

Josef Honerkamp

# WAS KÖNNEN WIR WISSEN?

Mit Physik bis zur Grenze  
verlässlicher Erkenntnis

Spektrum  
AKADEMISCHER VERLAG  
Sachbuch

Was können wir wissen?

Josef Honerkamp

# Was können wir wissen?

Mit Physik bis zur Grenze verlässlicher  
Erkenntnis



Springer Spektrum

Prof. em. Dr. Josef Honerkamp  
Fakultät für Mathematik und Physik  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

ISBN 978-3-8274-3051-9  
DOI 10.1007/978-3-8274-3052-6

ISBN 978-3-8274-3052-6 (eBook)

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 2013

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:* Dr. Vera Spillner, Sabine Bartels

*Redaktion:* Dr. Sonja Bernhart

*Einbandabbildung:* Abstract blue background © Victoria/Fotolia

*Einbandentwurf:* wsp design Werbeagentur GmbH,

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](http://www.springer-spektrum.de)

# Inhalt

Vorwort .....	XV
Über Verlässliches und weniger Verlässliches – Physik und Metaphysik .....	XIX

## Teil I

Physik: Verlässliches über Raumzeit und Quanten ...	1
<b>1 Was ist der Urknall eigentlich?</b> .....	3
Der Beginn einer wissenschaftlichen Kosmologie ...	4
Ein kurzer Blick auf das heutige Standardmodell der Kosmologie .....	6
Das Programm der Rückextrapolation .....	7
Eine Lücke oder eine andere Phase von Raum und Zeit? .....	9
<b>2 Raum und Zeit – Nobelpreisträger Max von Laue spricht über die Relativitätstheorien.</b> .....	11
Das Galileische Relativitätsprinzip .....	12
Inertialsysteme .....	13
Inertialsysteme in der Speziellen Relativitätstheorie .....	14

**VI** Was können wir wissen?

Inertialsysteme in der Allgemeinen Relativitätstheorie. . . . .	15
Die Grenzen unserer Vorstellungsfähigkeit . . . . .	16
<b>3 Über die Zeit . . . . .</b>	<b>19</b>
Die Zeit bei reversiblen bzw. irreversiblen Vorgängen in der klassischen Physik . . . . .	20
Entropie als Unordnung und Leben als Export von Entropie . . . . .	23
Zeit in der modernen Physik . . . . .	24
<b>4 Was bedeutet eigentlich Einsteins Formel <math>E = mc^2</math>? . . . .</b>	<b>27</b>
Die Masse in der Relativitätstheorie . . . . .	28
Eine neue Eigenschaft der Masse. . . . .	29
Bedeutende Beispiele für die Nicht-Additivität von Massen . . . . .	30
<b>5 Realität und Nichtseparabilität in Quantenmechanik und Buddhismus . . . . .</b>	<b>35</b>
Separabilität in klassischer Physik und in Quantenmechanik. . . . .	35
Wenn das Konzept der Separabilität an seine Grenzen stößt: offene Systeme . . . . .	38
Realität und Nichtseparabilität in der Quantenmechanik . . . . .	39
Realität und Nichtseparabilität im Buddhismus . . . . .	42
Die moderne Physik und der Buddhismus. . . . .	43
<b>6 Individualität und Ununterscheidbarkeit der Quanten . . . .</b>	<b>45</b>
Ununterscheidbarkeit in der klassischen Statistischen Mechanik . . . . .	46
Ununterscheidbarkeit in der Quantentheorie . . . . .	48
<b>7 Wandlungen des Materiebegriffes. . . . .</b>	<b>53</b>
Die Masse als charakteristische Eigenschaft von materiellen Objekten . . . . .	54

Alle Objekte bestehen aus Quanten . . . . .	55
Die Energie als charakteristische Eigenschaft von materiellen Objekten . . . . .	57
<b>8 Werner Heisenberg: „Physik und Philosophie“ . . . . .</b>	<b>61</b>
Die moderne Physik und traditionelle Grundanschauungen . . . . .	62
Die Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik . . . . .	63
Probleme der Verbalisierung der Ergebnisse der Quantenmechanik . . . . .	66
Weltanschauung und geistige Lebensgrundlage . . . . .	67

## Teil II

<b>Physik: Verlässliches angesichts Komplexität und Zufall . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>9 Zur Physik komplexer Systeme. . . . .</b>	<b>71</b>
Auf dem Weg zum Verständnis komplexer Systeme: der thermodynamische Gleichgewichtszustand . . . . .	72
Auf dem Weg zum Verständnis komplexer Systeme: das Fließgleichgewicht . . . . .	74
<b>10 Emergenz. . . . .</b>	<b>79</b>
Statistische Mechanik versus Thermodynamik . . . . .	80
Emergente Phänomene in Multi-Agentensystemen. . . . .	82
Realität als emergentes Phänomen . . . . .	83
Ist Bewusstsein als emergentes Phänomen irgendwann erklärbar? . . . . .	85
<b>11 Emergente Phänomene . . . . .</b>	<b>87</b>
Systeme, emergente Begriffe, Phänomene und Gesetze auf zwei Ebenen . . . . .	88
Eine kleine Skizze der Statistischen Mechanik . . . . .	90

## VIII Was können wir wissen?

Weitere emergente Phänomene:

Strukturbildung, Realität . . . . . 93

Emergenz in der Physik und anderswo . . . . . 97

### 12 Reduktionismus . . . . . 101

Eigenständigkeit der höheren Ebenen  
trotz Reduktion . . . . . 102

Bildung von Begriffen – durch Definition  
oder durch „Zeigen“ . . . . . 104

### 13 Der Informationsbegriff in der Physik . . . . . 107

Der Begriff der Entropie . . . . . 108

Entropie als Mangel an Information . . . . . 110

Statistische Physik: quantitative Beschreibung  
bei unvollständigem Wissen . . . . . 112

### 14 Quanteninformatik . . . . . 115

Informatik als Wissenschaft von der Verarbeitung  
codierter Information . . . . . 116

Codierung in Strukturen von Quantenobjekten. . . . . 117

### 15 Der Zufall . . . . . 119

Die Zähmung des Zufalls . . . . . 119

Der Umgang mit dem Zufall in der Statistischen  
Mechanik . . . . . 121

Der Umgang mit dem Zufall bei  
offenen Systemen . . . . . 122

Der Zufall in der Quantenmechanik . . . . . 125

### 16 Wie man mit dem Zufall rechnet – stochastische Prozesse . . . . . 129

Stochastische Prozesse . . . . . 131

Der Zufallsweg als Modell für die Diffusion . . . . . 133



	Der Relaxator als Modell für einen Weg ins Gleichgewicht . . . . .	135
	Der stochastische Oszillator . . . . .	136
<b>17</b>	<b>Wie man dem Zufall trotzt – optimale Voraussagen . . . . .</b>	<b>139</b>
	Modellierung stochastischer Prozesse: optimale Vorhersagbarkeit als Ziel . . . . .	139
	Verschiedene Typen von Gleichungen für stochastische Prozesse . . . . .	141
	Schätzung der Parameter eines Modells . . . . .	143
	Naturgesetze versus optimierte Prädiktoren . . . . .	144
<b>18</b>	<b>Vorurteile und Vorwissen . . . . .</b>	<b>147</b>
	Die Bedeutung des Vorwissens im Alltag und in der Evolution des Denkens . . . . .	148
	Die Bedeutung des Vorwissens bei der Interpretation von Daten . . . . .	150
	Das Theorem von Bayes . . . . .	152
<b>19</b>	<b>Aus Daten Schlüsse ziehen . . . . .</b>	<b>157</b>
	Die Unsicherheit bei der Modellierung . . . . .	159
	Die Unsicherheit der Daten . . . . .	159
	Die Folgen der Unsicherheit der Daten für die Berechnung . . . . .	162
	Die Unsicherheit in den Parametern . . . . .	163
	Bedeutung der Datenanalyse für das Testen von Modellen und Theorien . . . . .	164
<b>20</b>	<b>Ein erster Einblick in die Spieltheorie – vom Beobachten zum Handeln . . . . .</b>	<b>165</b>
	Eine ganz kurze Geschichte der Spieltheorie . . . . .	166
	Die Auszahlungsmatrix . . . . .	167
	Das Gefangenendilemma . . . . .	169
	Die Evolution der Kooperation . . . . .	171

## Teil III

<b>Wege zum verlässlichen Wissen</b> . . . . .	173
<b>21 Die Natur der Physik und der kritische Rationalismus</b> . . . . .	175
Die Begrenztheit unserer Erkenntnisfähigkeit und die Natur der Physik . . . . .	176
Der kritische Rationalismus . . . . .	178
<b>22 Die Sprache der Physik</b> . . . . .	183
Die Mathematik als Sprache, in der formuliert und argumentiert wird. . . . .	183
Die Mathematik als Führer zu neuen Hypothesen . . . . .	185
Die Mathematik als Führer im Unvorstellbaren . . . . .	187
<b>23 Warum können wir Gesetzmäßigkeiten in der Natur mathematisch erfassen?</b> . . . . .	191
Die evolutionäre Erkenntnistheorie . . . . .	192
Klassische Physik als Physik unserer Alltagswelt . . . . .	193
Mathematik als taugliche Sprache im Unvorstellbaren . . . . .	194
<b>24 Stephen Hawking: „Der große Entwurf – Eine neue Erklärung des Universums“</b> . . . . .	197
Modellabhängiger Realismus. . . . .	197
Naturphilosophie versus Naturwissenschaft . . . . .	200
Der große Entwurf . . . . .	202
<b>25 Über das Entstehen physikalischer Theorien</b> . . . . .	207
Die zwei Ebenen der Theorien. . . . .	208
Leben mit Schwierigkeiten auf der begrifflichen Ebene . . . . .	210
Lehren für die Einschätzung neuer Theorien . . . . .	213

<b>26</b>	<b>Schneller als Licht?</b> .....	217
	Die Prinzipien der Speziellen Relativitätstheorie ...	218
	Diskussionen um die Relativitätstheorie im Oktober 2011 .....	219
	Frühere Anfechtungen physikalischer Theorien. ...	221
	Lehren aus der Geschichte der Physik .....	222
<b>27</b>	<b>Strukturenrealismus und Evolution</b> .....	225
	Der Strukturenrealismus und seine Varianten .....	227
	Berücksichtigung der Evolution .....	229
<b>28</b>	<b>Nicht beim Sein, beim Sosein – da stellen sich die Fragen</b> .....	233
	Eine Liste früherer Hypothesen .....	234
	Eine kurze Geschichte der Hypothesen .....	236
	Nicht das Sein, sondern das Sosein ist das Problem .....	239
 <b>Teil IV</b>		
	<b>Auf dem Weg zum verlässlichen Wissen</b> .....	241
<b>29</b>	<b>Vom Geschichtsbewusstsein</b> .....	243
<b>30</b>	<b>Unser geschichtliches Erbe in Europa</b> .....	247
	Die neue Wissenschaft .....	248
	Die neue Art zu denken: Ergebnisoffenheit .....	249
<b>31</b>	<b>Keine Angst vor neuen Deutungsversuchen</b> .....	251
	Ein Blick in die Geschichte .....	253
	Folgen der Erkenntnis .....	254
	Keine Angst .....	255

<b>32</b>	<b>Die dritte Form der Naturforschung</b> .....	257
	Sammlungen, Faustregeln, Erfindungen.....	258
	Die drei Formen der Naturforschung heute .....	260
<b>33</b>	<b>Über das Verhältnis von Wissenschaft und Technik</b> .....	263
	Grundlagenforschung inspiriert zu technischen Erfindungen.....	265
	Technische Erfindungen inspirieren zur Grundlagenforschung .....	267
	Geplante Forschung und geplante Erfindungen ...	268
	Kurz und gut .....	270

## Teil V

	<b>Jenseits verlässlichen Wissens</b> .....	271
<b>34</b>	<b>Über einen Aspekt der Schönheit bei physikalischen Theorien und Inventionen von J. S. Bach</b> .....	273
	Schönheit in der Physik.....	273
	Schönheit in der Musik.....	274
<b>35</b>	<b>Das Heilige und das Profane</b> .....	279
	Gleichheit hinsichtlich der kulturellen Leistung ...	279
	Unterschiedlichkeit hinsichtlich der Wirkung.....	281
<b>36</b>	<b>Der „freie Wille“ eines Agenten</b> .....	285
	Der Agent .....	286
	Die reine Strategie .....	287
	Ein Agent in Gesellschaft .....	288
	Die gemischte Strategie .....	289
	Der Mensch als Agent.....	290
	Der freie Wille.....	291
<b>37</b>	<b>Zweierlei Unvorstellbares</b> .....	293

<b>38</b>	<b>Innenwelt und Außenansicht</b> .....	295
<b>39</b>	<b>Gefühle eines Physikers beim Lesen eines philosophischen Artikels</b> .....	297
	Kann man Wahrheit fühlen? .....	297
	Über den Umgang mit der Sprache .....	298
	Das anthropische Prinzip und die Evolution .....	299
<b>40</b>	<b>Was kann ein Philosoph zu einer Fachwissenschaft beitragen?</b> .....	303
	Der mereologische Fehlschluss .....	304
	Lehren aus der Geschichte der Physik .....	305
	Vorläufigkeit und Entwicklung von Begriffen .....	307
<b>41</b>	<b>Brauchen wir Gott? Gedanken zu einer Sammlung religions-kritischer Texte</b> .....	311
	Über den analytischen Zugang zur Religion .....	312
	Über den pragmatischen Zugang zur Religion .....	315
	Geborgenheit als übergeordnetes Ziel .....	317
<b>42</b>	<b>Physik aus der Gottesperspektive?</b> .....	319
	Naturwissenschaft und die „letzten Dinge“ .....	320
	Die „letzte Theorie“ versus Komplexität der Welt ..	321
<b>43</b>	<b>Gedanken zu einem Artikel von Patrick Becker: „Naturwissenschaftliches Denken als Herausforderung für den Gottesglauben“</b> .....	325
	Die Bedeutung der Kausalität .....	325
	Die Bedeutung der Evolution .....	327
	Prinzipien der naturwissenschaftlichen Methode: Nachprüfbarkeit .....	329
	Prinzipien der naturwissenschaftlichen Methode: Ergebnisoffenheit .....	330
	Wie der Herausforderung begegnen? .....	332

**XIV**      Was können wir wissen?

<b>Literatur</b> .....	335
<b>Anmerkungen zu den Kapiteln</b> .....	341
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	361

# Vorwort

Schreiben kann zu einer Droge werden, vor allem bei Menschen, denen es Spaß macht, Probleme zu lösen. Dabei liegt der Spaß beim Schreiben darin, dass man Ordnung in seinem Kopf schafft und nach einer mehrstündigen Arbeit am Schreibtisch auf einen Text blicken kann, der von der gewonnenen Klarheit zeugt. Dieses Gefühl begann ich bald zu vermissen, als ich mein Buch „*Die Entdeckung des Unvorstellbaren – Einblicke in die Physik und ihre Methode*“ fertig gestellt hatte.

So habe ich regelmäßig meine Gedanken über Physik und „was danach kommt“ zu Papier gebracht und auf meinem Blog *Die Natur der Naturwissenschaften* im Blogportal vom *Spektrum der Wissenschaft* veröffentlicht. Jeden Monat entstanden so jeweils etwa zwei Beiträge; ein breites Spektrum von Themen wurde mit der Zeit behandelt. Ich war erfreut über die große Resonanz wie auch die anregenden Kommentare und bin dankbar für die uns heute gegebene Möglichkeit, Gedanken so unkompliziert veröffentlichen zu können.

In diesem Buch lege ich nun die auf diese Weise entstandenen Beiträge vor. Sie sind jetzt nach Themengebieten sortiert, können aber unabhängig voneinander gelesen werden, so wie jeder Blogbeitrag für sich stand und ja auch stets so gelesen wurde. Daraus erklärt sich, dass bestimmte Gedanken in den Beiträgen öfter, wenn auch jeweils in einem anderen Kontext, auftauchen.

Etwas Wichtiges darf man ja ruhig, jeweils mit anderen Worten, mehrere Male sagen.

Ich danke allen, die mich beim Entstehen dieser Beiträge begleitet haben, zuallererst meiner Frau, die immer alle Artikel vor jeder Veröffentlichung im Netz auf Verständlichkeit geprüft hat. Mit meinem Kollegen Hans Mohr habe ich viele Stunden in stets angenehmer Atmosphäre über viele Details diskutiert und gestritten. Wie er haben auch Christoph Hallermann, Robert Meßmer, Nicolas Scherger und Ernst Weißer einen Vorabdruck kritisch geprüft und hilfreiche Verbesserungsvorschläge gemacht. Zahlreiche Anregungen habe ich jenen zu verdanken, die meine Beiträge bei der Veröffentlichung im Blogportal scilogs vom *Spektrum der Wissenschaft* kommentiert und kritisiert haben. Die meisten sind mir nie persönlich begegnet, ich kenne sie aber doch inzwischen so gut, dass ich mit ihnen sofort eine anregende Diskussion anzetteln könnte.

Ohne die gute Unterstützung durch den Systemadministrator des scilog-Blogportals Martin Huhn wäre der Einstieg ins Bloggen sicher nicht so problemlos gewesen, und den Chefredakteur Carsten Könneker muss man unbedingt rühmen, dass er die Idee eines Blogportals so gut umgesetzt hat.

Dass mein Vorschlag, die Blogbeiträge als Buch herauszubringen, beim Springer-Verlag gleich so interessiert aufgenommen wurde, verdanke ich der Lektorin Vera Spillner, die mir aufgrund ihrer Kompetenz in Philosophie und Physik zu einem frischen Blick auf manche meiner Ausführungen verhalf.

Zum Schluss muss ich gestehen, dass ich mit der Herausgabe dieses Buches auch ein Versprechen einlöse. Nachdem in meinem Buch *Die Entdeckung des Unvorstellbaren – Einblicke in die Physik und ihre Methode* Briefe an meine Enkelin Caroline als Einführung in die einzelnen Kapitel dienten, zeigte sich bald, dass auch meine zweite Enkelin Lotte ein Buch erwartete, in dem sie eine Rolle bei der Inspiration spielt. Das war natürlich ein Ansporn



und ich freue mich, dass ich dieses Buch nun vorlegen kann. Ich wünsche mir, dass sie es später mit Interesse lesen wird.

Emmendingen, im März 2012  
Josef Honerkamp

# Über Verlässliches und weniger Verlässliches – Physik und Metaphysik

Neulich kam ich mit einem Kollegen aus der Philosophie ins Gespräch. Er berichtete mir von dem Scheitern seines Vorhabens, eine interdisziplinäre Gruppe von Wissenschaftlern zusammenzubringen, um das Thema „Unbestimmtheit“ von allen Seiten zu beleuchten. Ich wurde hellhörig, hatte ich doch gleich die Vermutung, dass auch die Unbestimmtheit der Quanteneigenschaften eine Rolle spielen dürfte. In der Tat, aber das wäre nur eine Form der Unbestimmtheit und die Vorstellungen der potenziellen Mitglieder der Gruppe wären so unterschiedlich gewesen, dass eine fruchtbare Diskussion nicht zu erwarten gewesen wäre. Die Unbestimmtheit, die ihm auf den Nägeln brannte, wäre eine bei der Begriffsbildung, ein Problem, das eigentlich lange bekannt aber am Ende des letzten Jahrhunderts, also vor etwa 20 Jahren, wieder höchst aktuell geworden sei. Es ginge dabei um die Frage: Kann man eigentlich beim Argumentieren mit den Begriffen unseres täglichen Lebens stets die Regeln der formalen Logik anwenden, sodass man verlässlich argumentieren kann?

## **Ab wann ist eine Ansammlung von Körnern ein Haufen?**

Er konnte das Problem auch gleich an einem einfachen Beispiel erläutern: Man betrachte eine Ansammlung von Reiskörnern.

Besteht diese aus sehr vielen Körnern, spricht man von einem Haufen, bei nur wenigen aber nicht. Im Allgemeinen ist die Eigenschaft einer Ansammlung, ein Haufen zu sein, jedoch nur unbestimmt definierbar. Jeder weiß das: Es gibt Ansammlungen, die so wenig Körner enthalten, dass man wirklich nicht von einem Haufen reden kann, andererseits Ansammlungen, die man mit allem Recht einen Haufen nennen kann, aber eben auch viele Ansammlungen „dazwischen“, bei denen es eine Ermessensfrage ist, ob man ihnen das Prädikat Haufen zuerkennt. Objektiv gibt es keine scharfe Grenze zwischen Haufen und Nicht-Haufen. Jeder Versuch, mit solch einem Begriff einwandfrei logische Schlüsse zu ziehen, führt irgendwann zu Widersprüchen. Auch im Rahmen einer Mengentheorie kann man keine Menge von Haufen definieren, dazu müssten diese Elemente erst scharf definiert sein. Kurz und gut: Mit einem solchen Begriff kann man keine „harte“ Wissenschaft betreiben.

Meine erste Reaktion war: „Kein Wunder – der Begriff ‚Haufen‘ ist ja ein Konstrukt unseres menschlichen Geistes, und da kann so etwas wohl passieren. Vergessen wir doch einfach solche unbestimmten Begriffe und beschränken wir uns auf eindeutige“. Ich wurde aber schnell belehrt, dass es solche unbestimmten Begriffe in unserem Alltag, in Politik und insbesondere im Recht zuhauf gibt, z. B.: kalt, tot, Freiheit, Gerechtigkeit, Armut. Ab wann sind im Laufe der Evolution unsere Vorfahren als Menschen zu bezeichnen? Ab wann ist nach der Befruchtung einer menschlichen Eizelle von einem Menschen zu sprechen? Ist diese Farbe da noch rot oder schon gelb?

Wir helfen uns mit den Formulierungen „mehr oder weniger“, manchmal können wir wirklich ausweichen, bei dem Körnerhaufen einfach auf die Anzahl der Körner, bei der Farbe auf die Wellenlänge des reflektierten Lichtes, aber Freiheit und Menschsein kann man nicht messen. Natürlich stimmt der Spruch: „Es gibt mehr unter Himmel und Erde, als was man messen und wägen kann.“

Ich war verblüfft, hatte aber das angenehme Gefühl, das man immer hat, wenn etwas plötzlich ins helle Bewusstsein gerät, was man schon immer irgendwie gewusst hat. Nur die Verzweiflung meines Kollegen aus der Philosophie angesichts dieser Sachlage konnte ich noch nicht nachfühlen und bat deshalb um etwas „Geschriebenes“. Das schickte er mir und ich konnte in einem ausführlichen, sehr klar und verständlich geschriebenen Artikel (Kemmerling, 2012) noch einmal nachlesen, warum dieses Problem für manche Philosophen so bedeutend ist, welche Ansätze es gibt, das Problem zu lösen, warum diese alle untauglich sind, und ich verstand nun auch die Bestürzung, die sich in seinen Worten so ausgedrückt: „Die theoretische Philosophie muss zum einen fürchten, kaum noch Gegenstände zu finden, die für sie theoriefähig sind; zum andern sieht es so aus, als gingen selbst die profundesten verfügbaren Beiträge zu einer Rationalitätstheorie an fast der Gesamtheit dessen vorbei, was vernünftiges menschliches Denken ausmacht.“

## Die mathematische Methode als Ideal

Eindeutige Begriffe möchte man haben, mit denen man logisch formal einwandfrei und eindeutig argumentieren kann – dieses Ideal sieht man am besten verwirklicht in der Mathematik. Wenn ich an meine Mathematik-Vorlesungen zurück denke, habe ich noch deutlich vor Augen, wie neue Begriffe mit großer Akribie „zurecht geschnitzt“ wurden, damit sie eindeutig wurden und tauglich für stringentes Schließen. So entstanden logisch in sich konsistente Theoriengebäude, eine Gruppentheorie z. B. oder eine Garbentheorie; und ich erinnere mich noch gerne daran, wie ich meiner späteren Frau, damals noch Medizinstudentin, mit einem Lehrbuch über eine Theorie der Verbände zu imponieren versuchte.

Euklid und andere Philosophen der Antike hatten entdeckt, dass man etwas „beweisen“ kann. Etwa 2 000 Jahre schlummerte dieses Wissen, überdeckt von der Aristotelischen Philosophie. Erst Galilei revoltierte gegen deren Übermacht und zeigte als Erster, zu welchen Einsichten der Gebrauch der Mathematik bei der Beobachtung der Natur führen kann. Er trat damit eine beispiellose Entwicklung los, unsere moderne westliche Welt mit all ihren wissenschaftlichen und technischen Errungenschaften ist eine Frucht dieser „neuen Wissenschaft“ Galileis. In Floris Cohens Buch *Die zweite Erschaffung der Welt – Wie die moderne Naturwissenschaft entstand* (Cohen, 2010) ist dieses ausführlich beschrieben. Wie man nur mit Fäden, die nicht reißen, ein immer größeres Netz weben kann, ergibt sich ein stabiles und kohärentes Wissenschaftsgebäude auch nur mit Argumentationssträngen, die unzweifelhaft richtig sind. In dem Beitrag „Die Sprache der Physik“ (Kapitel 27) beschreibe ich, wie diese Sprache, die Mathematik nämlich, nicht nur für die Belastbarkeit der Begründungen sorgt, sondern auch noch Inspiration für neue Hypothesen bieten kann und uns zudem noch befähigt, über unsere Anschauungsfähigkeit hinaus sicher zu argumentieren.

Die Unanfechtbarkeit mathematischer Begründungen hatte sich seit dem frühneuzeitlichen Rationalismus herumgesprochen, auch wenn viele sie nicht immer explizit nachempfinden konnten. So versuchte Baruch Spinoza eine Ethik *more geometrico* zu entwickeln. Christian Wolff habilitierte sich Anfang des 18. Jahrhunderts mit einer Arbeit *de philosophia practica universali methodo mathematica conscripta* und Johann Gustav Reinbeck erhielt den Auftrag, die Einfachheit der Seele *methodo mathematica* (FAZ vom 25.1.2012, S. N4) nachzuweisen. Matthias Jacob Schleiden glaubte, dass man mit Kants „kritischer Methode“ ebenso „consequent und sicher“ wie in der Naturwissenschaft von den „unmittelbar wahrgenommenen Tatsachen der inneren Erfahrung zu den metaphysischen Grundsätzen, die auch die Naturwissenschaften beherrschen“, gelangen kann und auch „zu den Ideen

wie ‚Seele, Freiheit, Gott‘, die über alle Naturwissenschaften hinausgreifen.“ Der einzige wirkliche Schüler und Nachfolger Kants sei Jacob Friedrich Fries, „gerade wie sein Lehrer, gebildet durch mathematisch-astronomische und naturwissenschaftliche Vorstudien“, habe dieser aber erst in „logisch consequenter Entwicklung“ die Theorie zu den von Kant gefundenen Gesetzen geliefert, „und zwar in solcher Vollendung, dass sein ebenfalls mathematisch-astronomisch gebildeter Schüler Apelt nur noch wenig hinzuzufügen und zu verbessern hatte“ (Schleiden, 1863).

## Entwicklung physikalischer Begriffe

Alle diese Vorhaben sind natürlich gescheitert. Man kann aber gut verstehen, dass manche Philosophen immer noch davon träumen, eine solche Stringenz in der Argumentation z. B. auch in Fragen des Rechts oder der Ethik zu erhalten. Ich meine aber, der Traum ist unerfüllbar. Wenn man sich nur einen Schritt weit von der Mathematik entfernt und betrachtet, wie in der Physik Begriffe entstehen, ahnt man dieses schon. Die Begriffe für grundlegende Objekte können gar nicht explizit und damit so eindeutig und erschöpfend definiert werden, wie es z. B. für ein Dreieck in der Geometrie möglich ist. Denn bei solchen Definitionen können ja nur Bezüge zu etwas Bekanntem hergestellt werden und so bleibt man in der Welt seiner Erfahrungen und Vorstellungen gefangen. Begriffe wie Quant oder elektromagnetisches Feld wären so nie entstanden. In der Natur gibt es zu jeder Zeit mehr als „wir uns gedacht haben“ und so werden wir dort mit neuen Objekten und Phänomenen konfrontiert. Wir können zunächst nur darauf zeigen, sie benennen, beschreiben und versuchen, von dem, was wir so und so benennen, einen Begriff zu bekommen. Dann steht der Begriff nicht ein für alle Mal fest wie bei einer expliziten Definition, weitere Erfahrungen führen meistens dazu, dass ein Begriff sich langsam wandelt, wie man es z. B. am Begriff Materie

gut studieren kann (s. Kapitel 7 „Wandlungen des Materiebegriffs“). Und letztlich können wir nur sagen, welche Entitäten wir unter diesem Begriff subsumieren und wie sich diese in allen möglichen Umständen verhalten. Die ontologische Frage „Was ist Materie eigentlich“ geht ins Leere. Wie sollten wir denn sagen können, was ein Quant ist? Unser Repertoire von Begriffen und Vorstellungen aus der Welt der mittleren Dimensionen, das uns im Rahmen der Evolution zugewachsen ist und uns für verbale Formulierungen zur Verfügung steht, hilft da nicht weiter. Daher kommt z. B. die Redeweise, dass wir die Quantenmechanik nicht mehr verstehen. Wir verstehen sie sehr wohl – nur nicht in Begriffen unserer Lebenswelt; und wir verstehen vorzüglich, damit umzugehen. Die Entwicklung der Quantentechnologie zeigt das beeindruckend.

## **Nur bei Relationen sind stringente Schlüsse zu erwarten**

Es ist somit nicht die Ebene der Begriffe, die physikalischen Aussagen ihre Eindeutigkeit verleiht und den Argumenten die logische Stringenz. Es ist der Umstand, dass man sich mit Relationen zwischen quantitativ fassbaren Eigenschaften von Objekten beschäftigt wie z. B. Masse, Geschwindigkeit oder Temperatur. Die Begriffe für solche Eigenschaften werden letztlich durch Messvorschriften eingeführt. Das sind zwar auch „Konstrukte menschlichen Geistes“, aber von der Wirkung auf uns Menschen wird dabei völlig abgesehen. Nur so können objektive, d. h. von allen Menschen nachprüfbar Regularitäten in Beziehungen der Eigenschaften und in ihren Veränderungen bei äußeren Einflüssen aufgedeckt werden. Auf dieser Ebene wird erst logische Stringenz möglich – dadurch, dass man diese Beziehungen in mathematische Relationen und Gesetze fasst. Und diese sind nicht unabhängig voneinander, sondern fügen sich zu einer Theorie

zusammen, an deren Spitze ein Prinzip oder ein einziges Gesetz steht, aus dem alle anderen abgeleitet werden können.

Wie wichtig die mathematische Sprache für die Stringenz der Argumentation ist, sieht man deutlich, wenn man physikalische Aussagen in die Alltagssprache übersetzen will. Jeder Physiker, der allgemein verständliche Vorträge halten oder für ein breiteres Publikum über Physik schreiben will, kann ein Lied davon singen. Man braucht sogar nur Physikern zuzuhören, die über Ergebnisse der Physik und ihre Folgen diskutieren. Mögen sie sich auch über das Resultat, wie es in mathematischen Formeln auf dem Papier steht, völlig einig sein, können sie doch ganz unterschiedlich darüber reden und sich um die richtige Interpretation und Bedeutung streiten. Kein Wunder also, dass eine reine Naturphilosophie ohne ein mathematisch formuliertes Gerüst im Rücken keine nachhaltigen Ergebnisse erzielt.

Aus diesem Grund greift auch die Mathematisierung der Wissenschaften immer weiter um sich. Ohne eine Referenz dieser Art, d. h. eine Möglichkeit, sich auf die formal logische Ebene stets zurückziehen zu können, ist kein verlässliches Wissen zu erreichen. Eine Wissenschaft *methodo mathematica* ist nicht ohne die Sprache der Mathematik zu haben. Das ist der Grund für das Scheitern der oben geschilderten Versuche.

Das bedeutet auch: Verlässt man diese Ebene, so hat man es auch mit den Begriffen außerhalb dieser Ebene zu tun, muss also auch mit ihrer Vagheit leben und argumentieren. Sind sich die Physiker somit im Weltbild, in der Welt-Anschauung noch weitest gehend einig, kann es bei der Weltanschauung jedoch große Unterschiede geben. Auch für Physiker und Physikerinnen gibt es natürlich einen Bereich, in dem er von bestimmten metaphysischen Vorstellungen und nicht nachprüfbaren Annahmen ausgehen muss.

In der Physik, wohl als „härteste“ Wissenschaft bekannt, ist diese „Härte“ also auch nur auf der Ebene der Relationen und Strukturen vorhanden. Jede Übersetzung in unsere Alltagsspra-



che ist auf vage Begriffe angewiesen, bei jeder Frage danach, was denn Materie oder Zeit eigentlich ist, kommt man ins Stottern oder kann nur bedächtig das Haupt wiegen.

Wenn man also schon in der Physik auf der Ebene der Alltagssprache nicht immer logisch konsequente Schlussfolgerungen ziehen kann, ist das für Gebiete, in denen die ganze Ebene der nachprüfbaren Relationen fehlt, schon gar nicht zu erwarten. Deshalb die große Vielfalt der philosophischen Positionen, in denen sich ja oft nur eine persönliche Biografie widerspiegelt, die einem gerade etwas evident erscheinen lässt, was für einen anderen unmöglich klingt. So kommen Urteile „unrettbar falsch“ oder „naiv“ für das Werk des anderen zustande, und Ludwig Feuerbach (Feuerbach, 1850) beschreibt die Situation seiner Zeit drastisch so: „Was gehört dazu, einen Philosophen zu widerlegen? Nichts weiter als ein Professor der Philosophie...“ Heute gibt es allerdings Stimmen, die erst gar nicht nach letztgültigen Begründungen für Aussagen suchen, sondern die kritische Prüfung im Hinblick auf mögliche Verbesserungen zum Programm erhoben haben (Popper 1989, Albert, 1992).

## **Gliederung der Beiträge dieses Buches**

Wenn es also so wenig verlässliches Wissen gibt, dann ist es interessant, diese Welt des verlässlichen Wissens kennenzulernen. Immerhin pflegt ein Großteil der Wissenschaftler dieses Wissen und entwickelt es weiter, es ist auch Grundlage für Wirtschaft und Technik unserer modernen Welt. Aber auch eine Reise an ihre Grenzen und sogar darüber hinaus ins weniger Verlässliche ist lohnend, denn die Frage stellt sich doch, wie denn ein Wissen um das Verlässliche sich auf das Verhalten gegenüber den Fragen, die nicht verlässlich zu beantworten sind, auswirkt.

Der Leser möge mir verzeihen, dass ich beim Verlässlichen nur Themen aus der Physik behandle. Als Physiker kann ich nur da-

rüber halbwegs kompetent reden. Natürlich schließe ich in dieses Gebiet des verlässlichen Wissens alle Fächer ein, die überprüfbares Wissen generieren.

So handeln die ersten beiden großen Teile von Begriffen der Physik, die in der Geschichte der Physik einen großen Einfluss gehabt haben. Es sind Themen, die auch heute viele bewegen, und zumindest das, was man verlässlich zu diesen sagen kann, möchte man heute doch zur Allgemeinbildung zählen. Ich habe versucht, mich von allen Spekulationen frei zu halten, die heutzutage bei vielen Sachbüchern dazu dienen sollen, deren Attraktivität zu erhöhen.

Im dritten Teil wird beleuchtet, wie denn solches Wissen überhaupt zustande kommen konnte. Es wird die Rolle der Mathematik etwas genauer untersucht und aufgezeigt, wie physikalische Theorien entstehen, sich bewähren und wandeln können. Dieser Abschnitt ist das eigentliche Herzstück des Buches. Hiermit soll der Leser einen Einblick in die Natur der Physik und die naturwissenschaftliche Methode bekommen und verstehen, dass diese Denkweise auch zu einer kritischen Haltung auch in allen metaphysischen Fragen führen kann. In der Position des „kritischen Rationalismus“ wird diese m. E. sehr treffend beschrieben.

Im vierten Teil findet man einige Überlegungen, wie denn die Entstehung dieses verlässlichen Wissens in unserer Gesellschaft thematisiert und genutzt wird. Die Bedeutung der Wissenschaftsgeschichte und das Verhältnis von Wissenschaft und Technik werden dort angesprochen.

Der fünfte und letzte Teil soll eine Kostprobe abgeben dafür, wie sich ein Physiker, der jahrzehntelang im Bereich verlässlichen Wissens gearbeitet und gelehrt hat, im Bereich des nicht verlässlich Wissbaren verhalten kann. Ich gebe damit natürlich nur meine persönlichen Ansichten preis, meine aber, dass diese auch ein wenig repräsentativ für viele Naturwissenschaftler sind.

Die Beiträge sind alle in einer gänzlich anderen Reihenfolge entstanden als wie sie hier erscheinen. Dass ich sie für dieses Buch

in eine so schlüssige Reihe bringen konnte, verwunderte mich zunächst selbst, erinnerte mich aber wieder daran, dass der Mensch fähig ist, in allem immer gewisse Strukturen zu erkennen. Bei der Sammlung dieser Beiträge sind sie sogar wirklich vorhanden.

Ich habe irgendwo gelesen, einen guten Roman solle man mit einem Erdbeben beginnen und dann die Dramatik langsam steigern. Etwas Ähnliches kann auch für ein Buch dieser Art nicht ganz falsch sein. Deshalb fange ich nach dieser Einleitung mit dem Thema „Urknall“ an. Da dann keine weitere Steigerung im Äußeren möglich ist, kann man sich ganz auf das geistige Abenteuer konzentrieren, das uns Nachdenklichkeit und Wissenschaft beschert.

# Teil I

**Physik: Verlässliches über  
Raumzeit und Quanten**



# 1

## Was ist der Urknall eigentlich?

Die Frage nach der Entstehung der Welt ist wohl die grundsätzlichsste Frage, die Wesen stellen können, die im Laufe einer Evolution Bewusstsein und eine Vorstellung von der Welt erlangt haben. Entstehung und Vergehen beobachten sie am eigenen Leib, offensichtlich muss es so etwas auch für die Welt geben. Aber vielleicht ist das überhaupt keine gute Parallele, zu stark geprägt von unseren menschlichen Erfahrungen und Vorstellungen.

Zuerst sollte man in dem Zusammenhang besser eine andere Frage stellen: Wie sah das Universum früher aus, wie hat es sich entwickelt? Insbesondere, zu welchen Schlüssen kann man kommen, wenn man die Entwicklung auf der Basis physikalischer Gesetze zu bestimmen versucht?

Der Begriff des Urknalls führt stets zu großer Verwirrung. Zunächst als Beschreibung einer sehr frühen Phase des Universums eingeführt, mutierte er in den Köpfen aller, die sich nicht so genau mit der entsprechenden kosmologischen Theorie – aufbauend auf der Allgemeinen Relativitätstheorie – auseinander setzen konnten, zu einem Anfang der Welt und stets kam die Frage auf: Und was war vorher? Was war der Grund für diesen Anfang? Ja, selbst die Eingeweihten waren oft nicht ganz frei von Spekulationslust. Dabei markiert dieser Zustand des Universums, der als Urknall bezeichnet wird, nur eine Grenze der Gültigkeit einer Theorie. Die Allgemeine Relativitätstheorie, die sehr erfolgreich