

DIE BLAUE STUNDE DER INFORMATIK

Walter Hehl

Der Zufall in Physik, Informatik und Philosophie

Zufall als Fundament der Welt

 Springer Vieweg

Die blaue Stunde der Informatik

Die blaue Stunde – die Zeit am Morgen zwischen Nacht und Tag, die Zeit am Abend ehe die Nacht anbricht. Wenn alles möglich scheint, die Gedanken schweifen, wenn Zeit für anregende Gespräche ist und Neugier auf Zukünftiges wächst, auf alles, was der nächste Tag bringt.

Genau hier setzt diese Buchreihe rund um Themen der Informatik an: Was war, was ist, was wird sein, was könnte sein?

Von lesenswerten Biographien über historische Betrachtungen bis hin zu aktuellen Themen umfasst diese Buchreihe alle Perspektiven der Informatik – und geht noch darüber hinaus. Mal sachlich, mal nachdenklich und mal mit einem Augenzwinkern lädt die Reihe zum Weiter- und Querdenken ein. Für alle, die die bunte Welt der Technik entdecken möchten.

Weitere Bände in dieser Reihe <http://www.springer.com/series/15985>

Walter Hehl

Der Zufall in Physik, Informatik und Philosophie

Zufall als Fundament der Welt

Walter Hehl
Thalwil, Schweiz

ISSN 2730-7425

ISSN 2730-7433 (electronic)

Die blaue Stunde der Informatik

ISBN 978-3-658-32062-1

ISBN 978-3-658-32063-8 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-32063-8>

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

Springer Vieweg

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

„Dies alles bestärkte mich in der Ansicht, dass man auch mich dereinst würde rekonstruieren können aus dem Material, das ich hinterlassen würde. So schwer kann dies wirklich nicht sein.“

**Clemens J. Selz, österreichischer Autor,
Vorwort von „Bot“, 2018.**

Wenn rekonstruieren bedeutet, ein „menschlich klingendes künstliches Interview“ aus dem hinterlassenen Material zu ziehen, dann ist das nicht sehr schwer. Das direkte Hochladen einer menschlichen Persönlichkeit in einen Computer wäre es eher und ist nach heutigem Verständnis sogar unmöglich. Aber das digitale Material einer Person – alle Emails, Dokumente, Veröffentlichungen, Blogbeiträge, Bilder – in einer digitalen Identität zu vereinen und dann zur Rekonstruktion zu verwenden, ist leicht möglich. Clemens Setz hat dies mit einer „echten“, Fragen stellenden Journalistin, seinen digitalen Tagebüchern als Basis und mit wohl selbstgestrickter künstlicher Intelligenz vorgeführt. Die künstlichen Interviews – als wäre er selber schon in unzugänglicher Vergangenheit – wurden als Roman „Bot“ ein massvoller Verkaufserfolg. „Bot“ machte jedoch in der professionellen Literaturszene durchaus Furore.

Eine Vorahnung, wie einfach sich Menschen durch einen Computer täuschen lassen, erfuhr der deutsch-amerikanische Informatiker Joseph Weizenbaum (1923–2008) mit seinem Programm *Eliza* im Jahr 1966. Gedacht war sein Programm wohl eher als eine Persiflage auf Computer und die menschliche Beziehung zu ihnen, aber der simple Bot¹ *Eliza* wurde – zum Schrecken des Erfinders – als eine Art von klugem und ernsthaftem Psychotherapeuten betrachtet. Wider Erwarten war *Eliza* ein grosser Erfolg und ging in die Geschichte der Informationstechnologien ein. Umgekehrt mag man daraus Schlüsse auf die Tiefe (oder Untiefe) menschlicher Unterhaltungen ziehen.

Ich hatte das Vergnügen, Clemens Setz im September 2015 live in einem Interview auf der Bühne zu erleben. Für mich wurde klar: Wenn du über deine Wissensgebiete Bücher schreibst, die publiziert werden, dann lieferst du auch das Basismaterial ab für (irgendwann

¹Ein Bot (von englisch *robot* ‚Roboter‘) ist ein Computerprogramm, das weitgehend automatisch Aufgaben abarbeitet ohne jede menschliche Interaktion.

später) einen künstlichen *Walter Hehl*. Ich hatte zu diesem Zeitpunkt schon drei Bücher publiziert:

- Was ich über die aktuellen Trends in der Informationstechnologie dachte (2008),
- was ich von den Schwierigkeiten verstand, die Firmen haben, wenn sie Innovation betreiben wollen (2009, zusammen mit dem Manager Rainer Willmanns).

Diese beiden Bücher sind im Wesentlichen aus der beruflichen Tätigkeit bei IBM entstanden und ich verdanke sie eigentlich dem grossartigen Unternehmen und fundamentalen Pionier der Informationstechnologie, zumindest im 20. Jahrhundert.

Weiter im Jahr 2012 versuchte ich zu begreifen, wieso wir Menschen solche Probleme haben, die Wahrheit zu finden und zu verstehen, und wie dieser Vorgang abläuft:

- „Die unheimliche Beschleunigung des Wissens“ ist eine Geschichte der Kopernikanisierungen der Menschheit: astronomisch, physisch und intellektuell wird uns die Besonderheit genommen. Wir werden immer weniger einzigartig (noch sind wir es, soweit wir wissen, im All).
- Als Missionar für die Bedeutung von Software habe ich dann 2016 „Wechselwirkung“ geschrieben, ein Buch, das Physik, Philosophie und Software verbindet, was ich als Modernisierung der Weltsicht des österreichisch-britischen Philosophen Karl Popper verstehe.
- Nach einem Abstecher zur Berichtigung des Bilds Galileis (2017) in der Öffentlichkeit
- kamen noch die Fundamente der Religion dazu aus Sicht von Physik, Informationstechnologie und Psychologie (2019).

Aus emotional-menschlicher Sicht habe ich persönliche Erinnerungen zusammengetragen, die mir wichtig sind:

- In „Meine fünf Frauen“ in 2020 schildere ich die wichtigsten Frauen in meinem Leben. Es entstand eine kleine sudetendeutsche Familiengeschichte.

Hinter all diesen Büchern steht – ich muss es gestehen – etwas Evangelistisches, etwas eventuell unangenehm Belehrendes. Der Wunsch etwas aufzuzeigen, was nicht allen bekannt ist, es aber sein sollte, ist vielleicht auch eine Triebkraft, um ein oder zwei Jahre an einem Buch zu schreiben. Aber die Bücher sind eigentlich trotz allem Mainstream des Wissens und keine Exoten, nur manchmal enthalten sie (noch) wenig beachtete Wahrheiten. So etwa bei Galilei: Die Historiker wissen, dass er mit den Gezeiten versuchte, das heliozentrische Weltbild zu beweisen, dass sein Beweis jedoch nur Unsinn war. Die Laien halten ihn trotzdem für den, der das Heliozentrische System „bewiesen“ hat.

Aber durch einen persönlichen Glücksfall sehe ich noch eine „missionarische“ Lücke im populären Wissen. Der Glücksfall begann mit einem festlichen Abendessen mit dem französisch-US-amerikanischen Mathematiker Benoît Mandelbrot im Jahr 1986. Er war

an diesem Abend mein Tischnachbar. Mandelbrot war zu dieser Zeit mein Kollege in der Firma IBM. Er war seit 1958 Mitarbeiter in der IBM Forschung und einer der berühmtesten Mathematiker des 20. Jahrhunderts, wenn auch nicht von der üblichen abstrakten Art. Er trieb pragmatische, vielseitig anwendbare Mathematik. Mandelbrot war Schöpfer des Begriffs „fraktal“ und Entdecker des „Apfelmännchens“, des nach ihm benannten mathematischen Objekts. Dieses Figürchen kennen alle mathematisch Interessierten! Es ist vielleicht die überhaupt komplexeste Struktur, die wir kennen. Wir werden seiner Mathematik im Kapitel „Zufall in der Natur“ begegnen (ohne mathematische Formeln).

Als Entwickler im IBM Labor Böblingen und als Leiter des Testlabors der Prozessorenentwicklung berechnete ich als Hobby Bilder der Mandelbrot-Menge. Ich hatte dafür einen hochauflösenden Drucker zur Verfügung (einen IBM 4250-Drucker, den wir entwickelt hatten) und einen Park von Rechnern (die ebenfalls im Labor Böblingen entstanden), zwar mit geringer Rechenleistung im Vergleich zu heutigen Rechnern, aber mit erweiterter arithmetischer Genauigkeit, und ich liess wochenlang rechnen. Die Genauigkeit konnte man brauchen: Es ist eine Eigenschaft der Mandelbrot-Menge, dass die Komplexität der Strukturen nie aufhört, man kann weiter vergrössern und tiefer in das Zahlenuniversum eintauchen, und immer wieder erscheinen neue Strukturen, oft ähnlich zu Gesehenem, aber nicht identisch. Einige der Bilder (typisch mit 6000×10.000 Pixel²) kamen auf eine Kunstausstellung, zwei Bilder erschienen in einem Buch über die Schönheit der Fraktale von H.-O. Peitgen (Peitgen 1986) und ich bekam den Abend mit dem Festgast Benoît Mandelbrot.

Ich lernte seine Weltsicht kennen. In seiner Ausdrucksweise ist die Natur rau (und auch die Finanzwelt). Damit meint er, dass glatte, regelmässige, normal-geometrische Strukturen wie in der Schule in der Geometrie gelernt, die Ausnahme sind. Dazu kommt sein Gedanke der Selbstähnlichkeit, dem ich als Physiker nur bedingt folgen kann. Die Selbstähnlichkeit bedeutet, dass sich Strukturen in anderen Grössenordnungen identisch oder ähnlich wiederholen. Physikalisch werden sich Strukturen in anderen Dimensionen nur mit systematisch geänderten Parametern wiederholen (nach den Scaling Laws) wie schon Galilei gezeigt hat. In der Mathematik geht dies eventuell unbegrenzt immer weiter, kleiner oder grösser. Allerdings ist die Mandelbrot-Menge nur ungefähr selbstähnlich, aber gerade dadurch aufregend.

In der Tat ist die „Rauheit“ in seinem Sinn „Individualität eines Objekts bei genauem Hinsehen“ überall: In Flüssigkeiten etwa bei Turbulenz, in der Botanik die verschiedenen Blätter an einem Baum, bei Menschen die Struktur der Iris, in der Astronomie die exakte Verteilung der Sterne, z. B. die Form der Sternbilder. In der Natur kommt es meistens nicht auf das einzelne Detail an, etwa das Kräuseln auf einer Wasserwelle, sondern auf die Gesetze, die für alle gelten. Dem hat sich auch die Wissenschaft gewidmet. Meistens spielt ein Punkt oder ein Event keine grosse Rolle, aber manchmal doch. Berühmt ist der Schmetterlings-Effekt des Meteorologen Edward Lorenz in seiner Arbeit mit dem genialen Titel:

„Kann der Flügelschlag eines Schmetterlings in Brasilien einen Tornado in Texas auslösen?“

Übrigens wird der Effekt oft falsch verstanden: Der Skifahrer, der zufällig eine Lawine auslöst (der „Schneeballeffekt“), ist kein Beispiel für den Schmetterlingseffekt im allgemeinen Sinn; es ist der eindeutige katastrophale und einseitige Grenzfall. Die Gefahr war vorher immanent und die Ursache wie die Wirkung waren klar. Für die Lawine gab es auch keine Alternative, die Richtung der Lawine ist klar vorgegeben. Wir werden mit dem Dom von Norton eine extrem unentschiedene Situation diskutieren.

In der Evolution könnte ein einzelner Fall, eine Koinzidenz oder Mutation, etwas bewirkt haben. Dies gilt erst recht im menschlichen Leben; dann spielt der Zufall sogar eine entscheidende Rolle. Wenn wir genau hinsehen, erscheint der Zufall überall: Sogar die Präzision des himmlischen Uhrwerks geht bei genauem (und längerem) Zusehen verloren. Der Zufall erscheint unbestritten und absolut in der Quantenphysik, aber er ist auch mit blossen Auge sichtbar. Ja wir bauen sogar Maschinen, um Zufall zu erzeugen, etwa das Rouletterad, oder Maschinen, die den Zufall intern verwenden, z. B. Verschlüsselungsmaschinen.

In den Fundamenten der Welt vermischen sich Ordnung und Unordnung, Regel und Zufall, Physik und Informatik. Der Zufall hängt mit der Kausalität zusammen, mit der Richtung der Zeit, mit der atomaren Struktur, mit der Kreativität und mit der Religion. Dies zu zeigen ist das Ziel des Buchs. Der Zufall bringt in unsere sonst so klare und sichere wissenschaftliche Welt eine grosse, prinzipielle Unsicherheit.

Das folgende Zitat von Napoléon Bonaparte ist vielleicht überhaupt nicht übertrieben:

„Le hasard est le seul roi légitime dans l'univers“

„Der Zufall ist der legitime Herrscher des Universums“

Napoléon Bonaparte, französischer Feldherr, 1769–1821.

Es ist die Absicht des Buchs zu zeigen, dass der Zufall in die Fundamente der Welt eingebaut ist und damit eine dritte Säule des Aufbaus unserer Welt ist, neben oder zusätzlich zu den Hauptsäulen Physik und Informatik. Dazu zeichnen wir einen Abriss der Geschichte der Wissenschaft auf, auch als eine Geschichte des Zufalls sowie von falscher und echter Sicherheit und ebensolcher Unsicherheit. Wir versuchen zu zeigen, wie viel Vorahnung moderner Konzepte es schon in der antiken Wissenschaft gegeben hat.

Eine Bemerkung zu den Zitaten: Ich glaube, zu einem Wissensgebiet gehören auch die Meinungen und die Geistesblitze anderer. Es macht hoffentlich Vergnügen, sie zu lesen und mitzudenken, vielleicht sogar sie zu widerlegen.

Ein Argument für Zitate habe ich vom Direktor der IBM Forschungsorganisation, Paul Horn, etwa im Jahr 2005, gelernt:

„Egal, wie viele gute Leute du hast, draussen hat es noch mehr.“

Paul Horn, US-amerikanischer Informatiker, geb. 1944.

Es war als Argument gedacht, mit anderen Forschungsorganisationen zusammen zu arbeiten. Die IBM Forschung war damals (und ist es vielleicht auch heute) die beste industrielle Forschungsorganisation im Computerbereich.

Ich glaube, Entsprechendes gilt für Zitate und die kulturelle Welt. Egal wie viele gute Gedanken man hat, draussen hat es noch mehr.

Dank

Den ersten Kontakt mit dem Thema des Zufalls in der Wissenschaftsgeschichte verdanke ich einem Seminar zur Wissenschaft „von Aristoteles und Demokrit bis Newton“ bei Prof. August Nitschke in Stuttgart.

In kurzen, aber intensiven Begegnungen habe ich Impulse bekommen von meinen beiden IBM Kollegen:

Die allgegenwärtige Bedeutung des Zufalls habe ich von und mit Benoît Mandelbrot gelernt. Das Konzept der algorithmischen Komplexität (und des echten Zufalls) erfuhr ich im Gespräch mit Gregory Chaitin. Mandelbrot und Chaitin gehören zu den grössten Mathematikern des 20. Jahrhunderts.

Der Philosoph Klaus Mainzer hat mir mit seinen Arbeiten Rückhalt gegeben, den Zufall in seiner fundamentalen Bedeutung zu sehen. Mainzer ist Tychist, obwohl er das Wort „Tychismus“ nicht benützt. Was Tychismus bedeutet, wird im Buch erläutert. Der Ursprung ist die griechische Göttin Tyche, die Göttin des Schicksals. Auch für Mainzer gilt: Zufall ist selbst das Prinzip. Und: Ohne Zufall entsteht nichts Neues.

Meiner Frau Edith danke ich für ihre Geduld und das gründliche Lektorat. Jegliche sprachlichen Fehler im Text sind durch meine ungeprüft eingebrachten Korrekturen entstanden und ganz in meiner Verantwortung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Eine kleine Geschichte der Wissenschaft und des Zufalls	1
1.1	Die Antike Wissenschaft im Heutigen Licht	4
1.1.1	Die Wissenschaft des Aristoteles	5
1.1.2	Die antiken Atomisten	8
1.1.3	Die antike Wissenschaft am Beispiel Astronomie	11
1.2	Die Wissenschaftliche Aufklärung	13
1.2.1	Die Aufklärung in den Naturwissenschaften	13
1.2.2	Der Beginn der Informationstechnologie	16
1.2.3	Das Ende der Aufklärung	19
1.3	Die Moderne Wissenschaft und Technologie	22
1.3.1	Moderne Physik und Zufall	22
1.3.2	Informationstechnologie und Geist	27
	Literatur	34
2	Der Zufall an sich	35
2.1	Das richtige Wort	35
2.2	Zufall und Notwendigkeit – eine Einführung	37
2.2.1	Definition des Zufalls	38
2.2.2	Kausalketten	39
2.2.3	Verstehen mit Zufall – Astronomisches	43
2.2.4	Chaotisches	45
2.2.5	Vom atomaren Zufall zur grossen Wirkung	47
2.2.6	Vom einzelnen Zufallsereignis zum statistischen Gesetz	50
2.2.7	Entropie und Zeit	56
	Literatur	61
3	Der natürliche Zufall überall	63
3.1	Richtig Hinsehen nach Mandelbrot	63
3.2	Genauer Hinsehen im Alltag	77

3.2.1	Der ganz normale Zufall um uns	77
3.2.2	Wasserwellen und Zufall	82
3.2.3	Welche Information ist um uns? Zufall oder Plan?	86
	Literatur.	94
4	Den Zufall in der Welt verstehen	95
4.1	Big Bang und der Erste und der Zweite Zufall	96
4.1.1	Die Entstehung der Welt aus dem Vakuum	96
4.1.2	Anthropisches Prinzip und Goldilock-Rätsel, Notwendigkeit oder Agglomerat von Zufällen?	98
4.2	Wasser und Zufall	100
4.2.1	Wassereigenschaften als Zufall und Notwendigkeit	100
4.2.2	Wasser und Wirbel	101
4.2.3	Die Turbulenz.	102
4.2.4	Zwischen Zufall und Ordnung	106
	Literatur.	113
5	Drei Welten in der Welt, mit Zufall	115
5.1	Kleine Geschichte der Philosophie	115
5.2	Die Drei-Welten-Welt des Karl Popper Aktualisiert mit Zufall und Software	118
5.2.1	Mechanische Maschinen können nicht denken, Computer schon ..	118
5.2.2	Der Aufbau des Weltmodells	122
5.2.3	Der Zufall ist notwendig	126
	Literatur.	131
6	Evolution – die Kreativität der Natur	133
6.1	Die Evolution ist keine Theorie	133
6.1.1	Teilhard de Chardin	133
6.1.2	Der Junge-Erde-Kreationismus	134
6.2	Evolution als Softwaretechnologie und Prozess mit Zufall	138
6.2.1	Das Prinzip.	138
6.2.2	Der rohe Zufall.	140
6.2.3	Der gerichtete Zufall und die „Propensität“	143
6.3	Die biologische Evolution als kreativer Zufall	147
6.3.1	Charles Darwin	147
6.3.2	Der Begriff Evolution	148
6.3.3	Mechanismen der Wirkungsweise der Evolution.	150
6.4	Anthropisches und Kopernikanisches Prinzip	156
6.5	Evolution – alles Zufall oder auch Notwendigkeit?	158
6.5.1	Das Auge als Beispiel	158
6.5.2	Die grosse Frage: kleiner Zufall oder ganz grosser Zufall?	160
6.5.3	Retrograd gerichteter Zufall.	161
6.5.4	Schwierige Anfänge und Megatrajektorien	162
6.6	Abiogenese und chemische Evolution	165

6.7	Die Evolution als zufallsgetriebenes Softwaresystem	167
6.7.1	Die Evolution als Grosssystem	168
6.7.2	Die Evolution als agile Softwareentwicklung	171
6.8	Religiöses, die Evolution und der Zufall	173
	Literatur.	180
7	Die Kreativität des Menschen und der Zufall	181
7.1	Arten Menschlicher Kreativität	181
7.1.1	Als es noch keine Kreativität gab	181
7.1.2	Formen der Kreativität	184
7.2	Kreativität und Computer.	194
7.2.1	Computer sind mit dem Zufall kreativ.	194
7.2.2	Computer denken beinahe menschlich, auch ohne zu verstehen. . .	198
7.3	Der Mensch im Computermodell mit Zufall	203
7.3.1	Menschliche Kreativität und Computermodell	203
7.3.2	Das Problem mit dem künstlichen Zufall	212
7.3.3	Computer und Mensch entscheiden.	220
7.3.4	„Freier Wille“ und Zufall.	228
	Literatur.	241
8	Zufall als Fundament der Welt	243
8.1	Rauschen als Zufallskontinuum und Motor.	244
8.2	Der Zufall als System: Der Tychismus	247
8.2.1	Der historische Tychismus.	247
8.2.2	Der Neo-Tychismus – der absolute Zufall in der modernen Welt . .	253
	Literatur.	258
9	Zufall im menschlichen Leben.	259
10	Schlussfolgerungen	267
	Glossar	271
	Literatur.	275
	Stichwortverzeichnis.	277



Einleitung: Eine kleine Geschichte der Wissenschaft und des Zufalls

1

„Der Beginn aller Wissenschaften ist das Erstaunen, dass die Dinge sind, wie sie sind.“

Aristoteles, griechischer Naturphilosoph, 384 v. Chr.- 322 v. Chr.

„Ignoramus et ignorabimus – Wir wissen es nicht und wir werden es niemals wissen.“

Emil du Bois-Reymond, deutscher Physiologe, Rede in 1872.

„Wir müssen wissen, wir werden wissen.“

Schlussatz einer Radioansprache und Inschrift auf dem Grab des Mathematikers David Hilbert, deutscher Mathematiker, Rede in 1930.

„Die Antworten, die Sie erhalten, hängen von den Fragen ab, die Sie stellen.“

Thomas Kuhn, amerikanischer Wissenschaftsphilosoph, 1922–1996.

Der Titel dieses Abschnitts ist dem wunderbaren Buch zur gesamten Menschheitsgeschichte des israelischen Philosophen und Historikers Yuval Noah Harari nachempfunden. Die Geschichte der Wissenschaft ist der harte Teil der Geschichte der Welt. „Hart“ im Sinne, dass der Gesamtprozess des Kennenlernens ein Zufallsprozess ist mit einigen Sprüngen im Verlauf, aber das Ziel recht eindeutig („hart“) vorgegeben ist: Die Kongruenz von Natur und Mathematik. Auch sorgt das Werkzeug der allgemein wiederholbaren Experimente für Korrektheit (jedenfalls meistens). Die Natur erzwingt durch ihre Beschaffenheit Gesetze, die Mathematik bildet sie scharf ab. Die populäre Ansicht „*Alles ist relativ, man könnte auch andere Wissenschaft haben*“ ist für das System der Naturwissenschaft unsinnig. Eigentlich ist damit schon ein wichtiger Teil des Buchs beschrieben!

Die Geschichte der Entwicklung der Wissenschaft ist eng mit der Entwicklung der Technologie verknüpft. Dies ist ganz natürlich, denn Wissen schafft Macht und Technik in Form von Waffen, Produktionsmitteln und Produkten. Dies „Wissen ist Macht“ ist selbst wohl der berühmteste Ausspruch in der Geschichte der Wissenschaft:

**„Scientia potentia est“ „Knowledge is power“ „Wissen ist Macht“.
Sir Francis Bacon, englischer Philosoph, 1561–1621.**

Es gibt um die Entstehung des Zitats bei Bacon etwas Verwirrung: Das erste Auftreten hat nämlich die Form „*scientia potestas est*“ und bezieht sich auf Gott: Dessen Wissen ist seine Macht. Aber wir verstehen dies in seinem späteren Sinn, Bacon 1620:

„Menschliches Wissen und menschliche Macht gehen Hand in Hand, denn wenn die Ursache nicht bekannt ist, kann man die Wirkung nicht erzeugen“.

Die klassische Richtung der Formulierung – von Wissen zu Macht – hat in der experimentellen Wissenschaft schon immer auch umgekehrt gegolten: Aus der Fähigkeit, die besten experimentellen Vorrichtungen zu bauen, folgt die beste Wissenschaft. Ein Beispiel sind Teleskope, von Galileis Zweizöllern um das Jahr 1600 bis zu den heutigen 8m- oder 10m-Teleskopen oder dem Hubble-Teleskop im All.

Aber der umgekehrte Satz hat auch eine fundamentale wissenschaftliche Bedeutung: Aus dem Machen und machen Können folgt das Verstehen. Der barocke Philosoph Giambattista Vico (1668–1744) hat diese konstruktive Methode des Erlangens von Wissen in die Philosophie eingeführt mit seinem Grundsatz:

„Verum et factum convertuntur – das Wahre und das Gemachte sind austauschbar.“

Also: „Als wahr erkennbar ist nur das, was wir selbst gemacht haben.“ Dieses Mantra des Philosophen Vico hat in der zweiten Säule unseres Wissens, der Informatik, fundamentale Bedeutung. Ein funktionierendes Programm kann beweisen, dass z. B. ein Material sich so verhält, wie es das Finite-Element-Programm¹ und dessen physikalischen Annahmen vorhersagen. Der geniale Informatiker Alan Turing hat 1950 die Methode des Grundsatzes „*Was wir machen können, verstehen wir*“ in die Wissenschaft vom Computer eingeführt. Es führt zum nach ihm benannten Turing-Test, dem Vergleich von menschlicher Fähigkeit mit der Fähigkeit eines Computers: Kann man einen quasi-menschlichen Dialog mit einem Programm führen? Sogar auf Chinesisch?

Es gibt einen ganzen Turm von ähnlichen Aufgaben wachsender Schwierigkeit, die alle mehr oder weniger gelöst wurden:

Kann ein Computer Schrift lesen? Genauer: Kann er spezielle, vereinfachte Druckschrift lesen? Kann er allgemeine Druckschrift lesen? Kann er ihm gut bekannte Handschrift lesen? Kann er eine unbekannt Handschrift lesen? Kann er reden, zum Beispiel etwas vorlesen? Kann er eine gesprochene Unterhaltung aufschreiben? Eine chinesische Unterhaltung? Eine schweizerdeutsche Unterhaltung? Kann er Chinesisch auf Englisch übersetzen? Russisch auf Deutsch? Kann er simple Fragen aus einem kleinen Wissensbereich beantworten? Kann er allgemeine Fragen beantworten? Kann er Auto fahren auf der

¹Allgemeines digitales Verfahren zur Berechnung der Eigenschaften von Festkörpern.

Autobahn mit wenig Verkehr? In dichtem Verkehr? Kann er eine natürliche allgemeine Unterhaltung führen? Kann er eine Krankheit diagnostizieren? Usf. usf.

Beinahe immer wurde die Lösbarkeit dieser Aufgabe von vielen Laien (aber auch Fachleuten) zuerst angezweifelt, nach der Lösung dann aber als Bagatelle abgetan bis zur nächsten Aufgabe. Der Autor hat dies mehrfach selbst erlebt, etwa „*ein Computer wird nie Auto fahren können*“ – allerdings vor 30 Jahren. Die obige Aufzählung ist eine kleine Geschichte des Computers, aber die Entwicklung und die Liste gehen natürlich weiter. All die Projekte hinter diesen Fragen lieferten und liefern Erkenntnisse über den Aufbau menschlicher Sprache, über Handschrift, über die Funktion des Autolenkens, die Arbeitsweise unseres Gehirns. Der Bau eines zugehörigen erfolgreichen Programms ist der Beweis für das Verstehen eines Phänomens.

Dazu kommen eine weitere Eigenschaft und ein fundamentaler Unterschied. Die klassische analytische Wissenschaftsmethode mit Beobachtung und Experiment (definiert als massgeschneiderte und eingeschränkte Beobachtung) hat uns in die Tiefen der Natur geführt – die schwergewichtigen Grenzen unseres Horizonts sind Big Bang, dunkle Materie, neue Elementarteilchen. Die Wissenslandschaft bis zu diesem Horizont ist im Prinzip gut erforscht. Die verwendete Grundeigenschaft der Methode ist die Untersuchung der Kausalität. Wissen ist das Verstehen der Ursachen, es ist ein Bottom-Up-Ansatz in der Sprache der Software.

Dies sind die wissenschaftlichen Seiten des Verstehens, durch Ursachen oder durch Bau. Psychologisch (oder polemisch) lassen sich zwei Typen oder auch Ebenen des Verstehens definieren:

- Der Laie (und der klassische Philosoph):
Ein Vorgang ist dann verstanden, wenn er im Rahmen der Begriffe des normalen Lebens gefasst werden kann. Daran ändert sich nichts, wenn dafür vornehmere Ausdrücke verwendet werden; es bleibt die normale Welt. Die Zeit verläuft gleichmässig und der Raum ist nicht gekrümmt, sondern euklidisch.

Aber die alltäglichen Begriffe und Vorstellungen reichen nicht weit und müssen immer wieder korrigiert werden (Hehl 2016).

- Der Physiker sagt, er (oder sie) habe es (physikalisch) verstanden, wenn der Vorgang in *korrigierten* Begriffen des normalen Lebens verstanden wird. Die Korrektur kann z. B. sein, dass die Zeit sich dehnt, der Raum sich krümmt oder dass der Energiesatz gilt. Sie ist das Ergebnis der Forschung. Man gewöhnt sich schlicht daran, diese korrigierten Vorstellungen zu akzeptieren und so zu denken.

Diese Definition ist ganz im Geiste des Bonmots des ungarisch-amerikanischen Mathematikers John von Neumann (1903–1957), der zu seinem Physikerfreund Felix Smith sagte:

„Junger Mann, in der Mathematik versteht man nicht, man gewöhnt sich daran.“

Es gibt natürlich sowohl die Möglichkeit, dass Menschen in der Umgangssprache etwas Unmögliches ausdrücken wollen, wie dies in mancher Religion geschieht (etwa mit dem Begriff des „Schöpfers“), wie umgekehrt etwas Einfaches in Physikersprache. So werden in der Esoterik und in Grenzgebieten der Religion gerne Begriffe aus der Quantenphysik verwendet; dies wird durch die inhärente Mystik der Quantenphysik nahegelegt. So sagt z. B. der serbisch-britische Physiker Vlatko Vedral (geb. 1971)

„[Das Vakuum der] Quantenphysik lässt sich in der Tat gut mit der buddhistischen Leere in Übereinstimmung bringen.“

Die andere wissenschaftlich-technische Methode, etwas zu verstehen, ist der Nachbau dieser Systemeigenschaft. Mit diesem konstruktiven Weg geht man umgekehrt von der Funktion als Ganzem aus. Die Richtung der Erkenntnis ist im Sinne einer Software von oben nach unten (unten ist die Hardware), ein Top-down-Ansatz. An die Stelle der Kausalität tritt die Teleologie, der Sinn des Ganzen.² Mit dem Nachbau von Funktionen, etwa der Sprache, gewinnt man das Verständnis, wie diese Funktion ausgeführt wird, welche Fehler auftreten können, welche anderen Lösungen möglich sind und welche Verbesserungen. Manchmal gelingt das Verstehen so gut, dass beispielsweise ein Spiel gar kein Spiel mehr ist, sondern nur noch ein Algorithmus. Es ist abzusehen, dass es auch digitale Psychologie geben wird und künstliche Seelen zum Verstehen unserer Gefühle und seelischen Defekte.

Beunruhigenderweise scheint der Bau von Systemen keine sichtbaren menschlichen oder natürlichen Grenzen zu haben. Aber es gibt kein Naturgesetz, das hier harte Grenzen setzt.

Doch gehen wir zu den Anfängen. Wir wollen wesentliche Phasen in der Geschichte der Wissenschaft, der Informationstechnologie und des Zufalls gemeinsam betrachten. Wir teilen dazu die Geschichte der Wissenschaft und der Informationstechnologie in drei grosse Abschnitte ein: in die Antike, in die Aufklärung und in die Moderne.

1.1 Die Antike Wissenschaft im Heutigen Licht

„Möge das Studium der griechischen und römischen Literatur immerfort die Basis der höheren Bildung bleiben.“

**Johann Wolfgang von Goethe, deutscher Dichter,
posthum 1833 veröffentlicht.**

In Wissenschaft und Philosophie sind es die Griechen und das Studium ihrer antiken Wissenschaft, die uns den Beginn von allem lehren.

Als Vertreter der antiken Wissenschaft betrachten wir zwei Philosophen und einen Astronomen und einige ihrer Lehren:

²Teleologie vom altgriech. τέλος *télos* in der Bedeutung von ‚Sinn, Zweck‘.

- Aristoteles als wichtigste Gestalt der antiken Wissenschaft bis in die Scholastik und das Mittelalter hinein und in der Aufklärung geschmäht,
- Epikur (bzw. Demokrit),
- Ptolemäus und seine praktisch-wissenschaftliche Leistung.

Einen weiteren Philosophen, Platon, werden wir unten als Ursprung der „romantischen“ Ideenrichtung erwähnen.

Die Abb. 1.1 zeigt das Fresko „Die Schule von Athen“ des Malers Raffael da Urbino (1483–1520) im Vatikan. Abgebildet ist der Maler selbst (mit R gekennzeichnet ganz rechts) zusammen mit 21 der wichtigsten Vertreter der antiken griechischen Philosophie und Wissenschaft. Auch die erwähnten vier Personen Aristoteles, Epikur, Ptolemäus und Platon sind dabei.

1.1.1 Die Wissenschaft des Aristoteles

„Ändert sich der Zustand der Seele, so ändert dies zugleich auch das Aussehen des Körpers und umgekehrt: Ändert sich das Aussehen des Körpers, so ändert dies zugleich auch den Zustand der Seele.“

Aristoteles, griechischer Naturphilosoph, 384 v. Chr.- 322 v. Chr.

Aus heutiger Sicht ist das Weltbild des Aristoteles, oberflächlich betrachtet, bizarr. Für mehrere Jahrhunderte bis zum Ende der Renaissance war es jedoch ein konsistentes, akzeptiertes System. In seiner Physik ist die Bewegungslehre zentral, die er weitgehendst aus der direkten Beobachtung herleitet. Hier einige Aussagen zusammen mit „freundlichen“ Interpretationen der aristotelischen Gesetze aus heutiger Sicht:



Abb. 1.1 Peripatos – die Schule von Athen von Raffael (1510–1511). Fresko im Vatikan. Das Fresko verherrlicht das antike Griechenland als Wiege der Kultur. Aristoteles trägt die Nummer 15, Epikur ist Nr. 2, Ptolemäus Nr. 20 und Platon ist Nr. 14. (Bild: Wikimedia Commons, Bibi Saint-Pol)

- Es gibt zwei Bereiche des Himmels mit verschiedenen Gesetzen, jenseits des Mondes und unter dem Mond.
Vgl. hierzu die Atmosphäre einerseits und den interplanetaren Raum andererseits mit Vakuum. In der Atmosphäre verbleibt ein Satellit nach einiger Zeit, im Vakuum des Alls bleibt er nahezu unbegrenzt auf seiner Bahn. Aristoteles hält allerdings Vakuum für unmöglich.
- In der himmlischen Sphäre laufen die Planeten ewig auf Kreisen.
Vgl. im Weltall bewegen sich die Himmelskörper auf Kegelschnitten, der Kreis ist ein Spezialfall.
- Auf der Erde gibt es natürliche und erzwungene Bewegungen:
 „Natürlich“ versucht ein Körper zu seinem natürlichen Ort zu kommen, das „Feuer“ nach oben, „Schweres“ nach unten.
Vgl. das Erdzentrum als Gravitationszentrum.
 „Erzwungene“ Bewegung kommt durch eine Kraft auf den Körper zu Stande. Ohne Kraft bleibt der Körper stehen.
Vgl. Letzteres entspricht einer Bewegung mit Reibung auf einer rauhen Fläche.
- Bei einem geworfenen Stein oder einem Geschoss muss er eine kuriose Hilfskonstruktion einführen, damit das Geschoss durch die Luft fliegt: Die Luft um den Stein trägt ihn weiter.
Diese Schwierigkeit ist auffallend und wird im frühen Mittelalter mit der Impetustheorie gelöst werden.
- Ein Körper fällt umso schneller, je schwerer er ist.
Vgl. das ist korrekt für sehr leichte Körper und sog. schleichende Bewegung, etwa wenn eine Kugel in Öl fällt oder beim Fallschirmsprung.
- Die Bewegung der Planeten ist ewig – aber es braucht einen Anfang. Aristoteles führt eine Art von abstraktem Gott ein, der unsichtbar ist und sonst nichts tut: den „unbewegten Beweger“.
Vgl. zum Konzept dieses Bewegers das Aussetzen eines Satelliten im All, der von nun an frei und (nahezu) ewig auf seiner Bahn läuft, wenn er nur genügend hoch über die Atmosphäre gebracht wurde.
 Das Bild der Abb. 1.2 illustriert mit dem Aussetzen von Satelliten genau den Übergang und damit die beiden Weltzonen des Aristoteles.

Aristoteles hat versucht seine Beobachtungen und sein alltägliches Wissen in ein konsistentes System einzubauen. Die Gesetze der Natur sind bei ihm absolut gültig (es gibt also keine Wunder!). Von seiner Mechanik ist ein Teil der Ideen in die Moderne übertragbar: z. B. der Himmelsteil zum Einen und die Mechanik eines Körpers, wenn Reibung oder Viskosität dominieren. Ansonsten hat ihm seine Auffassung der Mechanik den Spott der Aufklärung eingebracht.

Dazu kommt die Seele. Sie ist für Aristoteles die allgemeine Lebenskraft, verbunden mit dem Körper, und damit sterblich.

Vgl. mit der heutigen Auffassung (zumindest des Autors), dass Leben eine Art laufender Computer ist, also von „Software“, die auf einer materiellen Grundlage läuft.



Abb. 1.2 Die beiden Subwelten des Aristoteles in einem (Bild: Weltraum und Atmosphäre. Das Bild illustriert mit dem Aussetzen von Satelliten genau den Übergang zwischen den Welten. Bild: European Global Navigation Satellite System Agency (EGNSSA)/Pierre Carril)

Seine Vorstellung von der ganzheitlichen Verbindung von Körper und Seele ist modern. Sie ist moderner als die spätere Aufteilung von Descartes in hier Körper, dort Geist. Dieser Dualismus hat natürlich gut zur Hoffnung auf ein vom Körper getrenntes fiktives Leben gepasst. Mit dem ewig existierenden Universum, der sterblichen Seele und der Unmöglichkeit von Wundern ist es verwunderlich, dass es Thomas von Aquin im 13. Jahrhundert gelang, den so rationalen Aristoteles in die Lehren der katholischen Kirche zu integrieren – und das für mehrere Jahrhunderte. Aber die kirchlichen, antiaristotelischen Vorstellungen von einem Schöpfer, von einem Leben nach dem Tode und von Wundern haben sich trotzdem tief in unser kollektives Verstehen der Welt eingegraben.

Aristoteles diskutiert auch ausführlich die Rolle des Zufalls. So schreibt er (Zekl 1986):

**„Das eine (das Zufallsereignis) hat seine Ursache ausserhalb seiner,
das andere (das Naturereignis) in sich selbst.“
Aristoteles in „Physik, Vorlesung über Natur“.**

Das Naturereignis ist dabei vollständig durch die Naturgesetze bestimmt, der Zufall durch „Nebensächlichkeiten“ oder durch „Fügung“. Der Begriff „Fügung“ bedeutet eine

Untermenge des Zufalls, die es nur für Menschen gibt, nicht für Tiere. Aber die Fügung kann positiv sein (ein Glück) oder negativ (ein Pech). Dabei wird die Fügung nicht von einem höheren Wesen zusammengefügt, sondern „es“ fügt, die Fügung ist wie jeder Zufall in den Ursachen unbestimmbar.

Der Zufall ist für Aristoteles dabei keine Erklärung; erklären können nur Regeln. Er kann erst recht nicht die Welt als Ganzes erklären: Wie soll aus unregelmäßigem Zufall die geregelte Welt entstehen? Die geordnete Bewegung der Planeten ist für ihn der Beweis, dass es Ordnung und Perfektion gibt, jedenfalls jenseits der Mondbahn.

Bedenkt man den Ausgangspunkt von Aristoteles im minimalen und verschwommenen Wissen des vierten Jahrhunderts v. Chr. einerseits und die Fülle konsistenter Gedanken bei ihm andererseits, so muss man sagen: Chapeau. Deshalb ist der Spott ungerecht wegen des Irrtums bei den Frauenzähnen, popularisiert durch den britischen Philosophen Bertrand Russell. Hier sein berühmtes, etwas hinterlistiges Zitat:

„Aristoteles beharrte darauf, dass Frauen weniger Zähne hätten als Männer. Obwohl er zweimal verheiratet war, kam er nie auf die Idee, es nachzuzählen.“

Aristoteles verliess sich auf das Wissen seiner Zeit. Er wusste, dass Hengste mehr Zähne haben, er wusste, dass in der realen Welt bei Menschen die Anzahl der Zähne schwankten, bei Frauen noch mehr als bei Männern. Er hat die Erfahrung nicht missachtet, er war falscher oder ungenauer Information aufgeschissen. Erfahrung (als Vorform des Experiments) stand sogar im Zentrum seiner Naturphilosophie. Dazu ein Wort von Charles Darwin, dem britischen Naturforscher, von 1879:

„Aristoteles war einer der grössten Beobachter, die je gelebt haben.“

1.1.2 Die antiken Atomisten

„In Wirklichkeit gibt es nur die Atome und die Leere.“
Demokrit, griechischer Philosoph, 459 v. Chr.- 370 v. Chr.

Die Ursprünge der atomistischen griechischen Philosophien sind die ein bis zwei Generationen vor Demokrit aufgetretenen philosophischen Probleme der Teilbarkeit von Raum, Zeit und Materie.

- Teilbarkeit von Raum und Zeit:

Am bekanntesten ist wohl die Schildkröte des Zenon von Elea oder das Paradoxon von Achilles und der Schildkröte: Achill kann den Vorsprung der Schildkröte nicht wettmachen: In der Zeit, die er braucht, um die Schildkröte jeweils einzuholen, ist die Schildkröte ihrerseits weiter gekommen, usf. Das Problem wird erst 2000 Jahre später sauber gelöst werden mit der Infinitesimalrechnung. Wenn es physikalische Grenzen

für Raum und Zeit gibt, sind diese jedenfalls viele Größenordnungen kleiner als die heutige Messbarkeit (Plancksche Länge und Plancksche Zeit).

- Teilbarkeit von Materie:

Die Atomisten, etwa die Philosophen Leukipp, Demokrit und Epikur, halten die Materie nicht für beliebig teilbar, denn beim Teilen stösst man auf unteilbare Teilchen, die Atome, die sich im luftleeren Raum bewegen.

Es ist eine unglaubliche Vorahnung der Wirklichkeit: Es gibt Atome! Die Vorahnung wird im 19. Jahrhundert in der Chemie fassbar, und zwar in der Form von festen Relationen zwischen den Stoffen bei chemischen Reaktionen (der Stöchiometrie). Die Atome werden mit der Arbeit von Albert Einstein über die Brownsche Bewegung und den Stossversuchen von Ernest Rutherford wissenschaftliche Realität.

Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts spottete der (ausgezeichnete) österreichische Physiker Ernst Mach

„Ham se welche gesehen?“ nach dem Autor und Physiker Henning Genz

als Antwort auf die Frage nach der Existenz der Atome. Die antike Atomphilosophie spekuliert weiter:

- Die „antiken“ Atome haben die Formen verschiedener regelmässiger geometrischer Körper wie Kugeln, Tetraeder und Würfel in verschiedenen Grössen.
Vgl. Atome sind verschieden gross, allerdings ist ihre Grösse nicht scharf definiert. Wasserstoff ist am kleinsten, Francium am grössten. Als Einzelgänger sind Atome kugelsymmetrisch, in einer Verbindung haben sie verschiedene Symmetrien.
- Die antiken Atome haben Haken und Ösen, mit denen sie sich zu Körpern verbinden.
Vgl. die Atome können sich mit anderen Atomen verbinden, zu Molekülen oder Körpern. Die Zahl der Verknüpfungen (Bindungen) ist typisch für das jeweilige Atom.
- Die antiken Atome bewegen sich im leeren Raum.
Vgl. in Gasen bewegen sich die Atome im Raum und bestehen sogar selbst weitgehend aus leerem Raum.
- Die antiken Atome bewegen sich chaotisch.
Vgl. die Bewegung der Moleküle in einem Gas bzw. die Brownsche Bewegung von Teilchen wie in Abb. 1.3.

Der römische Dichter Lukrez schildert die Idee der chaotischen Bewegung drei Jahrhunderte später sehr bildhaft: „*Atome tanzen wie Staubteilchen in einem Lichtstrahl*“. Es ist der Zufall im modernen Sinn. So bewegen sich Atome und Teilchen in der Tat, wie wir seit dem 19. Jahrhundert wissen. Es ist im Wesentlichen die Aussage der kinetischen Gastheorie der klassischen Physik.

Aber im antiken Atomismus gibt es noch ein anderes zukunftsweisendes Zufallskonzept. Das Clinamen. Clinamen ist eine spontane kleine Bewegungsänderung im Flug eines

Abb. 1.3 Typisches Bild einer Brownschen Bewegung, vergleichbar der Bewegung der demokritischen Atome. Aufnahme der Bewegung von Teilchen von weisser Tusche in Wasser unter dem Mikroskop. (Bild: Fakultät Physik, LMU München)



Atoms. Es muss für die früheren Philosophen und Nicht-Physiker eine Kuriosität gewesen sein. Lukrez wurde dafür verspottet. Heute scheint dies ein genialer Trick zu sein, um gezielt „lebendigen“ Zufall einzuführen und um langweilige Einfachheit zu zerstören. Der deutsche Physiker Joachim Schlichting bemerkt, es sei das erste Mal in der abendländischen Geschichte, dass dem Zufall eine konstruktive Rolle zugeschrieben werde (Schlichting 1993).

Unter dem Einfluss der Schwerkraft würden die Atome alle parallel senkrecht fallen ohne sich zu berühren. Deshalb gibt es spontane Schwankungen. Lukrez schreibt in *De rerum natura* – Über die Natur der Dinge im ersten Jahrhundert vor Christus:

„... wenn die Körper durchs Leere nach unten geradewegs stürzen mit ihrem eigenen Gewicht, so springen zu schwankender Zeit und an schwankendem Ort von der Bahn sie ab um ein Kleines, so, dass du von geänderter Richtung zu sprechen vermöchtest.“

Ein ähnlicher Effekt ist in der modernen Physik wohlbekannt bei einem Gedankenexperiment, das auf den Physiker und Nobelpreisträger Max Planck und einen der Begründer der Quantentheorie zurückgeht: Es ist um 1906 ein Kohlestäubchen, das eine zu ideale Ordnung durcheinander bringt. Wir erläutern den Gedanken in Kap. 5.

Anders ausgedrückt: Das Clinamen und dieses Plancksche Kohlestäubchen erhöhen die Entropie sprunghaft auf den realistischen Gleichgewichtswert.

Es gibt zwar keine Erklärung für das Clinamen, aber wenn man wohlwollend ist, findet man den Grund für das Zittern in der Quantentheorie. Sie wird dies Phänomen erklären mit dem „Alles rauscht“ oder „Alles fluktuiert“. Mit dem Zufall und der ungeordneten Bewegung der Atome, die sich laufend neu verbinden können, ist es nicht weit zur Kreativität. Damit gibt es in der Antike Gedanken, die an Darwin erinnern (allerdings nicht bei Aristoteles, wie Darwin annahm).

Die antike Atomtheorie ist ein Ansatz, der an die chemische Phase der Evolution erinnert. Moleküle treffen sich zufällig um grössere Gruppen zu bilden: Die Komplexität wird aufgebaut.

Die atomistische Lehre hat noch eine weitere faszinierende Vorahnung der modernen Weltvorstellung: die Existenz von zwei Säulen der Welt, der (unbelebten) Physik und der (irgendwie belebten) Informatik. Zum Weltmodell selbst unten mehr oder bei Hehl (2016). Die zwei Arten von Welt zeigen sich in der Lehre von den zwei Arten von Atomen, den robusten Atomen der physikalischen Welt und den feinen der Seele. Die Seele besteht aus einem Konstrukt von besonders feinen und leichten „Seelenatomen“, ähnlich den Feueratomen. Die Gedanken sind die Bewegungen dieser Seelenatome. Stirbt ein Mensch, so verflüchtigen sich die Seelenatome und schliessen sich eventuell einer neuen, entstehenden Seele an.

Zugegeben ist es gewagt, aber ist dies nicht die Vorahnung der beiden Säulen „Physik“ und „Informationstechnologie (IT)“, von etwas Physikalischem, Primären und etwas Geistigem, Sekundären? „Geistig“ hier im Sinne von informationsgetriebenen Prozessen oder kurz von „Software“ (auf Hardware)?

Eine Schlussbemerkung zum Atomismus. Die philosophische Idee, man könne Materie beliebig und unbegrenzt teilen, sieht mehr den Stoff, die Substanz eines Körpers als Ganzes. Als wissenschaftliche Idee ist beliebige Teilbarkeit unsinnig geworden. Die Materie wird bei genügend scharfem Hinsehen immateriell und löst sich in quantisierte Felder auf. Eine pseudowissenschaftliche Lehre, die noch heute verbreitet ist, nimmt beliebige Teilbarkeit an: die Homöopathie von Samuel Hahnemann (1755–1843). Der „gute“ Geist einer Substanz bleibt bei beliebiger Verdünnung wirksam, der „böse“ Geist wird wegverdünnt. Die bevorzugte Verdünnung ist 1 zu 10^{-60} . Nach atomistischem Wissen (nicht Theorie!) ist die Verdünnung so gross, dass recht sicher kein Atom oder Molekül mehr in einem Globulus Medizin vorhanden ist! Aber für den Gründer der Lehre im 18. Jahrhundert war die Atomlehre nur abartige und vergessene Philosophie.

1.1.3 Die antike Wissenschaft am Beispiel Astronomie

„Wir betrachten es als ein gutes Prinzip, wenn wir die Phänomene mit der einfachsten Hypothese erklären.“ Claudius Ptolemäus, griechischer Astronom und Mathematiker, 100–160 n.Chr.

„Alles sollte so einfach wie möglich erklärt [gemacht] werden, aber nicht einfacher.“ Albert Einstein zugeschrieben, 1933.

Bei der Planetenbewegung geht es primär nicht um Unsicherheit und Zufall, sondern im Gegenteil um himmlische Ordnung, allerdings eine recht komplexe Ordnung. Die wissenschaftliche Aufgabe in der Antike ist die Berechnung der Örter der Lichtpunkte der Planeten an der Himmelsphäre. Es geht vor allem um das Phänomen, nicht um die Ursache! Natürlich steht die Erde still im Mittelpunkt. Die erste wesentliche Komplexität, die die antiken Astronomen lösen mussten, war die offensichtliche jährliche Schleifenbewegung der äusseren Planeten am Himmel. Dazu musste man die noch unbekannte Physik simu-

lieren, nämlich die Ellipsenbewegung der Planeten, d. h. die Abweichung vom Kreis mit der Existenz von jeweils zwei Brennpunkten anstelle eines Mittelpunkts und ungleichförmiger Bahngeschwindigkeit.

Ptolemäus hatte vom Vorgänger Hipparch ein geniales Konzept übernommen, das Schleifen erzeugen konnte: Epizyklen, d. h. er hat Kreise auf Kreise aufgesetzt. Ptolemäus versetzte einige Kreise fort aus dem Mittelpunkt und erhielt mit etwa 40 Kreisen für das Sonnensystem (Sonne und die fünf Planeten) ein Modell, das 1500 Jahre lang zur Vorhersage der Planetenbewegungen dienen sollte.

Die Abb. 1.4 zeigt die beobachteten Positionen von Venus (und Merkur) von der Erde aus gesehen über fünf Jahre. Zunächst zeigen die Schleifen der Bahnen, dass Epizyklen im

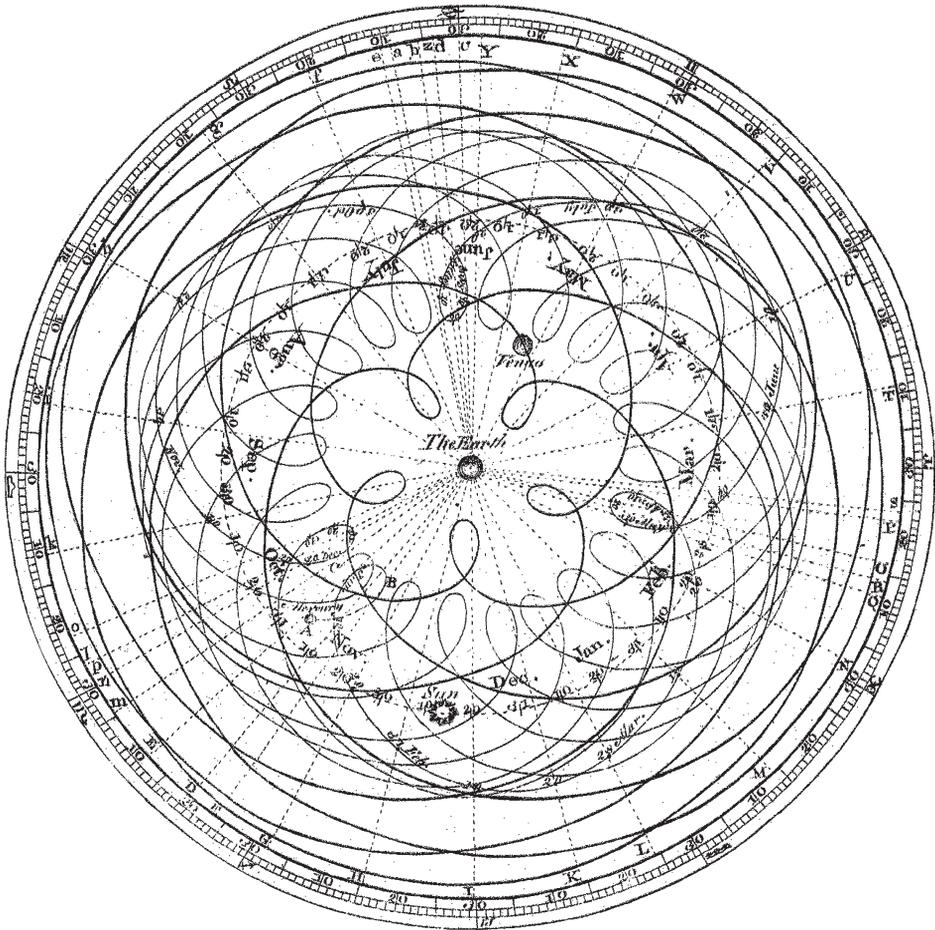


Abb. 1.4 Die Planetenbahnen von Venus und Merkur von der Erde aus gesehen. (Bild aus der ersten Ausgabe der Encyclopedia Britannica 1771 von James Ferguson nach Giovanni Cassini. Bemerkung: Dies ist kein Diagramm von Epizyklen. Bild: Cassini apparent Wikimedia Commons, anonym)

Prinzip zum Planetenproblem passen. Dazu demonstriert die Grafik ein Resonanzphänomen zwischen Erdumlauf und Venusumlauf: fünf Erdenjahre entsprechen recht genau acht Venusjahren. Ansonsten ist der Lauf der Planeten ein Vielkörperproblem, in dem jeder jeden stört und das recht chaotisch aussieht, wenn man lange genug hinsieht. Diese Resonanz unterbindet den sonst herrschenden Zufall und hält damit beide Umlaufperioden zusammen fest bis Störungen irgendwann doch zu stark werden.

Das Verfahren von Ptolemäus wird über anderthalb Jahrtausende verwendet, aber es hat im 16. Jahrhundert einen schlechten Ruf. Es haben sich Fehler eingeschlichen und seine Künstlichkeit wird immer sichtbarer. Kopernikus dreht die Grundposition des Modells um und setzt die Sonne ungefähr in das Zentrum – aber er verwendet das gleiche Verfahren der Epizyklen, zuerst 34 Kreise, später 40.

Er hat keinen Beweis dafür, dass jetzt in seiner Konstruktion die Erde sich doppelt bewegt, um die eigene Achse in etwa 24 Stunden, um die Sonne in etwa 365 Tagen. Er erwartet als indirekten Beweis bessere Resultate. Seine Ergebnisse sind deprimierend; sie sind schlechter als bei Ptolemäus.

Heute ist klar, weshalb. Kopernikus hat ein wirkungsvolles Konstrukt des Ptolemäus absichtlich weggelassen, das er für zu künstlich hielt (den sog. Äquanten).

Ptolemäus und Kopernikus lösen beide das „Platonische Axiom“, die Aufgabe, die Platon, gestellt hat, sie *„retten die Phänomene.“* Dieser Ausdruck bedeutet in der antiken Astronomie, die komplizierten und geheimnisvollen Bahnen der Planeten auf eine Mathematik nur mit Kreisen und gleichförmigen Kreisbewegungen zurückzuführen und damit zu berechnen. Es sind numerische Methoden, die die Kirche als unverfänglich ansieht – bis Galilei es wirklich meint mit der Sonne im Zentrum der Welt.

Johannes Kepler wird die antike Voraussetzung der Kreise zerstören und näher an der physikalischen Wirklichkeit sein. Mathematisch ist die „Zerstörung“ eigentlich sanft, Kreise sind ja eine Untermenge der Ellipsen. Die astronomischen Modelle vorher sind nur geometrische Näherungen und Reihenentwicklungen in Kreisen an die Realität, an Ellipsen. Damit ist insbesondere Kopernikus der letzte antike Astronom.

1.2 Die Wissenschaftliche Aufklärung

1.2.1 Die Aufklärung in den Naturwissenschaften

„Natur und Naturgesetz waren in Nacht gehüllt.

Gott sprach: ‚Es werde Newton!‘ Und das All ward lichterfüllt.“

Alexander Pope, englischer Dichter, 1688–1744.

Als Grabinschrift für Newton gedacht.

Einer der Vorläufer der Aufklärung (und noch mit einem Bein in der Scholastik) war der Physiker Galileo Galilei (1564–1642). Für Galilei gab es zwei fundamentale „Bücher“ der Welt: die Bibel und die Natur. Aufklärerisch war seine Einschätzung dazu: Die Texte der

Bibel könne und müsse man im Geist der Zeit interpretieren, in der sie geschrieben wurden, aber die Natur sei eindeutig. Das Recht der Interpretation der Bibel nahm sich die Kirche, damit war Galileis Konflikt vorprogrammiert. Sein wissenschaftliches Hauptargument im Streit darum, ob die Sonne fest stehe oder sich bewege, war übrigens ein vollkommen falscher „Beweis“ für die Gezeiten, der heute nur noch eine historische Randnotiz ist. Wissenschaftlich gesehen hätte er sich nicht auf den Prozess einlassen dürfen (und die Kirche ihn natürlich nicht anklagen).

Galilei war nicht der erste, der experimentierte und mass. Aber sein Experiment, Kugeln beliebig langsam und damit leicht messbar eine schiefe Ebene herunterrollen zu lassen anstatt von einem Turm zu werfen, war in der Tat genial und das Ergebnis eindeutig. Dazu betonte er, wie schon der griechische Philosoph Platon, dass die Natur in der Sprache der Mathematik geschrieben sei. Allerdings war für ihn die Mathematik einfache Geometrie und Dreisatz. Er hat keine einzige Gleichung geschrieben. Insgesamt ist er als Künstler und Experimentator ein Mensch der Spätrenaissance, ähnlich Leonardo da Vinci, und kein Aufklärer. Mehr dazu bei Hehl (2018).

Der deutsche Astronom Johannes Kepler (1571–1630) steht mit seiner Entdeckung der Planetengesetze und seinen mathematischen Arbeiten nahe am Beginn der Aufklärung, aber noch nicht als Person. Die Beobachtungen des Astronomen Tycho Brahe sind so genau, dass Kepler mit der antiken Methode mit Kreisen auf Kreisen in handhabbarer Anzahl die wahre Marsbahn nicht erhalten kann. Eine solche Situation bedeutet nach dem US-amerikanischen Physiker und Philosophen Thomas Kuhn (1922–1996) einen Paradigmenwechsel, von dem Kuhn sagt:

„Obwohl die Welt sich beim Paradigmawechsel nicht ändert, arbeiten die Wissenschaftler danach in einer anderen Welt.“

Es lässt sich sogar ein sinnvoller Tag für den Paradigmenwechsel angeben: der 15. Mai 1618. Es ist gemäss Kepler der Tag der Entdeckung des dritten nach ihm benannten Gesetzes. Die Abb. 1.5 zeigt das Gesetz grafisch: Die Kuben der Bahnachsen dividiert durch die Quadrate der Umlaufzeiten ergeben eine einzige Zahl. Das musste wie Magie erscheinen. Die Entdeckung hat mit Platon und Ptolemäus und der Antike nichts mehr zu tun. Man sollte den 15. Mai als Weltwissenschaftstag feiern!

Es ist (mir) schleierhaft, wie Kepler seine umfangreichen Berechnungen der Marsbahn ohne Computer, nur mit Logarithmen und in widrigen Lebensumständen hatte durchführen können! Als Person war Kepler kein Aufklärer, eher ein Mystiker. Er glaubte an die Weltharmonie, die es zu entdecken gelte. Vielleicht glaubte er sogar noch an Astrologie, zumindest an richtige Horoskope, so wie er sie selbst erstellte. Aus heutiger Sicht ist allerdings gerade seine ganzheitliche Sichtweise sympathisch und attraktiv.

Kepler fand seine Gesetze bereits auf der Grundlage von astronomischen Beobachtungen mit blossem Auge, wenn auch dank dem ausserordentlichen Beobachter Tycho Brahe. Aber ganz handfeste Paradigmenwechsel ergeben erst zwei einfache Erfindungen aus den Niederlanden: das Teleskop und das Mikroskop. Mit diesen Instrumenten übersteigt der Mensch die Grenze seiner Sinne und sieht bis dahin Ungesehenes und Ungeahntes.

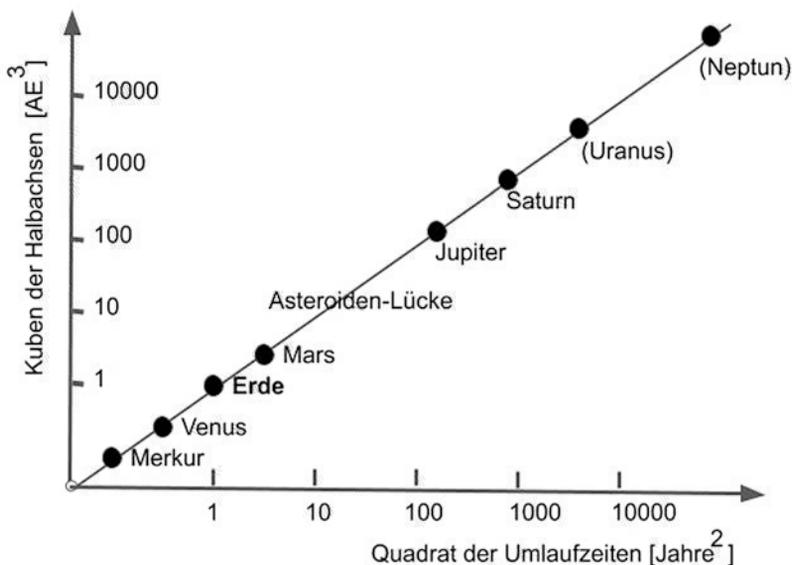


Abb. 1.5 Grafische Darstellung des dritten Keplerschen Gesetzes. (Bild: Aus „Galileo Galilei controvers“, Walter Hehl 2017, Springer Vieweg)

Bis zu diesen Erfindungen war die Welt des Wissens befriedigend abgeschlossen gewesen, abgesichert durch die Worte der Bibel und die Schriften des Aristoteles. Danach ist das kleinste botanische Objekt der Senfsamen und das kleinste Tier der Floh, niemand käme auf die Idee, kleineres zu suchen. In der Tat berichtet Galilei von Zeitgenossen, die sich mit dieser frommen Begründung weigerten, durch das Teleskop zu schauen!

Aber jetzt sieht man in einem Wassertropfen aus dem Teich eine Vielzahl wimmelnder Tierchen, und am Nachthimmel gibt es eine Vielzahl von Sternen, die man nur durch das Fernrohr sehen kann: Wozu sind sie da, wenn wir Menschen sie doch nicht sehen können? Die Welt ist doch nur für uns? Auch hat der Mond richtige Gebirge und ist der Erde ähnlich und nicht mehr himmlisch-perfekt. Wie bleibt er dann am Himmel?

Es besteht eine grosse Verunsicherung, die in den nächsten Jahrhunderten aufgelöst wird. Es beginnt mit Isaac Newton und seinem Buch „*Philosophiae Naturalis Mathematica Principia*“, in denen die Grundbegriffe und Grundgesetze der Mechanik beschrieben werden. Kraft, Trägheit, Impuls und Energie werden definiert und die Keplerschen Gesetze abgeleitet. Diese Begriffe waren seit mehreren hundert Jahren in verwirrender Weise gebraucht worden. Newton findet das allgemeine Gravitationsgesetz: Alles zieht alles an. Er kann damit die Keplerschen Gesetze in schärferer Form herleiten – der Kreis schliesst sich. Aber Newton ist nur tagsüber der rationale Physiker, nachts treibt er Alchemie oder einfach Chemie, ja er sucht nach dem Stein der Weisen. Er ist Mystiker, dunkler als Kepler. In diesem Sinn gilt der Ausspruch des Besitzers von Briefen Newtons über Alchemie:

„Newton war nicht der erste Aufklärer, er war der letzte Zauberer.“

**John Maynard Keynes,
Wirtschaftswissenschaftler und Amateurhistoriker, 1946.**

Aber noch ist es ja eigentlich legitim, ein Element in ein anderes verwandeln zu wollen. Die Alchemie ist eine Vorläuferin der Chemie und ist ein einziges Geheimnis. Die Aufklärung in der Chemie erreicht Newton nicht mehr:

- Die Verbrennung als Reaktion mit Sauerstoff wird der französische Chemiker Lavoisier 1783 verstehen und damit die falsche Phlogiston-Theorie verbannen,
- die ganzzahligen Gewichtsverhältnisse in verschiedenen chemischen Verbindungen beobachtet Dalton 1808,
- das periodische System der Elemente werden der Russe Dimitri Mendelejew und der Deutsche Lothar Meyer 1869 unabhängig voneinander erstellen.

Natürlich versteht man nicht, wieso und wie sich Atome zu Molekülen verbinden und warum das Periodische System der Elemente diesen besonderen Aufbau hat. Aber das Verständnis wird ausreichen, um die Chemie zur Wissenschaft zu machen und eine florierende chemische Industrie aufzubauen. Zum Ende des 19. Jahrhunderts wird man das Gefühl haben, alles Wichtige verstanden zu haben.

Besonders erfolgreich war die klassische Physik bei der Erklärung der Eigenschaften von Gasen: Ein Gas, eingeschlossen in einem Raum, ist gebändigter Zufall. Allerdings geht es um das Verhalten von sehr, sehr vielen sich zufällig bewegender Teilchen. Philosophischer Höhepunkt ist der Begriff der Entropie als das pauschale Mass für Unordnung und Ordnung.

Noch erfolgreicher ist die Physik des 19. Jahrhunderts im Bereich des Elektromagnetismus, dessen Grundgesetze gefunden wurden und beispielsweise die Induktion und die elektromagnetischen Wellen beschreiben: Licht ist eine elektromagnetische Welle. Aber es gibt hier eine Besonderheit. Der schottische Physiker James Maxwell hat 1865 die Grundgleichungen des Elektromagnetismus aufgestellt – und seine Gleichungen sind mehr als „aufklärerisch“. Sie sind schon vor der Entdeckung der Relativitätstheorie „relativistisch“, d. h. konform mit der Relativitätstheorie, und sie sind die heute noch gültige Grundlage der Elektrodynamik.

Als grösste wissenschaftliche Errungenschaft der Biologie könnte hier die Entdeckung der Evolution im 19. Jahrhundert stehen. Aber die Evolution ist im Kern kein Thema der Physik, sondern näher an der Informationstechnologie. Es ist eine Softwaretechnologie der Natur und gehört damit prinzipiell in die zweite Säule der Welt. Digitale Software entsteht erst mit den grossen Computersystemen in der Moderne.

1.2.2 Der Beginn der Informationstechnologie

„Es ist unwürdig, die Zeit von hervorragenden Leuten mit knechtischen Rechenarbeiten zu verschwenden, weil beim Einsatz einer Maschine auch der Einfältigste die Ergebnisse sicher hinschreiben kann.“

Gottfried Wilhelm Leibniz, deutscher Universalgelehrter, 1646–1716.