Jahrhundert-Version einer Computersimulation. Er reduzierte sein Problem auf das Wesentliche und stellte sich einen quadratischen Tisch vor, der so glatt und eben war, dass eine Kugel, die man darauf warf, an jeder Stelle mit der gleichen Wahrscheinlichkeit landen würde. Man könnte seine Konstruktion „Billardtisch“ nennen, aber als nonkonformistischer Geistlicher missbilligte Bayes vermutlich solche Spiele. Außerdem kamen in seinem Experiment keine Kugeln vor, die miteinander oder mit den Banden zusammenstoßen. Er forderte nur, dass eine Kugel, die zufällig über den Tisch rollte, überall stehen bleiben konnte.

Wir stellen uns Bayes nun vor, wie er mit dem Rücken zu dem imaginären Tisch saß, sodass er nichts auf ihm sehen konnte. Auf einem Blatt Papier hatte er ein Quadrat gezeichnet, das die Tischplatte darstellte. Ein imaginärer Helfer warf dann eine imaginäre weiße Kugel auf den Tisch. Bayes wusste nicht, wo die Kugel landete.

Wir stellen uns weiter vor, wie er seinen imaginären Helfer bat, eine zweite, diesmal rote Kugel einzuwerfen und ihm zu sagen, ob sie rechts oder links von der weißen gelandet war. Lag die rote Kugel links von der weißen Markierungskugel, schloss Bayes, dass die erste Kugel mit größerer Wahrscheinlichkeit auf der rechten Seite des Tisches gelandet war. Dann warf der Helfer wieder eine rote Kugel. blieb sie rechts von der weißen Markierungskugel liegen, war Bayes klar, dass die weiße Kugel nicht am äußersten rechten Rand der Tischplatte liegen konnte.

Der Helfer warf nun Kugel um Kugel. Spieler und Mathematiker wussten schon damals, dass bei Münzwürfen ihre Schlussfolgerungen umso verlässlicher wurden, je öfter sie eine Münze warfen. Bayes entdeckte bei seinem Gedankenexperiment, dass mit jeder weiteren roten Kugel die Information, die er erhielt, die imaginäre weiße Markierungskugel ein wenig hin- und her-rückte, wobei ihr Spielraum immer kleiner wurde.

Im extremen Fall mit sämtlichen roten Kugeln rechts von der weißen, hätte Bayes geschlossen, dass die Markierungskugel wahrscheinlich am äußersten linken Rand der Tischplatte lag. Bayes' geniale Idee war, dass er mit der Zahl der Würfe den Spielraum der weißen Markierungskugel trotz dieser dürftigen Informationen nach Belieben einengen konnte, ohne allerdings je eine *exakte* Antwort zu erhalten. Bayes war also nicht in der Lage zu sagen, wo genau die Kugel lag, aber immer sicherer, dass sie in einem bestimmten Bereich war. Bayes' einfaches und reduziertes Verfahren ging also von realen Beobachtungen aus, und schloss daraus auf den Ursprung oder die Ursache zurück. Aus der Kenntnis der Gegenwart (die roten Kugeln relativ zur weißen Markierungskugel) schloss Bayes auf die Vergangenheit (die Position der weißen Markierungskugel). Außerdem konnte er angeben, wie zuverlässig seine Aussagen waren.

Vom Konzept her ist das Bayes'sche Verfahren sehr einfach: Wir revidieren unsere Ansichten aufgrund objektiver Informationen. Aus der anfänglichen Vermutung, wo die Markierungskugel liegen könnte, wird mit neuen objektiven Daten (ob die zuletzt geworfene rote Kugel links oder rechts der Markierungskugel liegt) eine neue und sicherere Vermutung. Für diese drei Schritte des Verfahrens wurden schließlich Begriffe geprägt: „Prior“ für die Wahrscheinlichkeit der ursprünglichen Vermutung, „Likelihood“ für die Wahrscheinlichkeit anderer Hypothesen mit neuen objektiven Daten und „Posterior“ für die Wahrscheinlichkeit der neuen, revidierten Vermutung. Jedes Mal, wenn man das System neu durchrechnet, wird aus dem alten Posterior der Prior der neuen Rechnung. Das System entwickelt sich ständig fort: Jede neue Information bringt uns der Gewissheit näher. Kurz gesagt:

„Prior“ mal „Likelihood“ ist proportional zum „Posterior“.

In der Fachsprache der Statistiker ist die Likelihood die Wahrscheinlichkeit konkurrierender Hypothesen für die beobachteten Daten. Andrew Dale, der südafrikanische Statistikhistoriker, vereinfachte das Ganze noch weiter und stellte fest: „Grob gesprochen ist die Likelihood das, was vom Bayes-Theorem bleibt, wenn der Prior aus der Diskussion geflogen ist.“⁶

Was den speziellen Fall von Kugeln betrifft, die per Zufall auf eine Tischplatte geworfen werden, gibt es keinen Zweifel am Bayes-Theorem. Bayes

wollte aber *alle* Situationen abdecken, bei denen Unbestimmtheit eine Rolle spielt, selbst Situationen, von denen wir überhaupt keine Vorgeschichte kennen, oder in seinen Worten, „von dessen Wahrscheinlichkeit vor irgendwelchen diesbezüglichen Versuchen oder Beobachtungen schlechterdings nichts bekannt ist“. ⁷ Diese Erweiterung seines Tischplatten-Experiments auf jede Art von Unbestimmtheit war Anlass für 150 Jahre voller Missverständnisse und harter Angriffe. Diese richteten sich insbesondere gegen zwei Dinge: Bayes' subjektive erste Annahmen und die von ihm vorgeschlagene Vereinfachung, alle Möglichkeiten für die erste Annahme als gleichwertig anzusehen.

Bayes stellte eine Vermutung für seine anfängliche Annahme (die Position der weißen Markierungskugel, sein späterer Prior) auf. Wie er selbst sagte, versuchte er „einen Schluss auf die ungefähre Größe seiner Wahrscheinlichkeit (zu) ziehen und ... nach den gewöhnlichen Methoden ... die Wahrscheinlichkeit, dass die Vermutung richtig ist, (zu) ermitteln“. ⁸ Die späteren Kritiker fanden die Idee zutiefst beunruhigend, dass die objektive und strenge Mathematik mit bloßen Vermutungen oder einem subjektiven Glauben kombiniert werden sollte.

Schlimmer noch: Bayes machte für den Fall, dass er nichts Genaueres über die Position der Kugeln wusste, die Annahme, dass sie überall auf dem Tisch mit gleicher Wahrscheinlichkeit zu liegen kommen konnten. Derartige gleiche Wahrscheinlichkeiten anzunehmen, war ein pragmatischer Ansatz für den Umgang mit ungewissen Umständen. Diese Praxis hatte ihre Wurzel im traditionellen Christentum und in der Verdammung des Zinswuchers durch die römisch-katholische Kirche. Auch bei unsicheren Dingen, wie es Versicherungspolicen für Seefahrer und Renten waren, mussten alle Kunden den gleichen Beitrag zahlen, und auch der Gewinn wurde gleichmäßig verteilt. Selbst prominente Mathematiker behaupteten, alle Ausgänge bei Spielen hätten die gleiche Wahrscheinlichkeit, weil sie von der bemerkenswert unrealistischen Annahme ausgingen, alle Tennisspieler oder Kampfhähne seien gleich geschickt.

Mit der Zeit fand man für diese Praxis, gleiche Wahrscheinlichkeiten anzunehmen, eine Reihe von Formulierungen wie „gleiche Prioren“, „gleiche Aprioris“, „gleiche Wahrscheinlichkeiten“, „gleichförmige Wahrscheinlichkeitsverteilung“ oder das „Gesetz vom unzureichenden Grund“, das besagt, dass die Annahme *gleicher* Wahrscheinlichkeiten genügt, wenn man nicht genug Daten hat, um *bestimmte* Wahrscheinlichkeiten anzugeben. Trotz dieser altherwürdigen Geschichte waren diese „gleichen Prioren“ der Blitzableiter, in den der Vorwurf einschlug, Bayes würde das Unwissen quantifizieren.

Heute versuchen einige Historiker Bayes zu entlasten, indem sie sagen, er habe gleiche Wahrscheinlichkeiten in erster Linie für seine Daten (also die aufeinanderfolgenden Würfe der roten Kugeln) angenommen und nicht für

den Apriori-Wurf der weißen Kugel. Das sind aber nur Spekulationen. Für viele Statistiker ist die Frage irrelevant, weil im eng begrenzten Fall unserer Kugeln, die auf einer sorgfältig austarierten glatten Tischplatte überall hinrollen können, die eine wie die andere Annahme zum gleichen mathematischen Ergebnis führt.

Was immer Bayes gemeint hat: Der Schaden war angerichtet. Für die folgenden Jahre war die Botschaft klar: Prioren sind zu verdammen! An dieser Stelle beendete Bayes seine Arbeit an dem Thema. Vielleicht hat er aber mit anderen über seine Entdeckung gesprochen. 1749 erwähnte jemand gegenüber dem Arzt David Hartley etwas, das verdächtig nach dem Bayes-Theorem klang. Hartley war Mitglied der Royal Society und glaubte an den Zusammenhang von Ursache und Wirkung. 1749 schrieb er: „Ein genialer Freund hat mir eine Lösung des inversen Problems mitgeteilt, ... die hoffentlich zeigt, wie die Proportionen und, Schritt für Schritt, die gesamte Natur aus unbekannten Ursachen bestimmt werden können, indem wir ausreichend viele Beobachtungen ihrer Wirkungen machen.“⁹ Wer war dieser „geniale“ Freund? Moderne Spürnasen haben Bayes oder Stanhope vermutet, und 1999 behauptete Stephen M. Stigler von der University of Chicago, Nicholas Saunderson, ein blinder Mathematiker aus Cambridge, habe die Entdeckung gemacht und nicht Bayes. Was auch immer geäußert wurde: Es ist höchst unwahrscheinlich, dass irgendjemand anderem als Bayes dieser Durchbruch gelungen war. Hartleys Terminologie ist mit der in Bayes' veröffentlichtem Essay fast identisch, und niemand, der zwischen 1764 und 1999 den Essay gelesen hat, hat je daran gezweifelt, dass Bayes der Autor war. Hätte es solche Zweifel gegeben, wäre es kaum vorstellbar, dass sein Freund Richard Price oder die Herausgeber des Essays sich nicht dazu geäußert hätten. Auch nach 30 Jahren bezeichnete Price die Arbeit als ein Produkt von Thomas Bayes.

Obwohl Bayes' Idee in den Kreisen der Royal Society diskutiert wurde, scheint er selbst nicht so recht an sie geglaubt zu haben. Statt sie bei der Royal Society zur Veröffentlichung einzureichen, begrub er seinen Entwurf unter anderen Manuskripten, wo er fast ein Jahrzehnt verborgen blieb. Wir können seinen Durchbruch aber ungefähr auf die späten 1740er-Jahre datieren, weil die Aufzeichnungen zwischen zwei Memoranden aus den Jahren 1746 und 1749 eingeordnet waren. Vielleicht machte er seine Entdeckung kurz nach 1748, dem Jahr der Veröffentlichung von Humes Essay.

Bayes fürchtete Kontroversen nicht, schließlich war er schon zweimal in einen britischen Streitschrift-Krieg verwickelt gewesen. Angst konnte also kaum der Grund dafür gewesen sein, dass er sein Theorem unter Verschluss gehalten hat. Vielleicht nahm er an, seine Entdeckung sei nutzlos? Wenn aber ein frommer Geistlicher wie Bayes der Ansicht war, seine Arbeit könne den Beweis für die Existenz Gottes liefern, hätte er sie gewiss veröffentlicht. Ei-

nige glaubten, Bayes sei zu bescheiden gewesen. Andere mutmaßten, er habe sich mit seiner Mathematik vielleicht unsicher gefühlt. Was auch immer der Grund gewesen sein mag: Bayes lieferte einen wichtigen Beitrag zu einem bedeutenden Problem – und behielt ihn für sich. Es war die erste von vielen Gelegenheiten, bei denen das Bayes-Theorem auftauchte, um sogleich wieder zu verschwinden.

Bayes' Entdeckung lag immer noch unter einer Staubschicht, als er 1761 starb und seine Familie seinen jungen Freund Richard Price bat, die hinterlassenen mathematischen Arbeiten des Verstorbenen durchzusehen.

Auch Price war ein presbyterianischer Geistlicher und Amateurmathematiker. Er erlangte später Ruhm als Anwalt für die Bürgerrechte und Anhänger der Revolutionen in Amerika und Frankreich. Zu seinen Bewunderern gehörte der amerikanische „Kontinentalkongress“, der ihm nahe legte, nach Amerika auszuwandern und die Finanzverwaltung zu übernehmen. Benjamin Franklin nominierte ihn für die Royal Society. Thomas Jefferson bat ihn, für die Jugend Virginias über das Elend der Sklaverei zu schreiben. John Adams und die Feministin Mary Wollstonecraft, die auch seiner Glaubensrichtung angehörte, rühmten ihn ebenso wie der Gefängnisreformer John Howard, der sein bester Freund war, und der Entdecker des Sauerstoffs Joseph Priestley, der sagte: „Ich frage mich, ob es einen Übertreffenderen gab als Dr. Price.“¹⁰ Als die Yale University 1781 zwei Ehrendokortitel vergab, erhielt George Washington den einen und Price den anderen. Ein englisches Magazin spekulierte, Price würde in einer Reihe mit Franklin, Washington, Lafayette und Paine in die amerikanische Geschichte eingehen. Heute ist Price aber vor allem dafür bekannt, dass er seinem Freund Bayes half.

Bei der Durchsicht der Papiere von Bayes fand Price „eine unvollständige Lösung von einem der schwierigsten Probleme der *Doctrine of Chances*“.¹¹ Es handelte sich um Bayes' Essay über die Wahrscheinlichkeit der Ursachen, in dem es darum ging, von den Phänomenen in der realen Welt zurück auf ihre wahrscheinlichsten Ursachen zu schließen.

Zunächst sah Price keinen Anlass, viel Zeit auf den Essay zu verschwenden. Das Manuskript war mit mathematischen Patzern und Ungenauigkeiten gespickt und schien nicht von praktischem Nutzen zu sein. Die ständigen Wiederholungen – immer wieder das Werfen der Kugel und dabei ständige Neuberechnungen – erzeugten große Zahlen, mit denen man nur schwer umgehen konnte.

Als Price aber feststellte, dass Bayes' Essay die Antwort auf Humes Angriff auf den Zusammenhang von Ursache und Wirkung war, begann er, eine Publikation daraus zu machen. Er steckte in den nächsten zwei Jahren immer wieder „einen Haufen Arbeit“ in den Essay, fügte fehlende Zitate und Quellenangaben hinzu und strich unwesentliche Hintergrunddetails in Bayes'

Herleitungen. Bedauerlicherweise strich er auch die Einleitung, die sein Freund geschrieben hatte, deshalb werden wir nie genau erfahren, inwieweit der veröffentlichte Essay Bayes' eigene Denkweise widerspiegelt.

In einem Begleitbrief an die Royal Society fügte Price einen religiösen Grund an, den Essay zu veröffentlichen. Wenn der Essay mathematisch von den Beobachtungen der Natur zur ersten aller Ursachen führte, wäre das Ziel des Theorems, zu zeigen, dass „die Welt das Ergebnis der Weisheit und Macht einer intelligenten Ursache sein muss und damit aus einer letzten Ursache ... die Existenz der Gottheit bestätigt“. ¹² Bayes selbst war da zurückhaltender. In seinem Teil des Essays ist von Gott keine Rede.

Ein Jahr später, 1763, veröffentlichte die Royal Society das Werk unter dem Titel *An Essay toward solving a Problem in the Doctrine of Chances* in ihren *Philosophical Transactions*. Der Titel vermied jede theologische Kontroverse, indem er die Anwendung der Methode für das Glücksspiel hervorhob. Als Price ein paar Jahre später Hume kritisierte, verwendete er zum ersten und einzigen Mal den Ansatz von Bayes. Soweit wir wissen, hat in den nächsten 17 Jahren niemand den Essay erwähnt, bis Price erneut das Bayes-Theorem ans Licht zerrte.

Nach heutigen Gepflogenheiten sollten wir vom Bayes-Price-Theorem sprechen. Price entdeckte Bayes' Arbeit, schätzte sie als wichtig ein, verbesserte sie, schrieb Zusätze und fand eine Anwendung. Dass man heute übereingekommen ist, nur dem Namen Bayes mit dem Theorem in Verbindung zu bringen, ist ungerecht, aber es hat sich so sehr eingebürgert, dass etwas anderes wenig Sinn macht.

Obwohl Bayes' Lösung des Problems der inversen Wahrscheinlichkeit der Ursachen über viele Jahre hinweg ignoriert wurde, war sie eine Meisterleistung. Nachdem für den Spieler vorher die Wahrscheinlichkeit ein Maß für die Häufigkeit war, wurde sie bei Bayes das Maß für einen Glauben, der auf Information beruhte: Ein Kartenspieler, der anfangs glaubt, dass sein Gegner mit einem ungezinkten Kartendeck spielt, kann seine Meinung jedes Mal revidieren, wenn neue Karten ausgeteilt werden. Am Ende kommt der Spieler zu einer besseren Einschätzung der Ehrlichkeit seines Gegners.

Bayes führte als Markenzeichen seiner Methode eine Apriori-Vermutung ein, die durch objektive neue Informationen modifiziert wird. Von den Beobachtungen der realen Welt ging er zu Abstraktionen ihrer wahrscheinlichen Ursachen über und entdeckte den lang gesuchten Gral der Wahrscheinlichkeitstheorie, den Mathematiker später die „Wahrscheinlichkeit der Ursachen“, das „Prinzip der inversen Wahrscheinlichkeit“, die „Bayes'sche Statistik“, das „Bayes-Theorem“, das „Bayes-Verfahren“ oder auch nur kurz „Bayes“ nannten.

Wenn man heute Bayes' Werk würdigt, sollte man auch anmerken, was Bayes *nicht* getan hat: Er war nicht der Erfinder der modernen Version des Theorems. Er benützte nicht einmal eine algebraische Gleichung, sondern Newtons altmodische geometrische Schreibweise für das Berechnen und Hinzufügen von Flächen. Er entwickelte sein Theorem auch nicht zu einer mächtigen mathematischen Methode weiter. Und nicht zuletzt erwähnte er, im Gegensatz zu Price, weder Hume noch die Religion oder Gott.

Stattdessen beschränkte er sich vorsichtig auf die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen. Er sagte nichts darüber, wie man Hypothesen aufstellt oder Vorhersagen macht, wie man Entscheidungen fällt und handeln soll. Er schlug auch keine Anwendungen seiner Arbeit vor, weder in der Theologie noch in den Natur- oder Geisteswissenschaften. Erst folgende Generationen erweiterten Bayes' Entdeckung auf all diese Gebiete und setzten sie für die Lösung einer Unzahl praktischer Probleme ein. Bayes gab seiner bahnbrechenden Entdeckung nicht einmal einen Namen. In den nächsten 200 Jahren sprach man von der „Wahrscheinlichkeit der Ursachen“ oder von der „inversen Wahrscheinlichkeit“. Erst in den 1950er-Jahren wurde die Entdeckung nach Bayes benannt.

Kurz: Bayes machte die ersten Schritte. Er komponierte das Vorspiel für das, was noch kommen sollte.

In den nächsten 200 Jahren lasen nur wenige den Artikel von Bayes und Price. Letzten Endes ist es die Geschichte zweier Freunde, die beide non-konformistische Geistliche und Amateurmathematiker waren, deren Arbeit aber fast folgenlos bleiben sollte. „Fast“, denn es gab einen Forscher, der in der Lage war, etwas damit anzufangen: der große französische Mathematiker Pierre-Simon Laplace.

2

Pierre-Simon Laplace: Der Mann, der alles machte

Gegenüber von Tunbridge Wells auf der anderen Seite des Kanals feierte der Bürgermeister eines kleinen Dorfes in der Normandie ungefähr zur selben Zeit, als sich Thomas Bayes das Kugelexperiment überlegte, die Geburt seines Sohnes Pierre-Simon Laplace, der zum Einstein seines Zeitalters werden sollte.

Laplace wurde am 23. März 1749 geboren und zwei Tage später getauft. Er stammte aus einer Familie, die seit Generationen gebildete und geachtete Würdenträger hervorgebracht hatte. Die Verwandten seiner Mutter Marie-Anne waren gut situierte Bauern. Die Mutter starb, als er noch klein war und er erwähnte sie später nie. Sein Vater betrieb den Post-Gasthof im malerischen Beaumont-en-Auge und war als Bürgermeister 30 Jahre lang der führende Mann der 472-Einwohner-Gemeinde. Als Pierre-Simon ein Teenager war, schien sein Vater Pierre der einzige nahe Verwandte gewesen zu sein. In den folgenden Jahren sollte allerdings Pierre-Simons Entschluss Mathematiker zu werden ihre Beziehung fast unrettbar zerstören.¹

Zum Glück für den Jungen gab es nie Zweifel, dass er zur Schule gehen und eine Ausbildung erhalten sollte. Es wurde damals im 18. Jahrhundert in Frankreich selbstverständlich, zur Schule zu gehen. Angetrieben wurde dies durch eine gewaltige Revolution, die von der katholischen Kirche in ihrem Kampf gegen die protestantische Irrlehre ausging, sowie von Eltern, die überzeugt waren, dass eine gute Ausbildung ihre Kinder geistig, intellektuell und finanziell bereichern würde. Die Frage war nur: Welche Art von Schulausbildung?

Jahrzehnte der Glaubenskriege zwischen Protestanten und Katholiken und einige grauenhafte Hungersnöte, die durch kaltes Wetter verursacht wurden, hatten Frankreich zu einem ausgesprochen weltlich orientierten Land gemacht, das gewillt war, seine Ressourcen zu entwickeln. Pierre-Simon hätte in einer der vielen neuen säkularen Schulen des Landes moderne Naturwissenschaft und Geometrie studieren können. Stattdessen schrieb ihn sein Vater in einer lokalen Grund- und Aufbauschule ein, in der Benediktinermönche Geistliche für die Kirche sowie Soldaten, Anwälte und Beamte für die Krone

heranzogen. Dank der Schirmherrschaft des Herzogs von Orléans war für Schüler wie Pierre-Simon, die vor Ort wohnten, der Unterricht umsonst. Die Lehrpläne waren konservativ und basierten auf Latein. Im Unterricht wurde viel abgeschrieben und auswendig gelernt, aber auch Philosophie betrieben. In der Schule entwickelte Laplace ein bemerkenswertes Gedächtnis und eine schier unglaubliche Ausdauer.

Auch wenn es den Mönchen wohl nicht bewusst war, standen sie doch mit der französischen Aufklärung in Konkurrenz um die Aufmerksamkeit der Kinder. Die Zeitgenossen sprachen von einem Jahrhundert der Erleuchtung und dem Zeitalter der Wissenschaft und der Vernunft, dessen wichtigstes intellektuelles Phänomen die allgemeine Verbreitung der Naturwissenschaft war. Angesichts des beinahe schwindelerregenden Wissensdursts dieser Zeiten ist es nicht überraschend, dass Pierre-Simon kurz nach seinem zehnten Geburtstag von einer spektakulären wissenschaftlichen Prognose zutiefst beeindruckt war.²

Jahrzehnte zuvor hatte der englische Astronom Edmond Halley vorausgesagt, dass der langschwweifige Komet, der heute seinen Namen trägt, wieder auftauchen würde. Ein Trio französischer Astronomen – Alexis-Claude Clairaut, Jérôme Lalande und Nicole-Reine Lepaute, die Frau eines berühmten Uhrmachers – lösten das schwierige Dreikörperproblem und entdeckten, dass die Anziehung durch Jupiter und Saturn die Ankunft des Halley'schen Kometen verzögern würde. Die französischen Astronomen sagten mit Mitte April 1759 (plus/minus einen Monat) die richtige Zeit voraus, in der man den Kometen bei der Rückkehr von seinem Weg um die Sonne in Europa sehen würde. Das derart exakt berechnete Wiedererscheinen des Kometen elektrisierte die Europäer. Jahre später sagte Laplace, dass es dieses Ereignis war, das seine Generation dazu brachte, außerordentliche Phänomene wie Kometen, Sonnenfinsternisse und schwere Dürren nicht dem göttlichen Zorn zuzuschreiben, sondern Naturgesetzen, die Mathematiker finden konnten.

Als Laplace 17 Jahre alt wurde, hatten sich seine außerordentlichen mathematischen Fähigkeiten vermutlich noch nicht so deutlich gezeigt. Er schrieb sich jedenfalls 1766 nicht an der Pariser Universität mit ihrer bedeutenden naturwissenschaftlichen Fakultät ein, sondern an der Universität von Caen, die näher an seinem Heimatort lag. Sie bot eine solide theologische Ausbildung, die für einen künftigen Geistlichen angemessen war.

Aber auch in Caen gab es mathematische Heißsporne, die Vorlesungen über Differenzial- und Integralrechnung für Fortgeschrittene anboten. Während sich die Engländer mit Newtons mühsamer geometrischer Version der Infinitesimalrechnung herumschlagen mussten, benützten ihre Rivalen auf dem Kontinent Gottfried Leibniz' weit geschmeidigere algebraische Variante. Mit ihr bildeten sie Gleichungen und hoben wunderbare Schätze aus verlo-