

Josef Honerkamp

Wissenschaft und Weltbilder

Wie Wissenschaft unser Leben
prägt und wir uns letzten Fragen
näher

SACHBUCH

 Springer

Wissenschaft und Weltbilder

Josef Honerkamp

Wissenschaft und Weltbilder

Wie Wissenschaft unser Leben
prägt und wir uns letzten
Fragen nähern

2. Auflage

 Springer

Josef Honerkamp
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, Deutschland

ISBN 978-3-662-67027-9 ISBN 978-3-662-67028-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-67028-6>

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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2015, 2023

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.

Planung/Lektorat: Andreas Rüdinger

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die erste Auflage meines Buches *Wissenschaft und Weltbilder* ist eine Sammlung von Essays, die unabhängig voneinander entstanden sind und auch so gelesen werden können. Für diese zweite Auflage habe ich jene Essays, die sich dort mit der Struktur einer Wissenschaft beschäftigten, zu einem großen Kapitel ausgebaut, in dem ich von Grund auf, aber dennoch so kurz und knapp wie möglich, eine vollständige Wissenschaftslehre dargelegt habe, welche sich an der Geschichte der physikalischen Theorien orientiert. Ebenso habe ich die Essays, die sich den wissenschaftstheoretischen Betrachtungen prominenter Philosophen widmen, überarbeitet und als ein zweites Kapitel eingeführt.

Von den restlichen Essays aus der ersten Auflage habe ich jene nach einer Überarbeitung übernommen, die zu einzelnen Abschnitten des ersten Kapitels gewissermaßen als Fußnoten fungieren können, auch wenn sie dafür manchmal etwas lang geraten sind. Dabei werden die

VI Vorwort

dort erwähnten Themen weiter ausgeführt oder in Beispielen verdeutlicht, immer im Hinblick darauf, dass die Beschäftigung mit einer Wissenschaft die Art unseres Denkens beeinflusst und damit auch unser Wissen um unsere Stellung in der Welt. So heißt der Untertitel nun auch „Der Gang der Wissenschaft und ihr Einfluss auf unser Denken“. Somit ist hier mit den ersten beiden Kapiteln ein eindeutiger Schwerpunkt gesetzt.

Ich danke Herrn Rüdinger vom Springer-Verlag für sein Engagement für diese neue Auflage, für sein großes Interesse an diesem Thema und seine Betreuung bei der Fertigstellung. Den Kollegen aus der Philosophie, Gerold Prauss, Gerhard Vollmer und Andreas Sommer danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Weiterer Dank gilt ehemaligen Kollegen aus der Freiburger Physik für Kommentare und Anregungen zu dieser neuen Auflage.

Freiburg
im Juli 2022

Josef Honerkamp

Addendum

Am 14.8.2022 erlitt Josef Honerkamp aus völligem Wohlbefinden heraus und ungeahnt für alle eine massive intrakranielle Blutung, die ein Weiterleben unmöglich machte. Er verstarb am 18.8.2022 im Kreise seiner Familie.

Das Manuskript für diese Auflage lag schon weitestgehend fertig beim Verlag, sodass die Familie es dankenswerterweise zur Veröffentlichung freigeben kann.

Aachen

Carsten Honerkamp

Einleitung

Jeder und jede von uns trägt mehr oder weniger bewusst ein bestimmtes Bild von der Welt in sich. Dabei kann man höchst Unterschiedliches unter „Welt“ verstehen. Die meisten denken dabei an unsere Lebenswelt auf der Erde, ein Physiker denkt immer gleich an das ganze Universum, und das Lied *Ich bin von Kopf bis Fuß auf Liebe eingestellt* (Refrain: „Ich bin von Kopf bis Fuß auf Liebe eingestellt, denn das ist meine Welt, und sonst gar nichts“) von Marlene Dietrich in dem Film *Der blaue Engel* zeigt uns, dass man die Welt auch nur aus einem ganz speziellen Blickwinkel sehen kann.

Unser Weltbild ist meistens die Frucht einer langen Entwicklung. Als Kind übernimmt man Ansichten und Gewohnheiten der Eltern und der Gemeinschaften, in denen die Familie lebt. Als Heranwachsender erhält man die Chance, Erfahrungen und Einsichten aus weiteren Kreisen zu sammeln, und auch später, wenn uns „des Lebens wilder Kreis umstrickt“, kann sich die Sicht

X Einleitung

auf die Welt verschieben oder durch besondere Ereignisse erschüttert werden. Unsere Kultur gibt uns allerlei Anregungen und Vorbilder an die Hand. Die Religionen, die Künste und Wissenschaften sowie die alltägliche Flut von Informationen, die uns aus den Medien und durch die Kommunikation mit anderen entgegenkommt, beeinflussen ständig unsere Einstellung zu den Fragen, die unsere Stellung in dieser Welt und unsere Sicht auf diese betreffen.

Natürlich kann die Intensität, mit der man solche Fragen reflektiert, von Mensch zu Mensch sehr unterschiedlich sein. Aber die Diskussion darüber durchzieht die gesamte Geschichte unserer Kultur. Schon aus den frühen Hochkulturen finden wir Zeugnisse in Form religiöser Vorstellungen. Aus dem Griechenland des 6. Jahrhunderts v. Chr. und aus dem alten China kennen wir die ersten Gedanken über die Welt und unser Verhältnis zu ihr, und noch heute werden die Ansichten der ersten großen Denker aus dieser Zeit, z. B. Demokrit, Sokrates, Platon, Aristoteles, Euklid und Archimedes, oft als erste Referenz benutzt.

Schon bei den Überlegungen aus dieser Zeit kann man sehen, dass man solche Fragen grob in zwei Kategorien einteilen kann. Es gibt einerseits Fragen, die sich auf den Menschen selbst und sein Verhältnis zu anderen Menschen beziehen, also Fragen nach dem richtigen Handeln, nach der Moral und nach einem „Sinn“ des Lebens, und es gibt andererseits Fragen über die Welt als Ganzes, über ihre Erkennbarkeit und darüber, wie man überhaupt zu Erkenntnissen über die Welt gelangen kann. Der Wissenschaftshistoriker Floris Cohen spricht deshalb in seinem Buch *Die zweite Erschaffung der Welt – Wie die moderne Naturwissenschaft entstand* von zwei philosophischen Strömungen im antiken Griechenland, die er mit dem

Etikett „Athen“ bzw. „Alexandria“ belegt (Cohen 2010). Die Philosophie nach athenischer Art steht dabei für die Fragen nach dem Handeln und der Moral, mit denen sich vorwiegend die Philosophen Sokrates, Platon oder Aristoteles in Athen und Umgebung beschäftigt haben. Demokrit, Euklid und Archimedes lebten in einem eher von Alexandria geprägten Kulturkreis und beschäftigten sich mehr mit den Dingen der Natur und gelten somit als Vertreter der alexandrinischen Art des Philosophierens.

Auch Immanuel Kant nimmt implizit diese Aufteilung mit seiner Aussage wahr: „Zwei Dinge erfüllen das Gemüt mit immer neuer und zunehmender Bewunderung und Ehrfurcht, je öfter und anhaltender sich das Nachdenken damit beschäftigt: Der gestirnte Himmel über mir und das moralische Gesetz in mir“ (Kant 1788). Der „gestirnte Himmel“ steht für die Welt des Physikers bzw. Naturwissenschaftlers, das moralische Gesetz für die Beziehungen der Menschen untereinander. Heute spiegelt sich diese Unterscheidung in den beiden Begriffen „Naturwissenschaften“ und „Geisteswissenschaften“ bzw. „Science“ und „Humanities“ wider.

Vollständig unabhängig sind diese Gebiete aber nicht. Man kann zwar nicht von den Beziehungen zwischen den Menschen auf die Dinge der Natur und deren Verhalten schließen. Andererseits kann man aber davon ausgehen, dass das zunehmende Wissen über „den gestirnten Himmel“ unser Bild von der Welt stets beeinflusst hat und dass dieses auch nicht ohne Einfluss auf unsere Art zu denken geblieben ist.

Inhaltsverzeichnis

Teil I Wissenschaft

1	Der Gang der Wissenschaft	3
1.1	Wissenschaft und Methode	5
1.1.1	Euklids Geometrie als erste Realisierung der Idee einer Wissenschaft	6
1.1.2	Die Newton'sche Mechanik – die erste physikalische Theorie	7
1.2	Empirismus und Rationalismus	11
1.2.1	Empirische Aussagen	12
1.2.2	Rationalismus	16
1.3	Freie Erfindungen des menschlichen Geistes	20
1.3.1	Axiome	21
1.3.2	Begriffe und Annahmen	26
1.3.3	Modelle und Modellannahmen	30
1.3.4	Die Rolle von Induktion und Intuition	33

	1.3.5	Die Rolle der Mathematik bei der Intuition	37
1.4		Schicksale physikalischer Theorien	39
	1.4.1	Bewährung bei Vorhersagen	39
	1.4.2	Vereinheitlichung mit anderen Theorien	42
	1.4.3	Verdrängung durch eine bessere Theorie	45
	1.4.4	Entdeckung der Grenzen eines Gültigkeitsbereiches	51
	1.4.5	Leben mit Problemen	59
	1.4.6	Theorie für Alles: Lösung aller Probleme?	63
1.5		Wissenschaft als evolutiver Prozess	65
1.6		Die Prägung unseres Denkens durch die Evolution	68
2		Wissenschaftslehre aus der Sicht von Philosophen	73
	2.1	Kant und die Prämissen als die Mittel reinen Denkens	74
	2.2	Karl Popper und die Induktion	76
	2.3	Thomas Kuhn und der Begriff des Paradigmas	80
	2.3.1	Die formale und die ontologische Ebene der Physik	82
	2.3.2	Thomas Kuhns Thesen und die formal mathematische Ebene	84
	2.3.3	Thomas Kuhns Thesen und die ontologische Ebene	86

2.3.4	Unversöhnliche Gegensätze zwischen verschiedenen Theorien?	89
2.4	Lakatos	91
Teil II Denkungsart und Weltbilder: Logik, Mathematik und Rationalismus		
3	Denkgebäude – von „Geschichten“ unterschiedlicher Art	97
3.1	Denkgebäude in Mathematik, Physik und Philosophie	100
3.2	Historische Rekonstruktionen	102
3.3	Denkgebäude als Geschichten	103
3.4	Antrieb für das Erzählen und Erfinden von Geschichten	104
3.5	Religion und Magie	105
3.6	Magie und Wissenschaft	106
4	Denkfehler und Denkweisen	111
4.1	Denkfehler	112
4.2	Zwei unterschiedliche Denkweisen	115
5	Die Rolle der Mathematik in einer Wissenschaft	119
5.1	Wissenschaft vs. Kunde	120
5.2	Mathematik führt zu quantitativen Aussagen	122
5.3	Mathematik für komplexe Systeme	123
5.4	Prägung der Wissenschaftler durch die Mathematisierung	124
5.5	Das Problem der Mathematisierung in anderen Wissenschaften	126

6	Der Algorithmus und die Reichweite mathematischer Theorien	129
6.1	Einige Algorithmen kennt jeder	130
6.2	Algorithmen für mathematische Probleme	131
6.3	Algorithmen ohne mathematische Probleme	132
6.4	Wie weit reichen algorithmische Verfahren?	134
6.5	Was ist das nicht-algorithmische Denken?	136
7	Maschinelles Lernen – Neuronale Netze	137
7.1	Künstliche neuronale Netze	139
8	Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning)	143
Teil III Denkungsart und Weltbilder: Begriffsbildung		
9	Das Böse und andere Dinge – von den Verführungen durch unsere Umgangssprache	151
9.1	Der Hang zur Personifizierung im Lichte der Evolution	152
9.2	Der Hang zur Substantivierung	154
9.3	Das Verschwinden der „Dinglichkeit“	156
10	Warum gibt es eigentlich irgendetwas und nicht einfach nichts?	159
10.1	Warum gibt es irgendetwas?	161
10.2	Kann es auch einfach nichts geben?	162

Teil IV Denkungsart und Weltbilder: Intuition und Wahrheit

11 Vom gefühlsmäßigen Erfassen einer Wahrheit – der Mensch als Geschichtenerfinder	167
11.1 Wahrheitsgefühl bei Philosophen in der Kritik von Philosophen	169
11.2 Wahrheitsgefühl im täglichen Leben	170
11.3 Der Interpretier	171
11.4 Bewertung der Geschichten	173

Teil V Denkungsart und Weltbilder: Jenseits unseres Vorstellungsvermögens

12 Von Raum und Zeit zur Raumzeit	177
12.1 Koordinatensysteme, der absolute Raum und das absolute Inertialsystem	178
12.2 Inertialsysteme in der Praxis	181
12.3 Galilei-Transformationen und das galileische Relativitätsprinzip	182
12.4 Raum und Zeit in der speziellen Relativitätstheorie	184
13 Die Zeit, die ist ein sonderbar Ding	189
13.1 Vom Empfinden zum Messen	190
13.2 Die Relativität der Zeit	192
13.3 Grenzen der Zeit: Zeitlosigkeit und die Absolutheit der Bewegung	196
13.4 Grenzen der Zeit: Die Unumkehrbarkeit	199
13.5 Das Absolute ist uns fremd	201

14	Raumzeit und Materie	205
14.1	Das Äquivalenzprinzip oder die Rettung des Inertialsystems	207
14.2	Gekrümmte Räume	210
14.3	Das allgemeine Relativitätsprinzip	212
14.4	Bestimmung der Metrik der Raumzeit durch Massen und Felder	214
15	Von unserer Provinzialität und unseren Vorurteilen	217
15.1	Die Mechanisierung des Weltbildes	218
15.2	Die Provinzialität unserer alltäglichen Vorstellungswelt	222
15.3	Quantenfelder als elementarste Objekte?	226
16	Die Schreibhemmung, Buridans Esel und das Higgs-Teilchen	229
16.1	Buridans Esel, spontane und explizite Symmetriebrechung	230
16.2	Symmetrien und Invarianzen in der Natur	232
16.3	Symmetrien in physikalischen Theorien, Erhaltungssätze	234
16.4	Eichsymmetrien und Eichtheorien	235
16.5	Symmetrie, Massen der Eichquanten und Reichweite der Wechselwirkung	237
16.6	Spontane Symmetriebrechung in Quantentheorien	238

Teil VI Denkungsart und Weltbilder: An heutigen Grenzen der Wissenschaft

17	Emergenz – Über verschiedene Begriffswelten	243
17.1	Evolution zu immer komplexeren Systemen	245
17.2	Verschiedene Begriffswelten	246
17.3	Verknüpfung der Begriffe verschiedener Schichten, Emergenz	247
17.4	Objektivität und Subjektivität	249
17.5	Wertschätzungen	251
18	Von verschiedenen Wirklichkeiten	253
18.1	Wirklichkeit als Begriff	254
18.2	Verschiedene Beschreibungsebenen in der Physik	256
18.3	Die Wirklichkeit auf den Beschreibungsebenen	259
18.4	Die Verknüpfung der Beschreibungsebenen: Reduktion	261
18.5	Beschreibungsebenen und Wirklichkeiten	262
18.6	Verschiedene Beschreibungsebenen außerhalb der Physik	264
18.7	Die Verknüpfung der Beschreibungsebenen: Konsistenz	266
19	Erkenntnis, Gefühl und Moral	269
19.1	Geborgenheit und Wahrheit	270
19.2	Wahrheit und Moral	272
20	Erkenntnis und Bewusstsein	277
20.1	Die Bedeutung der Kausalität in Physik und Hirnforschung	278

XX	Inhaltsverzeichnis	
20.2	Analogie zur Mechanisierung des Weltbildes	279
20.3	Nur das Wissen über Beziehungen ist nachprüfbar und kann verlässlich sein	281
21	Natur und „Geist“	285
21.1	Naturalismus, Idealismus, Dualismus	286
21.2	Naturalismus und die Erste-Person-Perspektive	290
21.3	Naturalismus und Mathematisierung	293
21.4	Was nun?	295
	Literatur	297
	Stichwortverzeichnis	303

Teil I

Wissenschaft



1

Der Gang der Wissenschaft

Der Philosoph Immanuel Kant sprach in seiner Vorrede zur Kritik der reinen Vernunft bewundernd von einem „sicheren Gang einer Wissenschaft“ (Kant 1781, p. 21). Er bezog sich dabei auf die Newton'sche Mechanik, deren Entwicklung damals von allen Gebildeten als ein säkulares Ereignis in der Geistesgeschichte gefeiert wurde. Nun, so glaubte man, hätte man eine Methode in der Hand, mit der man sicheres Wissen über die Welt und über das, was sich darin bewegt, erlangen könne. Die Metaphysik, so Kant (ebd., p. 22), sei dagegen „ein Kampfplatz, ... auf dem niemals ein Fechter sich auch den kleinsten Platz hat erkämpfen ... können“, und ihr Verfahren sei „bisher ein bloßes Herumtappen ... unter bloßen Begriffen gewesen“ (Kant 1781, p. 22).

Rückblickend können wir heute mehr als 300 Jahre des Gangs der Physik überblicken und haben damit reiche Erfahrung mit einer Wissenschaft, die auch heute wie damals als Muster und Vorbild dienen kann. Wir können

nun genauer sagen, wie es um die Sicherheit des Gangs gestellt ist. Viel ist darüber geschrieben und gelehrt worden, eine ganze philosophische Richtung, die Wissenschaftslehre bzw. Wissenschaftstheorie, ist entstanden. Immanuel Kant kann man als Begründer dieser Richtung bezeichnen, und als etwa 200 Jahre später neue physikalische Theorien wie die Relativitätstheorien entstanden, nahm dieses Gebiet einen Aufschwung auch in allgemeineren philosophischen Diskussionen, insbesondere in der Erkenntnistheorie.

Stets stand die Art der „Sicherheit des Gangs“ im Fokus, insbesondere beim Vergleich von Metaphysik und Wissenschaft. Wie wir heute wissen, ist die Sicherheit des Gangs einer Wissenschaft allerdings eine sehr spezielle: eine Sicherheit, wie sie im Rahmen einer Evolution möglich ist. Das will heißen, dass es dabei auch um ein „Überleben“ gehen kann. Wir werden genau erläutern müssen, wie das zu verstehen ist (siehe insbesondere Abschn. 1.5). So etwas hätte man damals wohl nicht erwartet. Heute aber erscheint uns diese Sicht auf eine Wissenschaft selbstverständlich zu sein, wenn man in der Physik „intellektuell sozialisiert“ worden ist.

Ich will in diesem Kapitel über diese Art der Sicherheit berichten, und zwar aus der Sicht eines Physikers, der 30 Jahre lang über alle physikalischen Theorien, die hier behandelt werden, auch gelehrt hat und der sich nach seiner Emeritierung intensiver mit der Geschichte der Entstehung dieser Theorien beschäftigt hat. Aus der Nähe gesehen und später dann mit etwas Abstand, sieht dieser Gang doch etwas anders aus als bei denen, die nur von Weitem auf diese Theorien schauen. So werde ich hier die Vorgänge bei der Entstehung und bei den Schicksalen der Theorien schildern, um daraus ein detailliertes Bild von der Art der Sicherheit zu zeichnen. Insofern kann man dieses Kapitel eine Darstellung der Wissenschaftstheorie auf dem Boden der Physik nennen.

1.1 Wissenschaft und Methode

Heute wird schnell etwas als Wissenschaft ausgegeben oder als wissenschaftlich erklärt. Vermutlich wissen aber die wenigsten, was eine Wissenschaft ausmacht und wodurch sich ihre hohe Reputation begründen lässt. Dabei ist die Idee von einer Wissenschaft schon früh in der kulturellen Entwicklung der Menschheit entwickelt worden und war seitdem in der gesamten Geschichte der menschlichen Kultur stets gegenwärtig.

„Aristoteles steht für den Anfang dieser Idee, Albert Einstein für die bisher höchste Form ihrer Verwirklichung“, so habe ich einmal die Präsenz dieser Idee über mehr als 2000 Jahre verdeutlicht (Honerkamp 2017, p. 2). Viele Versuche, diese Idee zu realisieren oder ihr wenigstens nahe zu kommen, hat es in der Zeit zwischen dem Wirken dieser Denker gegeben. Um etwa 300 v. Chr. hat Euklid von Alexandria dieser Idee die erste konkrete Form in der Mathematik gegeben, Issac Newton hat im 17. Jahrhundert ebensolches in der Physik getan.

Aristoteles (–384 bis –322) schreibt in seinem Werk *Analytica Posteriora*: „Ich behaupte dagegen, dass jede Wissenschaft zwar auf Beweisen beruhen muss, aber dass das Wissen der obersten, unvermittelten Grundsätze nicht beweisbar ist“ (Aristoteles 2022a). Der Begriff des Beweises war wohl aus der Mathematik bekannt. Diese war ja schon insbesondere von den Pythagoreern zu einer gewissen Blüte gebracht worden, und sie galt danach als Garant für unanfechtbare Argumentation. Betonen wollte Aristoteles hier aber wohl, dass es als Ausgangspunkt aller Beweise oberste unvermittelte Sätze geben muss, welche selbst aber nicht beweisbar sind.

Wie auch immer man zu obersten Sätzen gelangen mag und wie auch immer ein Beweis aussehen muss, damit er unanfechtbar ist – Wissenschaft muss nach

Aristoteles ein hierarchisches System von Aussagen und deren Beziehungen sein. Diese Idee ist in verschiedensten Bildern verdeutlicht worden. Der Philosoph Immanuel Kant spricht von einer Architektur: „Die menschliche Vernunft ist ihrer Natur nach architektonisch und betrachtet alle Erkenntnisse als gehörig zu einem möglichen System“ (Kant 1781, p. 557). Der französische Mathematiker und Physiker Henri Poincaré präzisiert dieses Bild mit Blick auf die empirischen Wissenschaften: „Man stellt die Wissenschaft aus Tatsachen her, wie man ein Haus aus Steinen baut; aber eine Anhäufung von Tatsachen ist so wenig eine Wissenschaft wie ein Steinhaufen ein Haus ist“ (Poincaré 1904, p. 143). Allgemein spricht man von einem axiomatisch-deduktiven System.

1.1.1 Euklids Geometrie als erste Realisierung der Idee einer Wissenschaft

Die Mathematik war im Griechenland des 3. Jahrhunderts v. Chr. schon weit fortgeschritten. Man vermutet, dass es auch schon Schriften gegeben hat, die man heute als Lehrbücher auffassen könnte. Aber nur ein einziges Werk dieser Art ist uns überliefert, die *Elemente* des Euklid von Alexandria (Euklid 2022). In diesem Werk hat er das Wissen über die damals bekannten geometrischen Figuren zusammengefasst und in Form eines axiomatisch-deduktiven Systems geordnet: Aus wenigen Prämissen konnte er alle Eigenschaften der geometrischen Figuren mit den damaligen Mitteln der Mathematik nach und nach beweisen.

Diese Prämissen bestanden aus Definitionen, Postulaten und Axiomen. Die Definitionen dienten dazu, Einigkeit herzustellen für das, was man unter bestimmten Wörtern wie etwa Punkte, Linie oder Halbkreis verstehen will.

Die Postulate waren ein Spezifikum der Geometrie. Hier wurde z. B. gefordert, dass man eine „begrenzte gerade Linie zusammenhängend verlängern kann“ oder dass man „bei gegebenem Mittelpunkt und Abstand den Kreis zeichnen kann“. Ein Teil der Prämissen, die Definitionen und die Postulate, dienten also dazu, gewisse „Denkmittel“ zur Verfügung zu stellen, mit denen man dann, ausgehend von den Axiomen, alle Aussagen für ein logisch geordnetes Gedankengebäude errichten konnte. Dieses war die in dem Werk *Elemente* enthaltene euklidische Geometrie.

Neben den Axiomen werden in den Prämissen also auch „Denkmittel“ bereitgestellt, also spezifische Voraussetzungen oder bestimmte Begriffe. Mit Aristoteles kann man solche Denkmittel etwas plastischer auch als „Denkwerkzeuge“ (*Organon*, gr. = Werkzeug) bezeichnen.

Mithilfe dieser „Denkwerkzeuge“ konnte Euklid dann die damals bekannten Eigenschaften der geometrischen Figuren so streng wie damals denkbar aus den Axiomen herleiten, so z. B. den Satz des Pythagoras oder den Satz von Thales. Diese werden auch heute noch in der Schule gelehrt. Damit wird also demonstriert, wie verlässliches Wissen entsteht und warum es Jahrtausende übersteht.

1.1.2 Die Newton'sche Mechanik – die erste physikalische Theorie

Seit den Zeiten der Vorsokratiker war das Phänomen „Bewegung“ das vorherrschende Thema in der Naturphilosophie. Der italienische Naturforscher Galileo Galilei (1564 bis 1642) knüpfte an das antike Denken an, entdeckte dann aber etwas, was zu einem entscheidend neuen Zugang zum Verständnis aller Naturphänomene führen sollte: Die Bahn einer Bewegung kann durch eine geometrische Figur beschrieben werden. In seinem Fall war

es eine Parabel, ein sogenannter Kegelschnitt, bekannt aus den ausführlichen Studien der spätantiken Mathematiker. Ich will hier nicht auf das berühmte Fallexperiment näher eingehen, bei dem er diese Einsicht gewann. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, was er daraus schloss: Auch Naturphänomene auf der Erde lassen sich mathematisch beschreiben. Bisher war die Mathematik zuständig für „vollkommene, himmlische Dinge“ wie die Bahnen der Planeten gewesen (Fölsing 1983, p. 170). Nun entdeckte er, dass auch profane Bewegungen mathematischen Gesetzen „gehörchen“.

Das sollte eine Entdeckung sein, die in ihrer Tragweite der Entdeckung des Feuers glich, und Galilei ahnte auch schon, dass ihr eine große Zukunft bevorstehen würde. Er wusste nun: „Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben“, und diese Einsicht führt zu einer „neuen Wissenschaft“. Galilei wurde somit zum Gründer der modernen Naturwissenschaft.

Wie kann man die Mathematik bei anderen Bewegungen nutzen? Mit Kopernikus (1473 bis 1543) war die Bewegung der Planeten am Himmel ein besonders aktuelles Forschungsthema geworden. Besonderen Einfluss übte der Astronom Tycho Brahe (1546 bis 1601) aus. Er entwickelte neue, sehr präzise Instrumente zu Himmelsbeobachtung. Dadurch erhielt er so genaue und verlässliche Daten, dass Johannes Kepler (1571 bis 1630) erkennen konnte, dass die Bahn des Planeten Mars nicht einem Kreise gleichen konnte, wie man es immer angenommen hatte, weil das ja eine vollkommene Harmonie in „den himmlischen Dingen“ verlangte. Die Daten gaben aber noch mehr Information über die Planetenbahnen her. So konnte Johannes Kepler nicht nur für die Bahnen selbst, sondern auch für die Bewegung auf den Bahnen drei Gesetze formulieren. Das erste Gesetz ist heute allgemein bekannt und entspricht genau dem, dass

die Bahnen der Planeten Ellipsen sind, wobei die Sonne in einem ihrer Brennpunkte steht.

Was hielt die Planeten aber eigentlich so genau auf ihrer Bahn? Warum sind es gerade Ellipsen? Ähnliche Fragen stellten sich für das System Erde – Mond. Wie kommt es überhaupt zu bestimmten Bewegungen? Eine Theorie, die eine weiterführende Antwort auf alle diese Fragen lieferte, entwickelte Isaac Newton (1642 bis 1716) in seinem Werk, welches er 1687 veröffentlicht und *Principia Mathematica*, genauer *Philosophia naturalis principia mathematica*, d. h. mathematische Prinzipien der Naturphilosophie, genannt hat.

Im Hinblick auf die Struktur seines Werkes orientierte er sich an der euklidischen Geometrie. Die Prämissen bestanden also auch aus zwei Teilen, einem Teil, in dem eine Anzahl von Denkmitteln bereitgestellt wird, und einem Teil, in dem Axiome formuliert werden. Im ersten Teil werden z. B. Begriffe wie Raum und Zeit als Arena für eine Bewegung eingeführt, und es wird vorgestellt, wie in der Sprache der Mathematik die Bewegung materieller Körper beschrieben werden soll. Die Entwicklung des mathematischen Rüstzeugs für eine solche Aufgabe hat Newton mit der Differenzialrechnung noch bereitstellen müssen.

Das erste Newton'sche Gesetz drückt aus, dass man nicht die geradlinig-gleichförmige Bewegung zu erklären hat, sondern erst eine Abweichung davon. Galilei hatte die Sonderstellung der geradlinig-gleichförmigen Bewegung schon bei seinem Experiment mit der Fallrinne erwähnt (Galilei 1982, p. 30). Newton machte diese zum Inhalt des ersten Axioms. Im zweiten Gesetz musste Newton nun mögliche Ursachen für eine Abweichung von dieser Bewegung angeben. Dazu führte er den Begriff der Kraft ein. Diese musste auch in Form eines mathematischen Ausdrucks gegeben sein. Ist dieser

spezifiziert, so erhält man eine mathematische Gleichung für eine Bewegung. Gibt man noch den Ort und die Geschwindigkeit für einen Anfang vor, so kann man aus der Gleichung berechnen, an welchem Ort und mit welcher Geschwindigkeit sich das bewegende Objekt zu jeder Zeit befindet.

Das dritte Gesetz wird einer allgemeinen Eigenschaft von Kräften gewidmet: Übt eine Körper A eine Kraft auf B aus, so gibt es auch immer ein gleich große, aber entgegengerichtete Kraft von B auf A. Hier ist unterstellt, dass man ein System betrachtet, auf das von außen keine Kräfte wirken.

Diese drei Axiome stellen eine Strategie dar, nach der man eine mathematische Gleichung zu formulieren hat, welche die Bewegung eines materiellen Objekts bestimmt. Sie sind also die Axiome für eine Theorie der Bewegung.

Die Newton'schen Gesetze beschreiben also im Wesentlichen ein Prinzip, und es musste natürlich auch demonstriert werden, dass dieses in konkreten Fällen, also bei gegebenem Ausdruck für eine Kraft, zu wahren Aussagen führen kann. Aktuelles Forschungsthema war damals die Bewegung der Planeten um die Sonne, und es gab schon verschiedene Spekulationen darüber, wie man die Kraft, die materielle Körper aufeinander ausüben, mathematisch formulieren sollte. Wie Newton sich schließlich auf einen mathematischen Ausdruck für eine solche Kraft, auch „Gravitationskraft“ genannt, festgelegt hat, kann hier nicht beschrieben werden (z. B. Honerkamp 2010).

So konnte Newton alle drei Kepler'schen Gesetze mithilfe eines einzigen Ausdrucks für die Gravitationskraft ableiten. Diese Demonstration sollte nicht lange die einzige bleiben. In Zusammenarbeit mit Astronomen nahm man auch Kometen in den Blick. Mithilfe der beobachteten Bahnparameter konnte man deren Bahn

bestimmen und voraussagen, wann sie wieder an unserem Himmel erscheinen müssten. Man konnte später auch bald mit allgemeineren Modellen für die materiellen Körper umgehen, sie also nicht mehr nur als Punktteilchen, sondern als ausgedehnte Körper, betrachten und sogar auch Bewegungen berechnen, wenn sie nur unter bestimmten Einschränkungen stattfinden können.

Man konnte also nun Bewegungen am Himmel wie auf der Erde verlässlich berechnen, wenn man nur alle Umstände richtig „in Rechnung stellte“. Dies hat großen Einfluss auf das Weltbild der Philosophen und Theologen ausgeübt. Man hatte hinter die „Kulissen des Weltenlaufs“ geschaut und profane Gründe für den Lauf entdeckt. Vielleicht, könnte man alles auf diese Weise verstehen, bräuchte es die Hypothese eines Weltenlenkers, eines „Gottes“ nicht mehr, wie es der Mathematiker Laplace (1749 bis 1827) später sinngemäß gegenüber dem General Bonaparte formulierte. Heute spricht man von einem mechanistischen Weltbild, das da entstanden war.

Newton hat mit seiner Theorie einen entscheidenden nächsten Schritt für die neue Wissenschaft Galileis getan: Er zeigte, dass das Wissen über die Natur nicht nur in der Sprache der Natur formuliert werden kann, sondern dass es auch in gleicher Weise logisch geordnet werden kann, wie Euklid es für die Mathematik demonstriert hatte. Wir werden sehen, dass der wesentliche Unterschied in der Genese der Axiome liegt.

1.2 Empirismus und Rationalismus

Die Newton'sche Theorie war ein Gedankengebäude nach Art der euklidischen Geometrie, also „more geometrico“. Hier zeigte sich die „neue Wissenschaft“ Galileis in aller Schönheit. Empirismus und Rationalismus waren die

bestimmenden Säulen, über welche sich ein Gedankengebäude wahrer Aussagen spannen konnte.

Die Bedeutung der Empirie für eine Naturforschung war schon u. a. von Francis Bacon (1561 bis 1626) und Thomas Hobbes (1588 bis 1679) betont worden. Allerdings glaubten sie, auf Empirie allein eine Naturforschung gründen zu können. Andererseits zweifelten Denker wie Baruch Spinoza (1632 bis 1677) und René Descartes (1596 bis 1650) grundsätzlich an der Verlässlichkeit der Sinneseindrücke und setzten ganz auf einen Rationalismus, in dem der menschliche Verstand für das Erkennen der Ordnung in der Welt entscheidend sei. Galilei und Newton hatten nun gezeigt, wie ein Zusammenwirken von Empirismus und Rationalismus zu einer Theorie führen kann, die wahre Aussagen über die Natur liefert und diese ausgehend von obersten Sätzen rational begründen kann.

Bei genauerem Hinsehen wird man aber erkennen, dass die beiden Säulen, Empirie und Rationalismus, allein nicht ausreichen, um eine Theorie für Naturphänomene formulieren zu können (vgl. Abschn. 1.3). Sie sind aber die tragenden Bauelemente einer jeden physikalischen Theorie, und so lohnt es sich, sie zunächst aus heutiger Sicht etwas genauer zu betrachten.

1.2.1 Empirische Aussagen

Das absolut Neue bei der Newton'schen Theorie ist, dass sie im Unterschied zur Geometrie für eine vom Menschen unabhängige Instanz gültig sein soll. Diese Instanz ist die Natur und kann durch Experimente oder Beobachtungen „befragt“ werden. Die Antworten bzw. Daten müssen dann in empirische Aussagen umgemünzt werden, und man muss dabei sicherstellen, dass uns diese über Tatsachen in Kenntnis setzen.

Danach kann man die theoretischen Aussagen als wahr bezeichnen, wenn sie mit den Tatsachen übereinstimmen. Die „Quelle der Wahrheit“ für die eine Theorie liegt hier also nicht bei den Prämissen wie in einer mathematischen Theorie, sondern in der Übereinstimmung der theoretischen Aussagen mit empirischen Aussagen, die Tatsachen beschreiben.

Die „Befragung der Natur“ geschieht durch Experimente oder Beobachtungen mit spezifischen Messverfahren. Dabei ist es Sache der Experimentierkunst und des Hintergrundwissens, aus dem Ergebnis die Umstände des Experimentes bzw. der Beobachtung abzutrennen, um eine allgemeine, reproduzierbare Beziehung freizulegen. Galilei hat all dies in seinem Fallexperiment schon demonstriert, als er lernte, bei der Fallbewegung auf der schiefen Ebene von der Drehung und der Reibung zwischen Kugel und Ebene zu abstrahieren (Galilei 1982, p. 30).

Diese Aufgabe ist keineswegs trivial. Mit den Sinnen hat man in der Regel keinen direkten Zugang; man kann sich auf diese ohnehin nicht verlassen. Man muss wissen, welche Annahmen und andere Theorien eventuell in die Datenaufbereitung eingehen, wie verlässlich diese sind und welche statistischen Methoden man anwenden muss, um zu einem belastbaren Resultat der Messungen zu kommen. Auch prüft man immer, ob andere Forschergruppen unabhängig voneinander bei gleichen Fragen an die Natur, aber mit ähnlichen Experimenten und zu anderen Zeiten, zum gleichen Ergebnis kommen. Erst so ergibt sich mit der Zeit ein Konsens von Forschergemeinschaften über ein Messergebnis. Man muss wohl anerkennen, dass heutzutage ein solcher Konsens in der Regel als wahre empirische Aussage angesehen werden kann. Sonst würden wir heute nicht in einem Zeitalter leben, das man das „technologische“ nennt. Man beachte