

Jan Cornelius Schmidt
Instabilität in Natur und Wissenschaft



Quellen und Studien zur Philosophie

Herausgegeben von
Jens Halfwassen, Dominik Perler,
Michael Quante

Band 81

Walter de Gruyter · Berlin · New York

Instabilität
in Natur und
Wissenschaft

Eine Wissenschaftsphilosophie
der nachmodernen Physik

von

Jan Cornelius Schmidt

Walter de Gruyter · Berlin · New York

⊗ Gedruckt auf säurefreiem Papier,
das die US-ANSI-Norm über Haltbarkeit erfüllt.

ISBN 978-3-11-019565-1

ISSN 0344-8142

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

© Copyright 2008 by Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, D-10785 Berlin

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung
außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages
unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikro-
verfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Printed in Germany

Einbandgestaltung: Christopher Schneider, Berlin
Druck und buchbinderische Verarbeitung: Hubert & Co., Göttingen

Meinen Eltern

Vorwort und Dank

Dass Natur nicht nur stabil und statisch, sondern auch instabil und dynamisch ist, hat die Physik in den letzten 40 Jahren zeigen können. Instabilitäten gelten als produktive und kreative Quellen des Werdens und Wachsens. Von Chaos und Komplexität, von Zeitlichkeit und Zufall, von Selbstorganisation ist vielfach die Rede.

Diese Stichworte kennzeichnen *nicht nur* die neuere, die nachmoderne Physik. *Vielmehr* charakterisieren sie *auch* reflexiv und reflektierend die Entstehungsgeschichte des vorliegenden Buches. Das Buch handelt nicht nur von Instabilität, es ist selbst ein Produkt von Instabilität, von instabilen Prozessen. Denn Kreativität ist ohne Instabilität unmöglich. Das wusste offenbar auch Friedrich Nietzsche, als er sagte: Man muss noch Chaos und Instabilität in sich haben, um einen tanzenden Stern gebären zu können.

Doch die Produktivität der Instabilität ist mit einer Problematik verknüpft: Instabilität ist ein Tanz auf des Messers Schneide, eine Gratwanderung zwischen erstarrender Ordnung und ekstatischer Unordnung. Das rechte Maß an Instabilität gilt es, haushälterisch zu pflegen. Geeignete Rahmen- und Randbedingungen sind notwendig.

So geht mein besonders herzlicher Dank an Gernot Böhme (Darmstadt), der nicht nur die Rahmen- und Randbedingungen positiv gestaltet hat, sondern auch meinen Weg als Physiker in die Philosophie ebnete. Ohne das von ihm initiierte DFG-Projekt „Chaosfähige Natur in der nachmodernen Physik“ (Laufzeit: 2000–2002) hätte das vorliegende Buch sowie die diesem zugrundeliegende Habilitationsschrift (Frühjahr 2006, TU Darmstadt) nicht entstehen können. Einige grundlegende Thesen dieses Buches sind in intensiven Gesprächen mit Gernot Böhme entstanden.

In vergleichbarem Maße gilt mein Dank Alfred Nordmann (Darmstadt), der durch ein freundschaftliches Klima sowie kritische Rückmeldungen die Entstehung und Entwicklung der Habilitationsschrift gefördert hat.

Für die Unterstützung im Habilitationsverfahren sowie für die Begutachtung der Schrift möchte ich Barbara Drossel (Physik, Darmstadt)

und Klaus Mainzer (Informatik/Philosophie, Augsburg) ganz herzlich danken.

Für wertvolle Anregungen und weiterführende Gespräche danke ich Peter Beckmann, Peter Euler, Richard Finckh, Franz Fujara, Gerhard Gamm, Petra Gehring, Armin Grunwald, Michael Hoffmann, Bernd-Olaf Küppers, Wolfgang Liebert, Klaus Michael Meyer-Abich, Bryan Norton, Gregor Schiemann, Gerhard Stärk, Berthold Suchan und Gerhard Vollmer.

Zu Dank verpflichtet bin ich ferner den Institutionen, an denen ich während der letzten Jahre tätig war, sowie den dortigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern: (1) an der TU Darmstadt dem Institut für Philosophie, dem Zentrum für Interdisziplinäre Technikforschung (ZIT) sowie der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit (IANUS) und (2) am Georgia Institute of Technology der School of Public Policy.

Für finanzielle Unterstützung sei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Projekt: BO 367/15–1) sowie dem Zentrum für Interdisziplinäre Technikforschung, TU Darmstadt, gedankt.

Bei den Reihenherausgebern möchte ich mich bedanken, dass sie die vorliegende Arbeit positiv begutachtet und in ihre Reihe aufgenommen haben. Herzlicher Dank geht auch an den DeGruyter Verlag, allen voran an Frau Dr. Grünkorn, an Frau Hill und an Herrn Schirmer.

Last but not least möchte ich meiner Lebensgefährtin Ellen Anthes und meinen Eltern, Elke Schmidt-Rininsland und Dr. Wolf-Rüdiger Schmidt danken. Sie haben den Prozess der Erarbeitung dieses Buches geduldig unterstützt und waren nachsichtig, wenn ich mich zurückgezogen habe.

Georgia Institute of Technology
Atlanta/Metz, im März 2008

Jan C. Schmidt

Inhalt

1. Einführung – <i>Wege durch den Wandel der Wissenschaften</i>	1
1.1. Nachmoderne Physik – Zur These des Buches	1
1.2. Epochenbruch der Physik? – Methodische Vorbemerkungen	4
1.3. Programmatisches – eine eingreifende Wissenschaftsphilosophie?	9
1.4. Aufbau des Buches – Zur Gliederung	12

Teil I: Klassisch-moderne Physik

2. Klassisch-moderne Physik – <i>Skizze des Referenzsystems</i>	19
2.1. Zur Terminologie: Klassische und moderne Physik	19
2.2. Zur Merkmalstypologie der klassisch-modernen Physik	21
2.3. Prognostizierbarkeit – ein erstes Merkmal	26
2.4. Reproduzierbarkeit – ein zweites Merkmal	36
2.5. Prüfbarkeit – ein drittes Merkmal	48
2.6. Reduzierbarkeit, Vereinheitlichung, Erklärbarkeit – ein viertes Merkmal	60
2.7. Fazit	73

Teil II: Instabilitäten

3. Systematische Aspekte der Instabilitäten – <i>Zur Problematisierung der klassisch-modernen Physik (I)</i>	77
3.1. Verkannte Instabilitäten	77
3.2. Instabilitäten – Zum Kern der Phänomene	82
3.3. Instabilitäts-Typen	90
3.4. Problematisierung der klassisch-modernen Physik – Systematisches	108
4. Wissenschaftshistorische Wege der Instabilitäten – <i>Zur Problematisierung der klassisch-modernen Physik (II)</i>	136
4.1. Geschichtliche Phasen der Reflexion	136

4.2. Fraglos: Stabilität, Regelmäßigkeit, Ordnung, Zeitlosigkeit	138
4.3. Fragwürdig: Instabilitäts-Ahnungen	155
4.4. Faktisch: Wissenschaftshistorische Beispiele	177
4.5. Festhalten oder festlegen? Stabilität zwischen Dogma und Konvention	204
4.6. Folgen: Stabilität und Instabilität in einem neuen Verhältnis	216

Teil III: Nachmoderne Physik

5. Über Genese und Geltung – <i>Wissenschaftstheoretische Erweiterung zur nachmodernen Physik</i>	225
5.1. Einleitung: Jenseits der Strukturwissenschaften	225
5.2. Reflexivität und Anforderungen an „gute“ Gesetze und Modelle	227
5.3. Qualitative Prüfungen und Kontexttests	233
5.4. Modelle und Erklärungen	244
5.5. Approximationsnumerik und Schattenberechnungen	261
5.6. Computerexperimente, Simulationen und Laborversuche	269
5.7. Fazit	280
6. Über Natur, Welt und Wirklichkeit – <i>Wissenschaftsinhaltliche Erweiterung zur nachmodernen Physik</i>	281
6.1. Selbstorganisation, Materie und Zeit	281
6.2. Kausalität und Zufall	315
7. Über Zugänge und Ziele – <i>Wissenschaftsprogrammatische Erweiterung zur nachmodernen Physik</i>	341
7.1. Zugänge: Nachmoderne Physik	341
7.2. ... als phänomenologisch-morphologische Physik	348
7.3. ... als ChaosTechnoscience und Econophysics	365
7.4. ... und die interdisziplinäre Öffnung der Physik	384
8. Resümee	389
8.1. Nachmoderne Physik – und mögliche Einwände dagegen	389
8.2. Der Weg zu einem erweiterten Physik- und Naturverständnis	397

Anhang	401
A.1. Stabilität und Instabilität – einige mathematische Details .	401
A.2. Der Begriff „Chaos“ – hermeneutische Elemente in der nachmodernen Physik	407
Literatur	423

1. Einführung

Wege durch den Wandel der Wissenschaften

1.1. Nachmoderne Physik – Zur These des Buches

Dass nicht nur in Stabilität, sondern auch in Instabilität ein Charakterkern von Natur liegt, hat die Physik in den letzten 40 Jahren zeigen können. Instabilität gilt inzwischen als Bedingung der Möglichkeit von Selbstorganisation, von Zeitlichkeit und Dynamik – und auch als Vermittler von Mikroeigenschaften und Makrophänomenen: Natur wird als Natur bestimmbar, insofern sie instabilitätsfähig ist. Instabilitäten werden von der Physik expliziert, problematisiert und positiviert. Ein instabilitätsbasierter Wandel erreicht die Physik, so die zentrale These des vorliegenden Buches. Der Wandel betrifft nicht nur das physikalische Natur-, sondern insbesondere das Wissenschaftsverständnis, also das, was Physik ist *und* sein kann. Damit könnte er tiefgreifender sein als der Wandel durch Relativitäts- und Quantentheorien mit ihrem Bezug auf die Natur des abstrakten Makro- und Mikrokosmos.

Im Folgenden wird versucht, diesen Wandel des Natur- *und* Wissenschaftsverständnisses in der neueren Geschichte der Physik zu charakterisieren.¹ Dass die Physik im 16. Jahrhundert methodologisch auf ein Gleis gesetzt wurde, mag zwar zutreffen. Dass damit ein *spezifisches* Physik- und Wissenschaftsverständnis ein für allemal zementiert worden wäre, erscheint fragwürdig. Mit der Entdeckung und *Anerkennung* von Instabilitäten in Natur, Technik und Gesellschaft² – verbunden mit der sukzessiven Computer-Technologisierung von physikalischem Erkenntnishandeln und der neuen Rolle digitaler Visualisierungstechniken – treten Modifikationen im Physikverständnis hervor. Von Chaos, Komplexität und Selbstorganisation ist vielfach die Rede. Eine „nachmoderne

1 Instabilität ist allerdings bislang kein Terminus, der einer eigenen wissenschaftsphilosophischen Erörterung wert gewesen wäre. Seit Duhem (1978, 186) vor über 80 Jahren „das Problem der Stabilität [... als] eine Frage ohne jeden Sinn“ metaphysikkritisch etikettierte, hat sich in der Philosophie wenig getan.

2 Diskussionspunkte in den 1980er und 1990er Jahren, siehe u.a. Mainzer (1996a), Leiber (1996a/b), Küppers (1987), Küppers (1996), Kanitscheider (1993) und Hedrich (1994).

Physik“, wie sie genannt werden könnte, zeigt sich: Eine neue Physik *emergiert*, ohne alles Alte hinter sich zu lassen.³ Das herkömmliche, das „klassisch-moderne“ Physikverständnis wird nicht verabschiedet, wohl aber problematisiert und pluralisiert, ergänzt und erweitert. Physik umfasst heute, wie gezeigt wird, klassisch-moderne *und* nachmoderne Physik gleichermaßen.

Mit *nachmoderner* Physik ist *nicht nur* die Physik bezeichnet, die zeitlich *nach* der modernen Physik entstand, nach jener Physik also, die im Gefolge von Relativitätstheorien, Quantenmechanik und Quantenfeldtheorien steht. *Vielmehr* wird in den folgenden Ausführungen eine qualitativ epochale Erweiterung im Wissenschaftsverständnis beschrieben, wobei klassische und moderne Physik untereinander weit mehr Gemeinsamkeiten aufweisen als beide mit der nachmodernen Physik. Die nachmoderne Physik verdrängt die moderne Physik nicht. Diese besteht weiterhin; sie ist nach wie vor erfolgreich und keineswegs abgeschlossen. Dass wir durch einen derartigen Wandel, so Karl R. Popper in anderem Zusammenhang, „nicht nur [auf] neue und ungelöste Probleme [stoßen], sondern [auch ...] entdecken, daß dort, wo wir auf festem und sicherem Boden zu stehen glaubten, in Wahrheit alles unsicher und im Schwanken begriffen ist“, gilt heute mehr denn je (Popper 1989, 103). Der stabile Boden der klassisch-modernen Physik stellt sich rückblickend als eine wissenschaftshistorisch glückliche Ausnahme spezieller Objektsysteme der Natur dar.

Die nachmoderne Physik endogenisiert Instabilitäten und trägt damit zur Explikation des vormals Impliziten und Äußerlichen bei, mithin zu einer erweiterten wissenschaftsphilosophischen Reflexivität der Physik. Die epochale Erweiterung der Physik wird im Folgenden anhand der Etablierung der Theorien dynamischer Systeme, der Physik komplexer Systeme, der Nichtlinearen Dynamik und Chaostheorie zu belegen sein.⁴ Zur nachmodernen Physik sind ferner Selbstorganisations- und Komplexitätstheorien zu zählen, etwa die dissipative Strukturbildung, Synergetik, fraktale Geometrie und Katastrophentheorie. Die Vielfalt dieser

3 Hier liegt im Wissenschaftsverständnis selbst ein Instabilitätspunkt vor, ein Bruch und Kippunkt.

4 Damit wird B.-O. Küppers (1992, 10) nicht gefolgt, insofern er herausstellt: Die „konzeptionelle Neuorientierung der Naturwissenschaften [nahm] ihren Ausgang von der physikalisch orientierten Biologie.“ Statt dessen wird in wissenschaftsgeschichtlicher Hinsicht der Ausgangspunkt in der Physik lokalisiert.

Theorien lässt die nachmoderne Physik zunächst heterogen erscheinen.⁵ Doch unübersehbar ist ein gemeinsames Band: das der Instabilitäten in Natur und Technik sowie in mathematischen Modellen. Nichtlinearität stellt eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung dar; Nichtlinearität ist zu wenig, wenn es um die trennscharfe Diagnose eines epistemischen Wandels im Wissenschaftsverständnis geht. Aus Instabilitäten hingegen folgt all das, was für die nachmoderne Physik inhaltlich kennzeichnend ist: Sensitivität, Chaos, Kippunkte, Kritikalitäten, Bifurkationen, Symmetriebrüche, Phasenübergänge, Schmetterlingseffekte; ferner: Fraktalität, Zeitlichkeit, Informationserzeugung, Emergenz, Selbstorganisation, Komplexität, schwache Kausalität. Wo Instabilitäten dominieren, steht es – um es in der Alltagssprache auszudrücken – „auf des Messers Schneide“. Das ist jedoch nicht nur negativ zu konnotieren. Denn ohne Instabilitäten gäbe es kein Wachstum und kein Werden; durch Instabilitäten kann Neues entstehen.

Die nachmoderne Physik ist eine Physik der Instabilitäten. Sie stellt eine erweiterte, aber auch geltungsrelativierte Physik dar. – Die Erweiterung zeigt sich (a) zunächst in der Gegenstandsextension. Einige Gegenstände, welche bisher nicht materiell-objektseitig zur Physik gezählt wurden, werden im erweiterten Horizont der nachmodernen Physik zugänglich. Es werden Gegenstände als „physikalisch“ zu bezeichnen sein, obwohl sie nicht im engeren Sinne primär „physisch“, materiell-energetisch sind. Von einem klassischen „Physikalismus“ kann allerdings keine Rede sein (vgl. Mainzer 1996a, 1).⁶ – Denn es vollzieht sich (b) eine Pluralisierung in Zugang, Genese und Geltung physikalischen Wissens. Die Pluralisierung umfasst eine innerphysikalische Anerkennung vielfältiger wissenschaftlicher Standards, welche bislang nicht für die Physik kennzeichnend waren: Dies führt zu einer einzigartigen Geltungsrelativierung. Das durch die klassisch-moderne Physik geprägte Wissenschaftsverständnis wird von der nachmodernen Physik nicht nur pluralisiert, sondern auch problematisiert. Das betrifft implizite Annahmen, wie etwa: Prognostizierbarkeit, experimentelle Reproduzierbarkeit, em-

5 Offen ist durchaus, ob und in welchem Sinne überhaupt von „Theorie(n)“ gesprochen werden kann.

6 Schließlich sind instabile komplexe Phänomene „not reduced to the microscopic level of atoms [or ...] molecules“ (Mainzer 1996a, 1). Eine neue Runde eines Expansionismus oder „Imperialismus der Physik“ (Cartwright 1999, 1) steht nicht bevor.

pirische Prüfbarkeit, deduktive Reduzier- und Erklärbarkeit. So treten erkenntnistheoretische Grenzen hervor.

Eine so verstandene nachmoderne Physik ist strukturwissenschaftlich-interdisziplinär ausgerichtet. Sie ist für alle mathematischen Wissenschaften von Bedeutung, von den Wirtschaftswissenschaften bis zur Biologie (Kapitel 5 und 7). Die nachmoderne Physik ist sowohl natur- als auch technik- und gesellschaftsbezogener als die klassisch-moderne Physik. Insbesondere avanciert die mesokosmische Natur, die Natur der mittleren Größenordnung mit ihren spezifischen Mustern und Strukturen, in Teilbereichen der nachmodernen Physik zu einem erkenntnisrelevanten Gegenstandsfeld. Es zeigt sich, dass strukturelle Isomorphien verschiedener Größenskalen erkenntnisgenerierend sind und modifizierte Erklärungstypen aufweisen. Folglich liegen in der nachmodernen Physik Problematisierungen *und* Perspektiven nahe beieinander; Physikkritik und Physikpotenziale durchdringen einander.

1.2. Epochenbruch der Physik? – Methodische Vorbemerkungen

An Etiketten für Epochenbrüche mangelt es nicht. Von „New Physics“, „New Science“ und „postmoderner Physik“ war vielfach die Rede.⁷ Wegweisende wissenschaftsphilosophische Arbeiten sind in diesem Zusammenhang publiziert worden, an welche partiell angeschlossen werden kann.⁸ Doch selten wurde das Wissenschaftsverständnis der Physik ex-

7 Siehe allgemeiner Davies (1989) und Gleick (1987) sowie spezieller Kanitscheider (1993) und Kellert (1994). Insbesondere findet sich bei Kanitscheider der Begriff der „postmodernen Physik“ (ebd., 164). Prigogine und Stengers (1990, 221) sprechen von einer „Erneuerung der zeitgenössischen Wissenschaft“.

8 Angeschlossen werden kann insbesondere an Mainzer (1996a), Kanitscheider (1993), Küppers (1987), Leiber (1996) sowie allg. zum Epochenbruch: Schiemann (1997b). Die sich in den späten 1960er und frühen 1970er Jahren entwickelnden Selbstorganisationstheorien sind Wegbereiter der Instabilitätsthematik, siehe neben anderen Prigogine (1992), Prigogine/Stengers (1990), Prigogine (1995), Haken (1980), Haken (1987), Haken/Wunderlin (1994), Haken (1995). Allgemeine Interpretationen und Entwürfe finden sich in den 1970er Jahren bei Jantsch (1988) und wenig später neben anderen bei: Küppers (1986), Dress et al. (1986), Küppers (1987), Ebeling et al. (1990), Krohn/Küppers (1992), Krohn/Krug/Küppers (1992), Kanitscheider (1993), Mainzer (1996a), Hedrich (1994), Ebeling/Feistel (1994), Vollmer (1995), Mainzer (1997a), Leiber (1996a), Leiber

plizit in den Blick genommen.⁹ „Um die Bedeutung [...] der neuesten Ergebnisse der Naturwissenschaften verstehen zu können“, meint Hartmut v. Hentig treffend, „muß man vor allem die Naturwissenschaft selbst verstehen, verstehen, was *sie* will und tut, kann und nicht kann.“ (Hentig 1999, 14) Jean-François Lyotard hat weitergefragt und ein Kapitel seines Buches *Das postmoderne Wissen* wegweisend betitelt: „Die postmoderne Wissenschaft als Erforschung der Instabilitäten“ (Lyotard 1986, 157 ff). Doch Lyotards ahnende Ausführungen haben die *Scientific Community* der Wissenschaftsphilosophen – und auch die der Physiker – wegen begrifflicher Verwirrungen und unsystematischer Verirrungen nicht erreicht.¹⁰ Eine belastbare epistemologische Bruch- und Erweiterungsthese findet man bei Lyotard nicht, insbesondere keine Rekonstruktion des bisherigen, des klassisch-modernen Wissenschaftsverständnisses. Das gilt es nachzuholen. Zu Beginn wäre nach dem Typ der hier vertretenen These zu fragen.

Die im Folgenden zu belegende Existenzthese: es gibt eine nachmoderne Physik, ist notwendigerweise verbunden mit einer *minimalen* Epochenbruchthese. Es handelt sich um eine nichtkumulative epochale Erweiterungsthese. Die Existenzthese bezieht sich auf die nachmoderne Physik, die minimale Epochenbruchthese auf die Physik insgesamt.¹¹ So könnte man sagen: Aus der klassisch-modernen Physik heraus *emergiert* die nachmoderne Physik, ohne dass jedoch die klassisch-moderne Physik verschwindet. Die nachmoderne Physik wird als ein Emergenz- und Selbstorganisationsphänomen zweiter Stufe – auf der Metaebene – be-

(1996b), Küppers (1996), Cramer (1989), Cramer/Kämpfer (1992), Cramer (1994), Cramer (1995).

9 Ausnahme u. a. Mainzer (1996a) und Mainzer (1999, 3 f). Und auch B.-O. Küppers (1992, 11) spricht von einem „konzeptionellen Wandel, der sich gegenwärtig in den Naturwissenschaften abzeichnet“. Meist bezieht sich diese Diagnose allerdings ausschließlich auf das physikalische Naturverständnis, und das in eingeschränkter Hinsicht. Physik wird charakterisiert als die Menge der inhaltlichen Propositionen über Natur. Die inhaltlich-propositionalen Bestimmungen, insofern sie sich primär auf das Naturverständnis beziehen, greifen ebenso zu kurz wie die formal-inhaltsleeren Reflexionen der analytisch geprägten „klassischen Wissenschaftstheoretiker“ mit ihrer reinen Theorieform-Orientierung, vgl. Poser (2001, 279).

10 Zur Kritik an Lyotard siehe Sokal/Bricmont (1999, 155 f). Der Begriff „Postmoderne“ scheint kaum tragfähig für eine derartige Diagnose zu sein.

11 Physik erweitert sich also epochal und umfasst heute, so die These, klassisch-moderne und nachmoderne Physik, wobei sich die Existenzthese auf letztere bezieht.

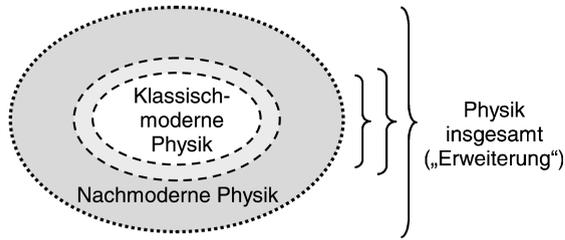


Abb. 1–1: Skizze zum Zusammenhang der Begriffe „Physik“, „klassisch-moderne Physik“ und „nachmoderne Physik“. Übergänge und Schnittmengen zwischen „klassisch-moderner“ und „nachmoderner“ Physik existieren.

schreibbar.¹² In dieser Beschreibung findet sich eine Perspektivenabhängigkeit, mithin ein wissenschaftshistoriographischer Perspektivismus. So soll auf eine Revolutionsmetaphorik verzichtet werden.¹³ Eine darauf aufbauende *starke* Epochenbruchthese würde ein allzu starkes Differenzdenken voraussetzen. Dann aber würde etwas als etwas *Altes* zu charakterisieren sein. Schnell wäre es abqualifiziert oder gar verabschiedet: Altes ist Vergangenes. Ein „Fortschritt“ müsste konstatiert werden. Das scheint in dieser Form unangemessen zu sein. Von einem Ende der klassisch-modernen Physik kann keine Rede sein. Nach wie vor ist sie in ihren Gegenstandsfeldern und im Rahmen ihrer Geltungsbedingungen äußerst erfolgreich.¹⁴

12 Mainzer (1996a) plädiert für die (Selbst-) Anwendung der Theorien der Selbstorganisation auf die Wissenschaftsgeschichte bzw. die Wissenschaftsdynamik, siehe dazu auch Krohn/Küppers (1992). Diese Selbstanwendung sollte auch zur Vorsicht mahnen, was den Geltungsanspruch einer allzu starken Epochenbruchthese angeht.

13 Die hier vertretene Epochenbruchthese möchte nicht die „inzwischen in Traditionen erstarrt[e] [...] Auffassung von der wissenschaftlichen Revolution“ (Shapin 1998, 10) unkritisch reproduzieren, wohl aber den Wandel der Physik in den Blick nehmen. Der Revolutionsbegriff hat seine Geschichte. Kant hatte schon in der *Kritik der reinen Vernunft* von einer „Revolution der Denkungsart“ gesprochen. Koyré verwendete den Begriff „wissenschaftliche Revolution“ erstmals 1939. Als Buchtitel trat er 1954 hervor in Halls „The Scientific Revolution“ und in Bernals „Science in History. The Scientific and Industrial Revolutions“. Die „Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ Kuhns wurde ab den 1960er Jahren zum Klassiker für den Revolutionsbegriff.

14 Gewissermaßen ist zuzugestehen, dass – nach wie vor – die klassisch-moderne Physik den *Mainstream* der Physik darstellt. Jedoch gewinnt die nachmoderne Physik, wie es scheint, zunehmend an Boden.

Demgegenüber ist die hier vertretene *minimale* Epochenbruchthese, die Erweiterungsthese, zunächst bescheidener: Neues entsteht, ohne Gegebenes zu verdrängen und als „Altes“ zu etikettieren. Jedoch auch für die Erweiterungsthese der Physik ist ein Referenzsystem als Gegebenes zu spezifizieren (Kapitel 2), von dem sich die nachmoderne Physik abhebt; nur auf ein Referenzsystem bezogen – hier die „klassisch-moderne Physik“ – kann von einer „Erweiterung der Physik“ gesprochen werden. Erweiterung meint zunächst allgemein *Horizonterweiterung* im Sinne verstärkter Reflexion und Revision der eigenen methodologischen Voraussetzungen. Spezieller soll darunter dreierlei verstanden werden, wie in Kapitel 5–7 ausgeführt wird:¹⁵ eine *Extensions-Erweiterung* als Ausweitung der Gegenstandsfelder und ferner der Erkenntnisinteressen (Kapitel 7), eine *methodologische Erweiterung* als Pluralisierung, Verbreiterung und Relativierung der ausweisbaren Kriterien in Genese und Geltung von physikalischer Erkenntnis (Kapitel 5) sowie eine *Verständnis-Erweiterung* als Vertiefung des Wissens über physikalische Phänomene: Instabilität als grundlegende, zugängliche und mitunter auch „produktive“ Eigenschaft von Wirklichkeit; „anthropomorph“ gesprochen und auf eine Kurzformel gebracht: Natur wird als Natur beschreibbar, insofern sie (auch und insbesondere) instabilitätsfähig ist (Kapitel 6). – Die Erweiterung der Physik (durch die nachmoderne Physik) ist also nicht im rein kumulativen Sinne eines Weiter-so zu verstehen, sondern als epochale Erweiterung. Allerdings beansprucht sie keine Deutungshoheit und stellt keinen Übergriff dar, sondern zielt auf reflexive Geltungsrelativierung mit dem Ausweis epistemischer Grenzen.

Wissenschaftshistoriographische Thesen wie die Erweiterungsthese sind voraussetzungsbehaftet.¹⁶ Zwei Aspekte, nämlich das bisher Erfolg-

15 Hier wird die später zu begründende These unterstellt, dass Physik als Disziplin wesentlich bestimmt ist durch: Gegenstandsfelder/Objektsysteme, Methoden/Verfahren, Inhalte/Aussagen.

16 Als Einstieg sind gewiss Fragen klärungsbedürftig wie: Bezieht sich die Wissenschaftshistoriographie auf die kognitive „Theorieform“ oder auf die handelnd-verfahrende „Forschungsform“ von Wissenschaft (Mittelstraß 1998)? Sollte sie nur Geltungs- oder auch Geneseprozesse betrachten? Weiterhin: Sollte sie wissenschaftsphilosophisch, sozialwissenschaftlich oder gar sozialanthropologisch ausgerichtet sein? Fleck und Kuhn, Popper, Lakatos und Feyerabend, Böhme, Latour, Galison, u. a. haben keinen Konsens finden können. Kriterien zur Diagnose von Epochenbrüchen wurden angegeben und verworfen; Kontinuitäten und Diskontinuitäten wurden behauptet und kritisiert; Rationalität wurde gefordert oder als unmöglich erachtet; externe und interne Aspekte wurden ge-

reiche und *Herkömmliche* (als Referenzsystem) sowie das *Neue* (als Erweiterung) sind zu bedenken. Herkömmliches und Neues liegen als solches nicht einfach vor; sie werden nicht nur *rekonstruiert*, sondern auch *konstruiert*. Schon Thomas S. Kuhn sah sich mit dieser Schwierigkeit konfrontiert, nämlich zwischen Herauslesen und Hineinlegen zu unterscheiden, spezieller: zwischen Kontinuität und Diskontinuität, zwischen Ähnlichkeit und Unvergleichbarkeit, Identität und Differenz. Es ist eine offene Frage, wie man „die Vergangenheit [...] zu ihrem eigenen Recht kommen lassen [kann] und [...] unser Bild der Vergangenheit [nicht] verzerrt.“ (Shapin 1998, 15) Dass wir zur Vergangenheit nur einen modelldurchtränkten, interessen geleiteten und kontextgebundenen Zugang haben und mitunter „Erzählungen“ aufsitzen, ist für Wissenschaftsphilosophie und Wissenschaftshistoriographie spätestens seit Kuhn und Lakatos deutlich geworden. So wird auch hier die Erweiterungsthese der Physik durch die nachmoderne Physik abhängig vom Diagnoseinteresse. Dieses liegt nun darin, mit der Diagnose der Erweiterung zu einer breiteren Anerkennung und Akzeptanz *für* die Erweiterung beizutragen: Die nachmoderne Physik kann sich *so* als wegweisender und reflexiver Zugang zu Natur und Technik sowie zu interdisziplinären Problemstellungen weiterentwickeln.

Neben der allgemeinen Konstruktivitätsproblematik wissenschaftshistoriographischer Epochenbruchthesen liegt eine weitere Problematik darin, dass die klassisch-moderne Physik – als Referenzsystem – kaum *homogen wissenschaftstheoretisch* zu fassen ist, wie Paul Feyerabend (1980, 320 f) herausstellte.¹⁷ Diese Kritik an jeder engeren Wissenschaftstheorie hat auch die Wissenschaftsgeschichtsschreibung verunsichert. Ihr Gegenstand („*die* Wissenschaft“) scheint ihr zu entgleiten. Doch, wie gezeigt

trennt oder zusammengeführt; Deskriptivität, Normativität und Präskriptivität konnten unterschieden werden oder wurden als ununterscheidbar angesehen.

17 Denn die Physik habe, so Feyerabend (1980, 320), „keine ‚Struktur‘ in dem Sinn, daß es Elemente gibt, die in allen wissenschaftlichen Vorgängen [notwendig] auftreten [...] und [die] verschieden [sind] von anderen Bereichen, wie etwa der Kunst, der Metaphysik, der Religion. [...] Eine Wissenschaftstheorie [...] ist also nicht möglich.“ Die *science studies* haben hier angeknüpft und zu zeigen versucht, dass man die jeweiligen Einzelwissenschaften nicht über wissenschaftstheoretische und systematisch-wissenschaftshistorische Zugänge zu fassen bekommt. Vielmehr gelte es, das *Laboratory Life* (Latour/Woolgar 1986) des Einzelfalls sozioethnographisch in den Blick zu nehmen und sozialkonstruktivistisch zu rekonstruieren. Nach dem Ende der „großen Erzählungen“ dominieren heute die mit geringer Erklärungsleistung ausgestatteten Fallstudien, die Laborberichte und „kleinen Erzählungen“.

werden soll, bleibt die Möglichkeit einer pluralen wissenschaftsphilosophischen Typologie der klassisch-modernen Physik erhalten – und damit die Möglichkeit eines Referenzsystems. Hiervon ausgehend kann die Frage nach Wandel und Erweiterung der Physik in den Blick genommen werden. Berücksichtigung finden dabei wissenschaftshistoriographische Modelle zur Diagnose eines Wandels, etwa Kuhns Modell des Paradigmenwechsels (Kuhn 1996), Lakatos' Konzeption der Forschungsprogramme (Lakatos 1972; Lakatos 1974), das Finalisierungs-Modell (Böhme et al. 1974) sowie neuere Modelle: das Mode-II-Modell (Gibbons et al. 1994; Nowotny et al. 2001) und die Diagnose der „technoscience“ mit der Hybridisierung von Wissenschaft, Technik, Gesellschaft und Politik (Latour 1987; Haraway 1995; Nordmann 2005).¹⁸ Die Erweiterungsthese kann sich somit *einerseits* auf keines dieser etablierten Modelle stützen,¹⁹ insofern diese Modelle Erweiterungen nicht explizit diskutieren. Damit betritt sie Neuland. *Andererseits* werden die Modelle jeweils punktuell herangezogen, um einzelne Aspekte der nachmodernen Physik herauszustellen. Somit könnte für die Wissenschaftshistoriographie die Entstehung und Entwicklung einer nachmodernen Physik als Kritik, aber auch als Herausforderung verstanden werden.

1.3. Programmatisches – eine eingreifende Wissenschaftsphilosophie?

Ob mit der Erweiterungsthese eine Modifikation der Wissenschaftsphilosophie(n) einhergeht (oder gehen müsste), gilt es zu untersuchen. Aus der nachmodernen Physik scheint sich eine Problematisierung gängiger wissenschaftsphilosophischer Positionen zu ergeben – etablierter Positionen in der Fachphilosophie *und* in der Physik. Für jede wissenschaftsphilosophische Konzeption, so die hier vertretene These, gilt offenbar Ähnliches wie für die nachmoderne Physik selbst: Pluralität, Perspektivität, Phänomenalität.

18 Weitere Modelle könnten angeführt werden, etwa das Sneed-Stegmüller'sche strukturalistische Modell (Stegmüller 1985) und seine Anwendung auf die Wissenschaftsentwicklung (Gähde 1997), oder das Modell der „post-normal science“ (Funtowicz/Ravetz 1993).

19 Das unterscheidet unseren Zugang etwa von Hedrich (1994), der das Kuhn'sche Schema appliziert.

Eine an der nachmodernen Physik orientierte Wissenschaftsphilosophie könnte als *nachmoderne Wissenschaftsphilosophie* bezeichnet werden.²⁰ Neben Paul Feyerabend, Ian Hacking und Hans Poser²¹ stehen hierfür Nancy Cartwright und Michel Serres Pate. Cartwright argumentiert gegen die Position einer vermeintlichen Einheit von Naturgesetzen, Serres gegen die vermeintliche Einheit der Epistemologie. Cartwright meint, dass *der* wissenschaftsphilosophische Ausgangspunkt das sei, „[w]as uns die Erscheinungen der Welt nahelegen. Wir leben in einer gescheckten Welt; einer reichen Welt unterschiedlicher Dinge und unterschiedlicher Naturen, die sich auf unterschiedliche Arten und Weisen verhalten. Die Gesetze, die diese Welt beschreiben, sind ein Patchwork und keine Pyramide.“ (Cartwright 1999, 1)²² „Gescheckt“ sind die Phänomene selbst ebenso wie ihre Beschreibungen. Cartwright spricht sich für einen nomologischen Pluralismus aus, welcher die „imperialistische Tendenz“ der Physik und der herkömmlichen Wissenschaftstheorie aufbrechen helfen könne. Ein bereichsspezifischer Kontextualismus mit einer lokalen Geltung phänomenologischer Gesetze ist die Folge.²³ Weiter geht Michel Serres. Er fordert programmatisch eine „pluralistische Epistemologie“ (Serres 1992), die der „materialen Unbestimmtheit“ (Ende des Gegenstandsbezugs) und der „Entgrenzung“ (Extensions-Erweiterung) Rechnung trägt. Epistemologie und (allgemein) Wissenschaftsphilosophie werden sich nicht als solche auflösen und verschwinden, sondern „ihre Einheit [... in] einer Vielzahl von Perspektiven“ finden (Serres 1992, 11).²⁴ Eine nachmoderne Wissenschaftsphilosophie müsste demnach eine solche Wissenschaftsphilosophie sein, die im Angesicht radikaler Plura-

20 Bislang hat die Wissenschaftsphilosophie der Physik ihre Reflexionsfiguren und Themenfelder nicht an der nachmodernen, sondern an der klassisch-modernen Physik geschärft. Insofern sind die Ausführungen in dieser Arbeit auch als kritische Anmerkungen zu den Hauptströmungen der Wissenschaftsphilosophie zu lesen.

21 Z.B. Feyerabend (1980), Hacking (1996) und Poser (2001).

22 Eigene Übertragung aus dem Englischen.

23 Vielleicht könnte man sogar im Sinne Husserls oder N. Hartmanns bei Cartwright von „regionalen Ontologien“ sprechen. Was Cartwright (1999) für die gesamte Physik zeigen möchte, gilt gewiss für die nachmoderne Physik. Die Erweiterungsthese zur nachmodernen Physik kann so auch als bereichsspezifische Begründung der Cartwright'schen These zur „gescheckten Welt“ verstanden werden. Allerdings ist Cartwright eher Kontinuitäts- als Diskontinuitätstheoretikerin, weshalb zur Diagnose eines Epochenbruchs Cartwright weitgehend unbrauchbar bleibt.

24 Zu Serres allg. siehe Röttgers (1999, 87 f) und spezieller Gehring (2004, 308 f).

lisierung ihrer Reflexions- und Gegenstandsfelder steht; sie ist dann selbst plural.

Die vorliegende Arbeit zielt auf eine kulturphilosophisch geöffnete „aktive“ Wissenschaftsphilosophie und hält gleichzeitig an der Möglichkeit einer *Wissenschaftsphilosophie der Physik* (betrieben von Physikern und von Fachphilosophen) fest: als *Wissenschaftskulturphilosophie* (Nordmann 2005). Die kulturphilosophische Öffnung liegt auf der Hand: Wissenschaft stellt nicht nur als Forschungs-, Handlungs- und Denkform eine eigene (Sub-) Kultur dar; vielmehr durchdringt die *Wissenschaftskultur* heute faktisch und ideell die gesamte Kultur.²⁵ Ein reiner, sauberer wissenschaftsphilosophischer Deskriptivismus und eine reine analytische Wissenschaftstheorie sind unmöglich. Wissenschaft ist heute kein abtrennbarer äußerer Gegenstand: Sie ist immer schon da, wo immer sich Wissenschaftsphilosophie befindet. Eine heutige Wissenschaftsphilosophie kann ihren Standort und Startpunkt nicht beliebig wählen; sie befindet sich stets *mittendrin*. Wissenschaftsphilosophische Beobachter- und Teilnehmerperspektive mischen sich. In der nachmodernen Wissenschaftsphilosophie tritt eine „Hybridisierung“, eine „Vermischung“ und „Verschmelzung“ (Latour 1998) externer und interner, deskriptiver und normativer Aspekte hervor. Diese Wissenschaftsphilosophie *stellt mehr dar* und sie *stellt mehr an* als eine deskriptive und analytische Reflexion von gegebener äußerer Wissenschaft. In der nachmodernen Wissenschaftsphilosophie geht es – wie in der nachmodernen Physik – hochsensitiv, rückgekoppelt und zirkulär zu, zwischen Deskriptivem und Normativem, zwischen Rekonstruktion und Konstruktion, zwischen Darstellen und Eingreifen.

Jede Reflexion ist demnach auch eine Revision und Intervention. Serres charakterisiert diesen Typ von neuerer Wissenschaftsphilosophie wie folgt: „Diese Philosophie spricht von den Wissenschaften, aber sie verhält sich nicht stumm zu der Welt, die [...] ihre Begründung in diesen Wissenschaften findet. Die Philosophie greift selbst in die Netze und Knoten der Zirkulation ein.“ (Serres 1992, 8) Jede wissenschaftsphilosophische Analyse von Physik impliziert eine Aktivität, jedes Begreifen ein Greifen, jede Fassung eine Gestaltung von Physik: eine Begriffsklärung und Epochenanalyse stellt ein normativ geleitetes und an Zwecken ausgerichtetes Instrumentarium dar. Genau hier könnte eine wis-

25 Gängig ist es, von Verwissenschaftlichung (und Technisierung) der Gesellschaft zu sprechen, und auch komplementär von Vergesellschaftung von Wissenschaft (und Technik).

senschaftsphilosophische Aufgabe *in* der Welt liegen. Die nachmoderne Wissenschaftsphilosophie ist selbst *interdisziplinär* – wie auch dieses Buch – und sie ist *politisch*, insofern sie Begriffs-, Gegenstandskonstitutions- und Übersetzungspolitik betreibt und Forschungsprogramme expliziert, kritisiert und revidiert. Theorie und Praxis – wenn es diese Dichotomie je gegeben haben sollte – fallen zusammen und heben sich auf. Nicht nur die Physik ist eingreifend, wie Ian Hacking herausstellt, die Wissenschaftsphilosophie – von Fachphilosophen *und* von Physikern – ist es auch: Was Physik ist, ist immer, explizit oder implizit, verbunden mit der Frage, was Physik sein kann und sein soll.²⁶ Die Diagnose und Reflexion *über* die Anerkennung der Instabilitäten ist mithin auch als Plädoyer *für* die vertiefte Etablierung von Instabilitäten (und von ihren Konsequenzen) im Verständnis von Natur und Wissenschaft zu verstehen.

1.4. Aufbau des Buches – Zur Gliederung

Um die Erweiterungsthese zur nachmodernen Physik zu entwickeln und zu begründen, sind drei Schritte notwendig, – wobei die einzelnen Kapitel auch jeweils für sich stehen und als solche gelesen werden können.

Teil I: Zur Grundlegung der Erweiterungsthese der Physik bedarf es eines Referenzsystems, das der *klassisch-modernen Physik* (Kapitel 2). Dieses bildet keine Einheit, sondern spannt vier in sich verbundene, unterschiedliche Verständnisweisen von Physik auf. Wissenschaftsphilosophische und erkenntnistheoretische Traditionslinien spielen in diese Typisierung hinein. Sie kennzeichnen das, was üblicherweise – auch von Physikern – als Physik angesehen wird: Physik als Wissenschaft der Prognose (Instrumentalismus) (Kapitel 2.3), Reproduktion (methodologischer Konstruktivismus) (Kapitel 2.4), Prüfung (Empirismus, Realismus) (Kapitel 2.5), Reduktion, Vereinheitlichung und Erklärung (Rationalismus) (Kapitel 2.6). Den vier Physikverständnissen werden Leistungsmerkmale zugesprochen,²⁷ welche allgemein als Objektivierbarkeit

26 Dies nicht mitzureflekieren würde nicht allein der traditionellen, der klassisch-modernen deskriptiv-analytischen Wissenschaftsphilosophie das Wort reden. Vielmehr bliebe diese Wissenschaftsphilosophie gegenüber der nachmodernen Physik blind – und damit auch bedeutungs- und wirkungslos.

27 Vier Leistungsmerkmale können herausgestellt werden. Prognose-Leistung: Erschließung von Zukunft, etwa mit dem Ziel des Tests von Theorien sowie der voraussehenden Handlungsplanung (Physik als Prognosekraft). Technik- und Herstellungs-Leistung: Ermöglichung von technischem Eingreifen und experi-

bezeichnet und allesamt jeweils unterschiedlich mit „starker Kausalität“ – ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkungen zur Folge – verbunden werden. Dass vier Verständnisse von Physik vorliegen – obwohl „Physik“ in der starken Kausalität einen einheitlichen Kern aufweist – , stellt Anforderungen an die Diagnose der Existenz der nachmodernen Physik und an die Begründung der Erweiterungsthese der Physik:²⁸ Die Pluralität im Physikverständnis erfordert hier eine *plurale Argumentations-Strategie*. Es ist zu zeigen, dass *alle* vier Physikverständnisse berührt sind und modifiziert werden.

Teil II: Die klassisch-moderne Physik wird durch die Entdeckung der Instabilitäten problematisiert (Kapitel 3 und 4). – In systematischer Absicht wird zwischen unterschiedlichen Typen von Instabilitäten (statisch, dynamisch, strukturell) unterschieden (Kapitel 3). Es wird dargelegt, dass Instabilitäten als Herausforderung für die impliziten Stabilitätsannahmen der klassisch-modernen Physik anzusehen sind. Das betrifft methodologische Voraussetzungen ebenso wie metaphysische Hintergrundüberzeugungen, also sowohl das Wissenschafts- als auch das Naturverständnis. Die Problematisierung beabsichtigt keine äußere Relativierung von klassisch-moderner Physik; vielmehr verweist sie zunächst auf den Erfolg der metaphysisch-methodologischen Verschmelzung. Das Kriterium der Stabilität diente zur Selektion und Konstitution der Objektbereiche als Gegenstände der Physik. Alles Instabile wurde beiseite gelassen, ohne es überhaupt zu bemerken und zu thematisieren. – Dieser systematischen Betrachtung von Instabilitäten folgt in Kapitel 4 eine *historisch-rekonstruktive* Untersuchung. Die nachmoderne Physik wird selbst als ein Emergenzphänomen angesehen, welches zeitlich lokalisiert werden kann: ab den 1960er Jahren trat sie an die Oberfläche. Rückblickend zeigen sich

mentellem Handeln (Physik als Technik/Techniken). Prüfungs-Leistung: Gewährung von empirischen Tests und systematischen Prüfungen von Theorien an der Natur (Physik als objektive Theorieprüfung an der Empirie). Reduktions-, Vereinheitlichungs- und Erklärungs-Leistung: Gewinnung von Erklärungen sowie von kompakten Darstellungen der Phänomene (Physik als geordnete und kompakte Menge von Theorien).

28 Wer gegenüber der Erweiterungsthese skeptisch ist, könnte leicht auf ein jeweils anderes Physikverständnis ausweichen. Er hätte ein schnelles Gegenargument zur Hand und die Erweiterungsthese liefe ins Leere. Würde man etwa dafür argumentieren, dass die nachmoderne Physik die klassisch-moderne Prognoseorientierung problematisiert und sich die prognosewissenschaftliche Verständnisweise von Physik wandelt, könnte der Skeptiker leicht behaupten, dass der Kern der klassisch-modernen Physik gar nicht in der Prognostizierbarkeit liege, sondern vielmehr in der Testbarkeit oder der Reduzierbarkeit.

jedoch bereits früher Hinweise auf eine erweiterte Physik. Als wegweisend erscheinen Vorstellungen der Instabilitätsthematik im 19. Jahrhundert und sogar noch davor. Historisch betrachtet ist die Physik der Geburtsort der Instabilitätsthematik. Sie ist nicht adäquat unter dem transdisziplinären Begriff der „Strukturwissenschaft“ zu fassen. Denn es waren Physiker, die an konkreten klassischen Gegenstandsfeldern der Physik die Frage nach Instabilität in Natur und in Modellen reflektiert haben. Unter dem Stichwort „Entdeckungen“ wird hier eine Skizze zur Entdeckungsgeschichte von Instabilitäten vorgelegt. Anhand einschlägiger Werke von Physikern und Philosophen (von Newton über Maxwell, Poincaré und Einstein bis hin zu Andronov) soll gezeigt werden, *wie* die Instabilität zu einem Thema wurde, *wie* auf die zunehmende Erkenntnis der Existenz von Instabilität methodologisch geantwortet wurde („Stabilitätsdogma“) und *wie* die heutige breitere Anerkennung von Instabilität zustande kam. Das wird unter Bezug auf einige Theorien, die Instabilitäten aufweisen (Himmelsmechanik, Hydrodynamik/Fluidmechanik, Statistische Thermodynamik, Allgemeine Relativitätstheorie), exemplifiziert. Methodologische Reflexionen aus entdeckungsgeschichtlicher Perspektive stützen und stärken die systematischen Argumente der Problematisierung der klassisch-modernen Physik, wie sie in Kapitel 3 vorgenommen worden sind.

Teil III: Mit der Problematisierung und der damit einhergehenden Relativierung der klassisch-modernen Physik lässt es die Physik nicht bewenden: Perspektiven einer neuen, modifizierten Physik bilden sich heraus. Die *nachmoderne Physik* zeigt wissenschaftliche Perspektiven in methodologischer („Genese und Geltung“) (Kapitel 5), inhaltlicher („Natur“) (Kapitel 6) und objektseitiger („Zugang und Ziel“) Hinsicht (Kapitel 7), wobei alle drei Elemente für jedes Physikverständnis konstitutiv sind. *Methodologisch* (Kapitel 5) kann die nachmoderne Physik durch Stichworte charakterisiert werden wie: Reflexivität, qualitative Prüfung, Modellerklärung, (Schatten-) Berechnung sowie Computerexperimente. In den vier letzten (Prüfbarkeit, Erklär- und Reduzierbarkeit, Prognostizierbarkeit, Reproduzierbarkeit) zeigt sich die Typologie des Referenzsystems der klassisch-modernen Physik in methodologischer Hinsicht modifiziert. *Inhaltlich* (Kapitel 6) ist es insbesondere das Verständnis von Selbstorganisation und von Kausalität, das sich in der nachmodernen Physik auf Seiten von Natur und Technik verändert hat. Damit verbunden ist ein Wandel des Natur- sowie des Technikverständnisses. Schließlich werden *objektseitig* (Kapitel 7) von der nachmodernen Physik Gegenstände als physikalisch relevant und erkenntnis-

würdig angesehen, die sich dem Zugang der klassisch-modernen Physik entzogen haben. Beispielhaft wird die Erweiterung der Gegenstandsex-tension bis in Bereiche der Biologie („phänomenologisch-morphologische Physik“) und der Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften („Chaos-TechnoScience“, „Econophysics“) hinein diskutiert. Bei Letzteren wird eine Tendenz eines äußeren Zweckbezugs, einer „Finalisierung“, sichtbar. Eine interdisziplinäre Öffnung der Physik zu einer modellierungsorientierten Strukturwissenschaft wird skizziert. *Zusammenfassend* (Kapitel 8) werden mögliche Einwände gegen die Erweiterungsthese aufgenommen und entkräftet.

Das Natur- und Wissenschaftsverständnis wandelt sich in der neueren Geschichte der Physik epochal. In der Physik lässt sich ein Doppeltes beobachten, nämlich sowohl eine *Problematisierung* durch Instabilitäten als auch eine *Positivierung* von Instabilitäten. Nur vordergründig mögen Instabilitäten die Physik verunsichern und als methodologischer Nachteil erscheinen. Hintergründig gilt: Mit und durch Instabilitäten leben wir. Natur ist gerade auch dadurch Natur, insofern sie zur Instabilität fähig ist. Nur durch Instabilitäten ist Wachstum, Strukturbildung und Selbstorganisation möglich. Somit müssen und können wir mit Instabilitäten in Natur und Technik, in Modellen und Theorien rechnen.

Teil I:
Klassisch-moderne Physik

2. Klassisch-moderne Physik *Skizze des Referenzsystems*

2.1. Zur Terminologie: Klassische und moderne Physik

Klärungsbedürftig für die Erweiterungsthese – „die nachmoderne Physik tritt aus der klassisch-modernen Physik heraus und erweitert diese“ – ist zunächst, was unter „klassisch-moderner Physik“ verstanden werden kann. War die Frage, was mit „Physik“ bezeichnet ist, für die moderne Wissenschaftstheorie und die Analytische Philosophie des 20. Jahrhunderts einst eine Selbstverständlichkeit, so mag sie zu Beginn des 21. Jahrhunderts provozierend sein. Denn sie scheint auf das trügerische Bedürfnis nach festen Fundamenten zu verweisen. Wenn es derartige Fundamente je gegeben haben sollte, sind sie zerbrochen angesichts der Historizität und Heterogenität von Physik. Wissenschaftstheoretische Fundamentsetzungs- und Abgrenzungsbemühungen haben einen einzigartigen Geltungsverlust erfahren: ein positiv bestimmbarer, einheitlicher, historisch invarianter Physikbegriff lässt sich nicht herausarbeiten. Dennoch können kontextspezifische plurale Charakteristika ermittelt werden, um von hier ausgehend Unterscheidungen vornehmen zu können.

Die terminologische Verwendung des Begriffs „klassisch-moderne Physik“ bedarf also einer Vorbemerkung. Als „klassische“ Physik gilt üblicherweise die Epoche der Physik bis Ende des 19. Jahrhunderts. Die „moderne“ Physik ist hingegen die Physik des frühen 20. Jahrhunderts. Letztere „ist durch zwei Theorien gekennzeichnet, durch die sie sich in ihrer ganzen Struktur wesentlich von allen vorangegangenen Epochen der Physik unterscheidet: die Relativitätstheorie und die Quantentheorie.“ (Mittelstaedt 1989, 5)¹ Mit diesem auch in der vorliegenden Arbeit verwendeten Begriff der „modernen Physik“ wird zunächst die Auffassung zurückgewiesen, welche „moderne Physik“ mit „moderner Naturwissenschaft“ gleichsetzt – eine Auffassung, die etwa von Friedrich Hund vertreten wird: „Im 17. Jahrhundert begann das, was wir heute moderne Physik nennen.“ (Hund 1987, 9) Diese exemplarisch von Hund formulierte geschichtskontinuierliche Auffassung orientiert sich nicht so sehr

1 Vgl. u. a. Dellian (1988, viii) und Hoffmann (1999, 484 f).

an physikalischen Theorien und den mit ihnen verbundenen Naturverständnissen, sondern an Methodologien. – Beide Sichtweisen von „moderner Physik“ können terminologisch zusammengeführt werden, allerdings unter einem anderen Begriff, nämlich dem der „klassisch-modernen Physik“. Dieser wird methodologisch zu fassen versucht.

Die damit verbundene Kontinuitätsauffassung mag zunächst ungewohnt sein. Denn mit den Begriffen „klassisch“ und „modern“ wird üblicherweise ein Schnitt gezogen zwischen der klassischen Physik einerseits und der modernen Physik andererseits. Zur klassischen Physik werden „klassische Theorien“ gezählt: Klassische Mechanik, Hydrodynamik und Kontinuumsmechanik, Statistische Thermodynamik und Elektrodynamik. Die moderne Physik umfasst insbesondere die Relativitätstheorie(n) und die Quantenphysik (und das Standardmodell der Elementarteilchen und der Kosmologie). Unterscheidungsmerkmale sind dann primär Aspekte des Naturverständnisses: Raum und Zeit, Geometrie, Substanz und Materie, Kausalität, Logik (und Quantenlogik) (vgl. z.B. Mittelstaedt 1989, 7 ff). Dass sich das physikalische *Naturverständnis* im Übergang von der klassischen zur modernen Physik epochal verändert hat, ist evident. Raum und Zeit sind nicht mehr unabhängig zu fassen, die Riemann'sche hat die Euklidische Geometrie abgelöst, Materie ist als Energie und nicht mehr primär als Substanz zu begreifen, deterministische Verständnisweisen von Kausalität sind quantenphysikalisch partiell gebrochen. Aus natur- und theorieform-orientierter Perspektive kann an der These der epochalen Veränderung von der klassischen zur modernen Physik kaum Zweifel aufkommen.

Doch durch die alleinige Reflexion des Naturverständnisses und der Theoriestructur hat das *Wissenschaftsverständnis* wenig Beachtung gefunden. Eine in der vorliegenden Arbeit zu belegende These ist, dass die Wissenschaftsverständnisse von klassischer und moderner Physik näher beieinander liegen als beide zusammen zu dem, was als „nachmoderne“ Physik bezeichnet werden soll.² Eine historische Kontinuität von klassischer und moderner Physik ist zu beobachten. „Klassisch-moderne Physik“ stellt somit eine Sammelbezeichnung dar, nicht nur für verschiedene Theorien (Klassische Mechanik, Statistische Thermodynamik, Elektrodynamik und Optik, Quantentheorien und Relativitätstheorien, u. a.) und die mit ihnen verbundenen Naturverständnisse, sondern ins-

2 Ganz ähnlich hatte Prigogine (1992) zwischen einer „Physik des Seins“ (klassische Physik, inkl. Quantenmechanik und Relativitätstheorie) und einer „Physik des Werdens“ unterschieden.

besondere für ein Wissenschaftsverständnis, von dem sich die nachmoderne Physik unterscheidet. Merkmale hierfür sind durch die folgenden vier Stichworte angedeutet, welche in diesem Kapitel zur Sprache kommen sollen: Prognostizierbarkeit, Reproduzierbarkeit, Prüfbarkeit und Reduzierbarkeit.³ Zu fragen ist zunächst nach einer Begründung für die Typologie dieser Merkmale.

2.2. Zur Merkmalstypologie der klassisch-modernen Physik

Der Begriff „Physik“ ist nicht einheitlich. Vielmehr handelt es sich um einen Kollektivsingular, in den vielfältige Denktraditionen und Handlungspraxen eingehen. Hintergrundüberzeugungen prägen unterschiedliche Physikverständnisse. Ein einheitlicher semantischer Kern eines klassisch-modernen Physikverständnisses kann nicht ausgewiesen werden, wohl aber eine gemeinsame Klammer unterschiedlicher Facetten,⁴ welche allesamt eine „starke“ Kausalität unterstellen und Instabilitäten ausschließen. Es bleibt eine Pluralität, welche ihrerseits typisiert werden kann.

Einen hilfreichen Hinweis für eine „plurale Typologie“, wie wir sie nennen möchten, liefert Peter Janich. Er spricht von einem „eindrucksvollen technischen, prognostischen und Erklärungs-Erfolg“ der Physik (Janich 1997, 62). Diese Typologie lässt sich weiter differenzieren. Unter

3 Ausgegangen wird hier von einer ungebrochenen methodologischen Relevanz der klassischen Physik für das Wissenschaftsverständnis (und partiell für das Naturverständnis). Es ist in der Tat „bemerkenswert“, so Böhme (1993a, 280), „daß die Newton'sche Mechanik durch die sie überholenden Theorien [...] nicht *ad acta* gelegt wurde, d. h. zu einer widerlegten und bloß noch wissenschaftshistorisch interessanten Theorie degradiert wurde.“ Ähnlich meint Gutzwiller (1990, 1): „Elementary mechanics is the model for the physical sciences. Its principles and methods are the ideals for most other disciplines that deal with nature.“ Ferner gelte: „Physics is the basic branch of sciences, and mechanics is the basic branch of physics.“ (Gutzwiller 1989, 4) Und Barrow (1994, 164) hebt hervor: „Der Newtonianismus [und die klassische Physik] ist mehr als eine wissenschaftliche Methode; er ist vielmehr eine Einstellung, die alle Zweige des menschlichen Denkens betrifft.“ In wissenschaftlich-methodischer Hinsicht weisen klassische und moderne Physik eine hohe Kontinuität auf, auch wenn das in inhaltlicher Hinsicht nicht gelten mag.

4 Auf Wissenschaftsziele bezogen betont Toulmin (1968, 19) eine Pluralität, nämlich dass Wissenschaft „nicht *ein* Ziel [hat], sondern viele.“ Das hatte Popper (1984, 198 ff) anders gesehen. Er spricht von „*der* Zielsetzung der Erfahrungswissenschaft.“ Wissenschaft hat genau ein Ziel, nämlich Erklärungen zu liefern.

Erklärungserfolg soll sowohl der *Prüferfolg* von Theorien an Experimenten verstanden werden als auch der *Reduziererfolg* (als eigentliche Erklärbarkeit) durch ein Gewinnen von kompakten Gesetzmäßigkeiten bzw. durch begründungstheoretischen Schluss zur Bildung universeller Gesetzmäßigkeiten (deduktives bzw. induktives Erklärungsmodell). Der *technische Erfolg* der Physik liegt in der handelnden Herstellung reproduzierbarer Ereignisse. Prototyp hierfür ist das physikalische Experiment sowie die technische Naturaneignung. Der *prognostische Erfolg* weist auf die kognitive Möglichkeit der Vorwegnahme von Zukunft hin. Ihm ist damit eine Zeitstruktur eingraviert. Die Möglichkeit von Prognostizierbarkeit setzt ferner eine nomologische Struktur von Natur voraus und kennzeichnet einen weiteren Aspekt des physikalischen Selbstverständnisses. – Diese plurale Typologie zur Charakterisierung von Physik ist plausibel und gängig,⁵ wobei oftmals der technische Erfolg, d. h. das Messen, das technische Eingreifen und die handelnde Herstellung von Reproduzierbarkeit vernachlässigt wird.⁶

Je nach Hintergrundüberzeugung ist also neben mindestens *einer* der klassischen und modernen *Theorien* der Physik⁷ mindestens *eines* der

-
- 5 Küttner (1994, 275) stellt heraus, dass „Prognosen zu erstellen [...] neben Erklärungen zu liefern als eine der wichtigsten Aufgabenbereiche erfahrungswissenschaftlicher Tätigkeit angesehen [werden kann].“ Toulmin (1968) hat die (nur im Plural fassbaren) „Ziele der Wissenschaft“ darin gesehen, „Voraussicht und Verstehen“ zu ermöglichen. Spezieller, wissenschaftliche „Theoriebildung“ diene, so v. Wright (1991, 16), „zwei Hauptzwecken. Der eine besteht darin, das Vorkommen von Ereignissen oder Ergebnissen von Experimenten vorauszusagen und so neue Tatsachen zu antizipieren. Der andere besteht darin, bereits bekannte Tatsachen zu erklären oder verständlich zu machen.“ Carnap (1966, 12 ff) spricht von „The Value of Laws: Explanation and Prediction“. Fast identisch findet sich bei Lay (1971, 246), dass physikalische Theorien „eine zweifache Funktion [aufweisen]: 1. erklären sie [...] und 2. gestatten sie die Entwicklung von Prognosen.“ Achinstein (1994, 481) sieht in seinem Aufsatz „Explanation vs. Prediction“ diese beiden als die zwei Standardpositionen an, mit denen die Ziele von Wissenschaft beschrieben sind. Auch Curd und Cover (1998, 410) sehen es als eine wissenschaftsphilosophische Standardauffassung an, dass allein entscheidend sei, „how the theory stands with respect to the things it explains and predicts.“ Allgemein siehe auch die umfassende Arbeit von Hüttemann (1997) zu „Idealisierungen und [dem ...] Ziel der Physik“.
- 6 Beispiele sind die o.g. Küttner, Toulmin und v. Wright. Demgegenüber nennt Tetens (1987, 1) die „Quantifizierung, experimentelle Reproduktion und quantitative Prognose [...] als die] hervorstechende[n] methodologische[n] Merkmale der Physik.“
- 7 Klassische Mechanik, Statistische Thermodynamik, Elektrodynamik, Quantentheorien, Relativitätstheorien.

bereits erwähnten Merkmale notwendig, um „klassisch-moderne Physik“ zu kennzeichnen: Prognostizierbarkeit, Reproduzierbarkeit, Prüfbarkeit sowie Reduzierbarkeit (Erklärbarkeit, Vereinheitlichung).⁸ Wer alle vier Merkmale der pluralen Typologie verneint, wird nicht von „klassisch-moderner Physik“ sprechen können. Diese Merkmale sind freilich nicht für alle wissenschaftsphilosophischen Traditionslinien unabhängig voneinander; sie können einander bedingen oder auseinander folgen.⁹

Nun ist die plurale Typologie der klassisch-modernen Physik keine beliebige Einteilung. Sie basiert auf etablierten wissenschaftsphilosophischen Traditionslinien, welche nicht strikt zu trennen sind, jeweils aber verschiedene Aspekte der klassisch-modernen Physik betonen. Sowohl die *Reproduzierbarkeits-* als auch *Prognostizierbarkeitsthese* heben verstärkt methodologische Aspekte in handlungspraktischer bzw. handlungstheoretisch-kognitiver Hinsicht hervor. Wenn man so will, kann man sagen, in den beiden Thesen wird der faktischen (durch materiell-objektseitige Experimente) wie der kognitiven (durch mathematisch-numerische Berechnungen) *Handlungsseite* der Physik Rechnung getragen.

Die *Reproduzierbarkeitsthese* bezieht sich auf intentionales Handeln, Eingreifen und Manipulieren, wie es für experimentelle Situationen kennzeichnend ist. Die Kontrolle von Anfangs- und Randbedingungen liegt im Kern des physikalischen Erkenntnishandelns. Durch technische Reproduktion wird Intersubjektivität, Situations-, Orts- und Zeitinvarianz hergestellt. Ein derartiges Physikverständnis vertritt der methodologische Konstruktivismus der Erlanger und Konstanzer Schule (Janich 1997). Reproduktion ist demnach eine methodisch geleitete Konstruktion von Wirklichkeit, welche methodologisch *rekonstruierbar* ist. Verwandte Positionen finden sich in Spielarten des Experimentalismus sowie in den Desideraten handlungspraktischer Akzentuierungen des Empirismus, Operationalismus und Instrumentalismus (vgl. Hacking 1996).

Auch in der *Prognostizierbarkeitsthese* treffen unterschiedliche Traditionslinien aufeinander. So kann die Prognostizierbarkeit als Berechenbarkeit im ontologischen Kern der Natur angesiedelt werden. Sie spiegelt

8 Die vier Merkmale alleine sind nicht spezifisch für einen gehaltvollen Begriff von „Physik“. Sie könnten auch der Chemie und anderen mathematischen Naturwissenschaften zugeordnet werden. Hier haben wir den Physikbezug durch einen *inhaltlichen* Rekurs auf physikalische Theorien hergestellt.

9 Welche Reduktions- bzw. Subsumtionsbeziehung zwischen den Thesen besteht, kann hier offen bleiben.

dann den nomologischen Naturcharakter wider bzw. ist mit diesem identisch. Beispielhaft ist der Laplace'sche Dämon. Zwar kann das defizitäre Wissen des Menschen die epistemische Möglichkeit der Durchführung einer Prognose begrenzen; an der prinzipiellen Möglichkeit indes herrscht kein Zweifel. Bescheidener sind empiristische, positivistische und funktionalistische Positionen. Es ist demnach sinnlos zu fragen, ob Berechenbarkeit (ontologisch) in der Natur liegt oder nicht. Diese Fragestellung ist metaphysisch durchtränkt und bleibt faktisch unentscheidbar. Dennoch stellt auch für diese Positionen die Prognostizierbarkeit das zentrale Kennzeichen des physikalischen Erfolges dar. Prognostizierbarkeit qualifiziert Physik als Erfahrungswissenschaft des positiv Gegebenen. Prognose und positiv Gegebenes werden so identifiziert. Ferner können auch induktive Schlussprinzipien zur Gewinnung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten als Prognose im Sinne einer verallgemeinernden Vorwegnahme von Zukünften verstanden werden: Induktion als Prognose.

Neben die faktische und die kognitive Handlungsseite von Wissenschaft tritt eine wissens- und geltungsorientierte Seite. Diese hat traditionell die Wissenschaftstheorie beschäftigt und zeigt sich als *Prüfbarkeits-* und als *Reduzierbarkeitsthese*. Sie weist damit eine empirische und eine strukturell-nomologische Seite auf. Weniger das „Eingreifen“ als vielmehr die Bestätigung und das „Darstellen“ (Hacking 1996) bilden den Mittelpunkt dieser Verständnisweisen von Physik.

Starke Spielarten der *Prüfbarkeitsthese* stehen in der Tradition des wissenschaftlichen Realismus und auch der des Empirismus. Theorien müssen an der Wirklichkeit, so wird postuliert und gefordert, prinzipiell prüfbar sein. Sie bilden Aspekte einer Wirklichkeit ab bzw. fassen diese geschickt zusammen, so wie die Wirklichkeit unabhängig vom Menschen existiert. Ausweisbar wird damit eine („Wahrheits“-) Nähe von physikalischen Theorien zur Wirklichkeit. Der hypothetische Realismus etwa, vereint mit dem kritischen Rationalismus, hebt bekanntlich die Falsifizierbarkeit von Theorien an der Wirklichkeit heraus, verwirft jedoch jeden Verifikationismus. Schwächere Spielarten der Prüfbarkeitsthese setzen nicht notwendigerweise auf einen ontologischen Realismus, mitunter beziehen sie sich sogar weniger auf Wirklichkeit. Sie akzentuieren lediglich, dass Theorien an äußeren Instanzen – seien sie sprachlicher oder nichtsprachlicher Art, seien sie konstruiert oder gegeben – zu prüfen sind (Empirismus u. a.). Mithin richtet sich die Prüfbarkeitsthese im Wesentlichen gegen Positionen selbstreferenzieller Erkenntnistheorien, etwa gegen den radikalen Konstruktivismus.

Ein verwandter, aber zu unterscheidender Aspekt wird mit der *Reduzierbarkeitsthese* angesprochen. Traditionslinien des Rationalismus bilden hier eine prägende Hintergrundüberzeugung: Neue Phänomene sollen unter spezielle Gesetze subsumiert, diese auf allgemeine Gesetze reduziert und insofern erklärt werden. Nur was allgemein, einfach und klar darstellbar sei, könne als Erklärung dienen. Logische (Ableitungs-) Beziehungen sind hier leitend. Bei René Descartes finden sich ausgearbeitete Vorstufen des reduktiven Erklärungsschemas. Das Einheitsprojekt der Physik in der Suche nach einer Vereinheitlichung aller vier Grundkräfte zeigt, dass die Reduzierbarkeitsthese prägend und erfolgreich ist. Abgeschwächt kann sie auch als Denkökonomie verstanden werden, insofern das allgemeine Gesetz vielfach eine kompaktere Struktur aufweist. Und aus Perspektive des Realismus spiegelt sich in reduktiven und sukzessive vereinheitlichenden Erklärungen die Einheit der Natur wider („ontologischer Reduktionismus“). Eine Spielart der Reduzierbarkeitsthese liegt somit in der *Einheitsthese*. Nicht selten ist sie verbunden mit einer Annahme über Größenordnungen der Gegenstandsfelder, die als physikalisch *relevant* eingeschätzt werden. So bevorzugt die klassisch-moderne Physik die Gegenstandsfelder des Mikrokosmos, teilweise die des Makrokosmos, nicht jedoch die des Mesokosmos. Je kleiner die untersuchten Objekte und je größer die zur Untersuchung verwendeten Energien der Natur, desto fundamentaler verspricht die Erkenntnis zu sein. Hier zeigt sich die Tendenz zum Primat des Mikrokosmos, eines Exzentrismus der Gegenstandsfelder.

Die hier aufgeführten vier Thesen basieren jeweils auf Annahmen über Gesetzmäßigkeit bzw. Kausalität. Sie gehen von einer weitgehend *stabilen*, nomologisch verfassten Natur aus und setzen somit *starke Kausalität* im Sinne eines starken Regelfolgens voraus: *Ähnliche* Ursachen haben *ähnliche* Wirkungen zur Folge. Klassisch-moderne Physik ist damit jener Typ von Physik, der in der einen oder anderen Weise auf einer starken Kausalitätsannahme basiert. Das wird später zu problematisieren sein. Zunächst dürfte die plurale Typologie der klassisch-modernen Physik damit hinreichend begründet sein. Für diese Typologie sprechen nicht nur die eben genannten wissenschaftsphilosophischen Reflexionstraditionen, sondern auch Äußerungen von Physikern selbst. Letztere sollen als zusätzliche Belege dienen.¹⁰

10 Die folgenden Ausführungen zur Typologie können so auch als eine Art Einführung in gängige wissenschaftsphilosophische Fragestellungen und Themen-

2.3. Prognostizierbarkeit – ein erstes Merkmal

Prognostizierbarkeit besitzt zur Charakterisierung von Physik eine außerordentliche Relevanz. Im „Schluß auf die Zukunft“ sieht Carl Friedrich v. Weizsäcker (1974, 122) die „eigentliche Pointe *der* Physik“. Michael Drieschner (2002, 90) meint ähnlich: „Wir finden also ‚Voraussage‘ als Schlüsselbegriff zum Verständnis von Physik.“

Der Prognose werden unterschiedliche Funktionen zugeschrieben, etwa die des Realitätsausweises (und -tests), der Rechtfertigung und Begründung, der Erklärung sowie der Naturkontrolle und Handlung in der Natur. Als Realitätstest im Sinne des wissenschaftlichen Theorien-Realismus¹¹ haben Einstein, Podolsky und Rosen die Prognosefähigkeit herangezogen: „Wenn wir den Wert einer physikalischen Größe, ohne das System in irgendeiner Weise zu stören, mit Gewißheit *voraussagen* können, dann gibt es einen Bestandteil der physikalischen Realität, der dieser Größe entspricht.“ (Einstein et al. 1935, 777 f) „Die Voraussagekraft“, so Herbert Pietschmann, „bestimmt“ „wesentlich über Anerkennung oder Ausschluß einer Theorie“ (Pietschmann 1996, 166). Wesley C. Salmon hat in seiner Charakterisierung von wissenschaftlichen Erklärungen darauf hingewiesen, dass eines der üblichen Konzepte davon ausgehe, dass Erklärungen „show that the event to be explained was to be expected“ (Salmon 1989, 119). „Die Theorie diene [...] als Werkzeug für die Prognose der Wirkung des eigenen Handelns. [...] Wir brauchen die Prognose, [damit ...] wir mit unserem Handeln einen Zweck verfolgen [können]“, so die theoretischen Physiker Werner Ebeling und Rainer Feistel (1994, 19).¹² Und Auguste Comte meinte bekanntlich Ähnliches als er sagte: „Savoir pour prévoir“ (Comte 1973, 130 f).¹³

felder – unter Verwendung der Äußerungen von Physikern – gelesen werden. Die Ausführungen können aber auch schon als Teil der erweiterten („nachmodernen“) Physik der Instabilitäten verstanden werden. Denn die Frage, was „der Begriff ‚Physik‘ umfasst“, ist in der nachmodernen Physik präsent – so etwa beim Physiker Peter Beckmann (1996, 7). Der „Begriff ‚Physik‘ umfaßt (1) eine Menge von Wissen über Sachverhalte in der Natur, (2) eine Methode, dieses Wissen zu erweitern, (3) eine Methode, dieses Wissen zu ordnen, (4) etwas, das nicht wertfrei ist, (5) ein Handeln von Menschen in einer Gesellschaft von Menschen.“ Gerade der Handlungsbezug, wie er ja insbesondere im Methodologischen Konstruktivismus anzutreffen ist, ist für ein erweitertes Physikverständnis hilfreich.

11 Nach diesem bezieht sich ein theoretischer Term auf eine empirische Entität.

12 Der Rekurs auf Prognostizierbarkeit ist in Physik und Wissenschaftsphilosophie gängig. Physik, so Shaw (1981, 218), „owes its success to its ability to predict

Aus den jeweiligen wissenschaftsphilosophischen Hintergrundüberzeugungen treten Fragen hervor: Ist die Prognostizierbarkeit *das* Kriterium für physikalisches Wissen und *das* qualifizierende kognitive Endprodukt des physikalischen Erkenntnisprozesses (Spielarten des Instrumentalismus)? Oder ist sie das der Erfahrung und dem Erkennen-Können als Bedingung der Möglichkeit *Zugrundeliegende* (Spielarten transzendentaler Erkenntnistheorien)? Oder erfüllt sie eine *Funktion* und ist *Mittel* zur Prüfung bzw. zum Evidenzausweis physikalischer Theorien (Spielarten des Realismus)? Oder stellt die Prognose eine periphere *Folge* dar? – Wenig Einigkeit zeigt sich hier. Nicht selten wurde die Vorausberechenbarkeit mit einem Anti-Realismus und Instrumentalismus in Verbindung gebracht. Erklärung wurde der Vorausberechnung gegenübergestellt und letztere wurde formal-logisch als Sekundäres abgewertet, weil sie aus ersterer ableitbar sei.¹⁴ Mitunter wurde Prognostizierbarkeit

natural phenomena, thus allowing man a degree of control over his surroundings.“ Dass „die Fähigkeit zur Prognose [...] vielfach als wesentliches Ziel wissenschaftlicher Tätigkeit [gilt]“, hebt auch Carrier (1995, 351) hervor. Die Physiker Aurell, Boffetta et al. (1997) verstehen unter physikalischem Wissen ein prognostisch erprobtes und gesichertes Wissen: „The ability to predict has been the most important qualifier of what constitutes scientific knowledge.“ Ferner liege in der Voraussage, so Pietschmann (1996, 166), „ein besonders subtiler Aspekt des Wechselspiels von Theorie und Experiment.“ Tetens (1987, 1) nennt u. a. die „quantitative Prognose [...] als ein] hervorsteckende[s] methodologische[s] Merkmal [...] der Physik.“ Und Deutsch (2000, 14) meint: „[D]ie Vorhersage [ist] ein wesentlicher Teil der für die Naturwissenschaft charakteristischen Methode.“ Bemerkenswerterweise findet sich bei Husserl (1936, 52) Ähnliches: Die Naturwissenschaft sei nur dazu da, „die innerhalb des lebensweltlich wirklich Erfahrenen und Erfahrbaren ursprünglich allein möglichen rohen Voraussichten durch ‚wissenschaftliche‘ im Progressus in infinitum zu verbessern.“ Stärker instrumentalistisch gewendet fügt Lindley (1997, 30) an: „Doch was nutzt eine Theorie, die attraktiv aussieht, aber keine Vorhersagen erlaubt?“ Janich (1997, 62) charakterisiert Physik, neben anderem, über ihre Leistung, nämlich ihren „prognostischen [...] Erfolg.“ Kuhn (1996, 196) spricht über „Werte“ eines „disziplinären Systems“, das in der „Voraussage“ liegt: „Die Werte, an denen wohl am stärksten festgehalten wird, betreffen Voraussagen: sie sollten genau sein.“ Stärker noch: Dies sei „gleichbedeutend mit einer guten wissenschaftlichen Theorie.“ (Kuhn 1974, 238)

13 Von „Predictionists“ sprechen Achinstein (1998, 481) und Curd/Cover (1998, 410).

14 So meint Deutsch (2000, 12): „Selbst bei rein praktischen Anwendungen kommt es vor allem darauf an, wie gut eine Theorie etwas erklären kann; ihre Vorhersagekraft ist nur eine Zugabe“. Ähnlich bei Sokal und Bricmont (1999, 162): „Vor allem aber besteht das Ziel der Wissenschaft nicht nur in der Vorhersage, sondern auch darin, die Dinge zu verstehen.“ Vorausberechenbarkeit kann al-

auch als der Physik äußerlich bleibendes Handwerk angesehen.¹⁵ Als fundamental wird allein die Theorie und das Gesetz in mathematischer Differenzialgleichungsform begriffen und nicht die einzelne Realisierung, die Berechnung der Lösung, die Vorausberechnung der speziellen Trajektorie. Doch die Prognosethematik weist, wie gezeigt wird, reichhaltige Traditionslinien auf.

Der *Instrumentalismus* hat *erstens* – gemeinsam mit Spielarten des *Empirismus*, *Positivismus* und *Konventionalismus* – auf Prognostizierbarkeit vielfach Bezug genommen: Durch erfolgreiche Prognosen qualifiziere sich Physik als positive Erfahrungs-, Erscheinungs- und Tatsachenerkenntnis und somit als *empirische* Wissenschaft. In der „Erstellung von Prognosen“ sieht etwa Küttner „ein Grundanliegen früherer wie späterer empiristischer und positivistischer Erkenntnisprogramme“ (Küttner 1994, 275).¹⁶

Prognosen tragen Handlungsrelevanz in sich. Hume sah im Gefolge von Francis Bacon den „einzigen direkten Nutzen der Wissenschaft [darin], uns zu belehren, wie man zukünftige Ereignisse in der Natur kontrollieren und regeln kann durch die Kenntnis ihrer Ursachen.“ (Hume 1990, 76) Die *Ursachenkenntnis* ist also nicht primär auf Erklärungen gegebener Phänomene zu beziehen, sondern auf Darstellung und Prognose zukünftiger Phänomene durch erfahrungsbasierte Antizi-

lerdings eine für Wissenschaft konstitutive, trotzdem dienende Funktion darstellen.

- 15 Beispielhaft sind auch die Ausführungen von Toulmin (1968, 45/118): „Das Vorhersagen ist also ein Handwerk oder eine Technologie; es gehört zu den Anwendungen der Wissenschaft und macht nicht ihren Kern aus.“ Ferner: „Als Anwendung der Wissenschaft steht das Vorhersagen auf gleichem Fuß mit anderen Techniken. [...] Wir können also wissenschaftliche Techniken und Vorhersagen von vorwissenschaftlichen unterscheiden.“ (Toulmin 1968, 45/46)
- 16 Bei Morrison (1998, 81) tritt hier die Zuweisung eines „Instrumentalismus“ hinzu. „[Prediction] was one of the principle motivations for instrumentalism in the philosophy of science; since we had no way of knowing whether theories actually represented the world in an accurate way, it was best to deny their representative role completely and see them solely as tools for prediction.“ In skeptischer Absicht meint Deutsch (2000, 14): „[P]ositivistische Gedanken [sien...] deshalb plausibel, weil die Vorhersage ein wesentlicher Teil der für die Naturwissenschaft charakteristischen Methode ist.“ Der Empirismus konnte durch den „prognostischen Erfolg“, wie C.F.v. Weizsäcker (1992, 70) kritisch anmerkt, zur „Ideologie der siegreichen positiven Wissenschaft“ werden. Der Instrumentalismus gilt i.A. als „Anti-Realismus“ (vgl. Mittelstraß 1995, Bd. 3, 507).

pation von Regelfolgen. Nicht Erklärungen, wohl aber Prognosen stellen – wenn man es so formulieren will – die Bedingungen der Möglichkeit zur Kontrolle von Zukunft und des planenden Eingreifens bereit. Im frühen 19. Jahrhundert hat Comte in seinen „Abhandlungen über die positive Philosophie“ nicht nur den Namen „Positivismus“ geprägt. Vielmehr rückt er die Prognostizierbarkeitsthese ins Zentrum seines Physikverständnisses: „Die positive Methode wird von den heutigen Gelehrten so unrichtig aufgefaßt, daß es nicht schaden kann, wenn ich bemerke, daß das Überwiegen der Beobachtung über die Phantasie ihre wichtigste Eigenschaft ist [...]. *Sehen um vorauszusehen*, so lautet der Spruch der wahrhaften Wissenschaft. Alles voraussehen, ohne daß man etwas gesehen hat, führt nur zu einer sinnlosen metaphysischen Utopie. Diesem Urteil in logischer Beziehung entspricht in wissenschaftlicher die Aufstellung des Relativen statt des Absoluten.“ (Comte 1973, 130 f) Der Kern von Wissenschaft liegt in ihrem (nicht-metaphysischen, pragmatischen) „Nutzen“, in der *Um-Zu-Struktur* als Wissenschaft *für etwas* durch erfolgreiche quantitative Prognosen.

Voraussagen können ferner auch als induktive Schlussverfahren verstanden werden. Ein induktiver Schluss führt von einer Prämisse zu einer Konklusion. Darin liegt für induktive Logiker oft eine „Gehaltserweiterung“. Der „Gehalt der Konklusion [führt ...] über den Gehalt der jeweiligen Prämissen hinaus“ (Essler 1973, 10),¹⁷ insofern Verallgemeinerungen in die Zukunft hinein vorgenommen werden. Sie können eine einzelne Zukunft (Schluss auf ein individuelles Ereignis) betreffen, einen Zukunftsprozess (Schluss auf eine Ereignisfolge bzw. Regelfolgen) oder gar auf ähnliche Zukünfte (Schluss auf ähnliche individuelle Ereignisse oder Ereignisfolgen). Die Berechenbarkeitsthematik erscheint als induktive Schlussthematik,¹⁸ insofern durch Prognosen ein Schluss auf das zeitlich Nachfolgende, das Zukünftige, mit vollzogen wird. Die Gewinnung einer allgemeinen Regel, die Voraussage und das, was später „Induktion“ genannt wurde, sind ein und dieselbe Sache.

17 Auf den problematischen Gehaltsbegriff, wie er auch von Carnap vertreten wird, kann hier nicht eingegangen werden; siehe Detail in den Ausführungen bei Essler (1973, 10 ff).

18 Bei Hume findet sich explizit die Nähe von induktivem Schließen *einerseits* und von Prognose *andererseits*. „Selbst wenn uns ein Beispiel oder Experiment beobachten ließ, daß ein bestimmtes Ereignis einem anderen folgte, sind wir nicht berechtigt, eine allgemeine Regel aufzustellen oder *vorauszusagen*, was sich in ähnlichen Fällen ereignen wird.“ (Hume 1990, 74) (Übersetzung nach: Gawlick 1985, 178).

Die durch Hume und Comte geprägte Diskussion wurde aus unterschiedlichen Perspektiven fortgesetzt. Heinrich Hertz sieht den Kern von Physik in der Herstellung von Prognostizierbarkeit, um das heutige Handeln daraufhin einzurichten. „Es ist die [...] wichtigste Aufgabe unserer bewußten Naturerkenntnis, daß sie uns befähige, zukünftige Erfahrungen vorauszusehen, um nach dieser Voraussicht unser gegenwärtiges Handeln einrichten zu können.“ (Hertz 1963, 1) Im Zentrum der Physik liegt ein „Verfahren [...], das] uns zur Ableitung des Zukünftigen aus dem Vergangenen“ befähigt (ebd.). Ernst Mach sieht, dass „die Naturwissenschaft bestrebt [ist, ...] das Abwarten neuer Erfahrungen unnötig zu machen“ (Mach 1988, 6).¹⁹ Mach behauptet gar, ein „wissenschaftliches Gesetz“ sei nichts anderes als „eine Regel zur Darstellung einzelner Voraussagen“ (Mach 1900, 439). Philipp Frank stellt in seinen Erörterungen über „das Kausalgesetz“ heraus: „Alle Wissenschaften haben das Ziel, aus den unmittelbaren Erlebnissen spätere *vorauszusagen* und womöglich zu beherrschen. [...] Zur Erreichung dieses Ziels bedienen sich alle Wissenschaften im Grunde derselben Methode.“ (Frank 1988, 29) Weitere Verästelungen dieser Diskussion sind zu beobachten, was hier nicht verfolgt werden kann.²⁰ Allgemein steht die Vorausberechenbarkeitsthematik folglich in der Tradition des Instrumentalismus, ist dort fest etabliert und für diesen konstitutiv. Dass sie dennoch nicht zu einem eigenständigen Thema werden konnte, ist der starken Begriffs-

19 Darin zeigt sich die Effektivität und Effizienz, die „Ökonomie der Wissenschaft“ und ihre Optimierungsleistung in der Beschreibung; vgl. Mach (1988, 457), Schneider (1998, 34) und Cassirer (1997, 5).

20 Etwa bei Braithwaite (1953, 339): „Was wir Naturgesetze nennen, das sind begriffliche Werkzeuge, mittels derer wir unsere empirische Erkenntnis ordnen und die Zukunft voraussagen.“ Ähnlich bei Feyerabend (1983, 255), nach dem „astronomische Theorien [u.a.] Voraussage-Instrumente [sind].“ Quine (1998, 297 f) hat in seinem für die so genannte Duhem-Quine-These wegweisenden Aufsatz „Two Dogmas of Empiricism“, 1951, herausgestellt: „As an empiricist I continue to think [...] of science as a tool, ultimately, for predicting future experience in the light of past experience.“ – Gegenüber den logifiziert-formalen Zugängen, etwa bei Carnap, hat Goodman in seinem Werk „Fact, Fiction and Forecast“ (1955) aus pragmatischer Perspektive die Berechenbarkeit thematisiert. „Forecast“ wird auch bei Goodman im Sinne der Verallgemeinerung auf zukünftige Ereignisse verstanden, also im Zusammenhang mit der Hume’schen Rechtfertigungsproblematik des induktiven Schließens. Goodman weist darauf hin, dass wir über Hume hinaus zusätzlich pragmatisch zu begründen haben, warum wir gewohnte Verallgemeinerungen ungewohnten vorziehen.

und Theorienorientierung – selbst und insbesondere des Instrumentalismus – geschuldet.

Eine *zweite* Traditionslinie der Berechenbarkeitsthematik lässt sich in einer bestimmten Lesart *transzendentaler Erkenntnistheorien* finden. Nach diesen liegt – wie beim Instrumentalismus – die „eigentliche Pointe der Physik“ in dem „Schluß auf die Zukunft“ (Weizsäcker 1974, 122).²¹ Die Berechenbarkeitsthematik wird ausgeweitet, als Gesetzes- und Zeitthematik rekonstruiert und erkenntnistheoretisch reformuliert: Ein Zugang zur Zukunft setzt Gesetzmäßigkeit und Zeitlichkeit voraus. V. Weizsäcker hat versucht, das Begründungsprogramm Kants aus der Physik heraus zu gewinnen bzw. auf diese zu übertragen. Damit will er zeigen, dass die Physik die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung selbst in sich vorfindet, bereitstellt *und* zum internen Gegenstand hat: Physik wird in ihrer „zukünftigen Einheit“ selbst Kants Erkenntnistheorie realisieren, sie wird zum Ausweis von deren umfassender Gültigkeit. Insofern Weizsäcker eine zukünftige Einheit der Physik im Sinne einer vereinheitlichten Theorie unterstellt, wie sie sich in Ansätzen in den Quantenfeldtheorien und ihren Weiterentwicklungen zeigt, setzt er einen begrifflich-semantic Reduktionismus voraus, welcher bei seinem vollständigen Erfolg *in sich* transzendente Aussagen enthält, d. h. seine eigenen Bedingungen der Möglichkeit mitliefert.

Dieses anspruchsvolle, an Kant orientierte Programm geht zunächst von der Hume'schen Induktionsproblematik aus und vertieft diese durch Selbstanwendung: „Woher weiß ich das Induktionsprinzip?“, fragt Weizsäcker (1974, 122) Nach der Hume'schen „strengen Logik“ werde das Induktionsprinzip, wenn es zu seinem eigenen Gegenstand werden würde, fragwürdig. Aus sich heraus kann es nicht begründet werden. Nun spricht das nicht notwendigerweise gegen das Induktionsprinzip selbst, sondern nur gegen seine immanente Logik. Denn „es gibt überhaupt keine Möglichkeit, in logischer Strenge aus vergangener Erfahrung auf die Zukunft zu schließen. Und doch ist der Schluß auf die Zukunft die eigentliche Pointe der Physik.“ (ebd., 122) In diesem Sinne lässt sich konstatieren, dass „die Physik prophezeit.“ (ebd.) Obwohl der Empirismus als Beschreibung zutreffend sein mag, liefert er keine Erklärung für die Adäquatheit seiner Beschreibung. Im Rahmen des Empirismus ist die „Suche nach Gewißheit“ un(be)gründbar und „vergeblich“ (ebd., 125). Eine transzendente Erkenntnistheorie zielt mit der Frage nach dem

21 Vgl. auch Drieschner (2002, 73/92 f).

Erkennen*können* auf eine Vertiefung und Grundlegung, um begreiflich zu machen, *warum* Erkenntnis möglich ist. Sonst wird „die Berechenbarkeit von Sonnenfinsternissen über Jahrtausende hinweg [...] nicht begreiflich.“ (ebd., 124)

Nicht ein Anti-Empirismus, sondern ein „vertiefter Empirismus“ ist v. Weizsäckers Ziel. Wie in empiristischen Traditionslinien bildet die „Erfahrungswissenschaft“ den Ausgangspunkt. Doch v. Weizsäcker möchte *nicht* von einem „a priori konstruierten Begriff von Erfahrung ausgeh[en]“ (Weizsäcker 1992, 80). Erfahrung heißt zunächst, „von der Vergangenheit für die Zukunft zu lernen“ bzw. auf die Zukunft zu schließen. Im weitesten Sinne ist damit eine Prognose verbunden.²² Prognosen implizieren – im Unterschied zu Erklärungen – eine zeitliche Struktur. Die Zeit tritt bei v. Weizsäcker mindestens in dreifacher Hinsicht auf: *einmal* als Bedingung der Möglichkeit von Erfahrung überhaupt und mithin als Bedingung der physikalischen Gegenstandskonstitution, *zum anderen* als Gegenstand von Erfahrung und *ferner* als semantische Struktur von Naturgesetzen.²³ Letzteren gilt v. Weizsäckers Hauptaugenmerk. Er argumentiert, dass aus der semantischen Struktur von Naturgesetzen ein Schluss möglich sei auf die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung.²⁴ „Das hat wohl auch Kant gemeint in seiner Kategorie Kausalität: Voraussage aufgrund der Gegenwart“, so Drieschner (2002, 94), der Klärungen am Weizsäcker'schen Konzept vorgenommen hat: „Wir präzisieren also die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung als die Bedingungen der Möglichkeiten einer Theorie für Voraussagen über empirisch entscheidbare Alternativen.“ (Drieschner 2002, 94; vgl. Weizsäcker 1974) Die Vorausberechenbarkeit weist die mathematische Struktur in der Natur aus. Berechenbarkeit wird mit Naturgesetzmäßigkeit identifiziert. Natur ist Natur, insofern mathematische Gesetzmäßigkeiten herrschen, welche sich zeitlich zeigen. Berechenbarkeit setzt also einen mathematischen Kern von Natur als Bedingung der Möglichkeit ihrer Existenz, d.h. auch ihrer Erkennbarkeit voraus.²⁵ Damit ist ein Schlüssel zur Einheit der Physik – als Spiegel der

22 Auch bei v. Weizsäcker liegen Prognose und Erklärung strukturell beieinander.

23 V. Weizsäcker argumentiert, dass auch die linearen Gesetzmäßigkeiten zeitliche Strukturen aufweisen, insofern sie prognostisch sind. Im Zentrum liegen für v. Weizsäcker die Quantenfeldtheorien als Prototyp einer Einheit der Gesetze.

24 Mit anderen Worten: Aus dem dritten Punkt möchte v. Weizsäcker den ersten Punkt folgern.

25 In den „metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ hat Kant bekanntlich ausführte: „Ich behaupte [...], daß in jeder besonderen Naturlehre nur

Einheit der Natur und als Weg dorthin – gegeben. Je mehr begriffliche Einheit in der Physik durch die Einheit der Naturgesetze hergestellt sei, desto mehr zeigen sich Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung selbst (Weizsäcker 1974, 184 f).²⁶

Eine *dritte*, eher periphere und durchaus zweiseitige Traditionslinie soll erwähnt werden. Sie findet sich im Umfeld des *wissenschaftlichen Realismus*.²⁷ Dieser spricht zwar der Prognostizierbarkeit lediglich einen untergeordneten, wissenschaftsdienenden, rein methodologischen Status zu. Allerdings scheint die Prognostizierbarkeit für jede empirische Prüfung von Theorien – und ferner auch zu ihrer Begründung (und zu der des wissenschaftlichen Realismus) – unverzichtbar zu sein. Denn jede

so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist.“ (MA Vorrede, A VIII – A IX)

26 Erfahrung setzt Zukunft und Vergangenheit voraus, beide setzen Zeit voraus. Die Zeit als Bedingung der Möglichkeit von Erfahrung, wie sie sich in der semantischen Struktur von Naturgesetzen zeigt, scheint sich kaum mit der Suche von Physikern nach Zeit-Invarianzen in den Grundgleichungen zu vertragen. „Ein ordentlicher ‚reiner‘ Wissenschaftler wird betonen, daß die ‚Anwendung‘ für Voraussagen zwar ein nicht unwichtiger Nebeneffekt sei, daß aber eigentlich der Sinn der Naturwissenschaft die Aufklärung der Strukturen sei, die in den Naturgesetzen zeitlos vorhanden seien, unabhängig von so etwas Subjektiv-Zeitlichem wie Voraussagen.“ (Drieschner 2002, 73) Erkenntnistheoretisch sei dies unhaltbar. Drieschner charakterisiert, ebenso wie v. Weizsäcker, „die Physik [als ...] eine Theorie für Gesetze über Voraussagen.“ (ebd., 101/199/93) Physik könne nur über den Schlüsselbegriff der Voraussage verstanden werden, „im Sinne der Bedingung der Möglichkeit von Physik“ (ebd., 90). Und auch für die physikalische Objektconstitution ist die Voraussagefähigkeit zentral, insofern das Objekt als physikalisches erst durch die Vorausberechenbarkeit konstituiert und qualifiziert werde. „Ein Objekt ist eine Zusammenfassung von kontingenten Größen, deren gegenwärtige Werte gemeinsam Voraussagen über eben diese Größen für die Zukunft gestatten.“ (ebd., 90) Die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung liegt in der Vorausberechenbarkeit von Natur, was sich in einer begrifflichen Einheit und der sukzessiven Vereinheitlichung im Sinne der Quantenphysik zeige. Denn „aus Erfahrung etwas [zu] wissen bedeutet, voraussagen zu können.“ (ebd., 94) – Die Hinweise auf das Weizsäcker'sche Programm in der kantischen Traditionslinie sollten zeigen, dass die Berechenbarkeitsthematik nicht nur in Spielarten des Empirismus eine Tradition besitzt. Vielmehr tritt die Berechenbarkeitsthematik als Zeithematik hervor. Berechenbarkeit (und nicht die Berechnung) ist das Zugrundeliegende, nicht das Mittel oder das der Erkenntnis Nachfolgende.

27 Psillos (1999, xix) unterscheidet zwischen einem metaphysischen („ontologischen“), semantischen („bedeutungstheoretischen“) und epistemischen („wissenschaftlichen“) Realismus.

„Nachprüfung vollzieht sich über beobachtbare Voraussagen.“ (Stegmüller 1987, 266) Der wissenschaftliche Realismus „regards [...] predictively successful scientific theories as well-confirmed and approximately true of the world.“ (Psillos 1999, xix) – Dieses methodologische Verständnis der Prognostizierbarkeit über die Prüfbarkeit ist allerdings für den Realismus nicht zwingend. Schließlich wäre auch eine *stärkere* Spielart des Realismus vertretbar, wonach die Prognostizierbarkeit in einer ontologisch verstandenen deterministischen Natur liegt bzw. diese widerspiegelt. Für die „überirdische Intelligenz“ – wie etwa aus Perspektive des Laplace’schen Dämons (Laplace 1932, 1 f) – ist Vorausberechenbarkeit und universeller Determinismus der Natur identisch; für den Menschen als endliches Wesen freilich nicht.²⁸ – Berechenbarkeit als ontologische Natureigenschaft erscheint so als Kern von Gesetzmäßigkeit; je mehr Berechenbarkeit, desto mehr Gesetzmäßigkeit und desto universeller der Determinismus.²⁹

Der Begriff „Prognose“ wurde bisher unspezifisch verwendet, als allgemeiner und formaler Zusammenhang von einem „Input“ zu einem „Output“.³⁰ Fragen wir nach unterschiedlichen Typen von Prognosen, so

28 Die dafür notwendigen Voraussetzungen, die als Bedingung der Möglichkeit einer *Vorausberechnung* zu lesen sind, führt Laplace auf: Wissen über die Kräfte, die gegenseitigen Lagen der Körper, die Anfangsbedingungen und das Gesetz sowie die Analysefähigkeit und die Verfahren. So bestimmt Laplace die Aufgabe der fortschreitenden klassisch-modernen Physik dahingehend, die Erkenntnisse der „fiktiven Intelligenz“ über möglichst viele Zustände, Parameter und Gesetze der Natur anzustreben. – Das im „Laplace’schen Geist“ formulierte universelle deterministische Naturverständnis und berechenbarkeitsorientierte Wissenschaftsverständnis wertet Cassirer (1994, 134 f) als wirkungsgeschichtlich relevant, welches bis ins 20. Jahrhundert hinein, wenn auch in modifizierter funktionaler Form, erkenntnisleitend ist.

29 Neben dem wissenschaftlichen Realismus, den transzendentalen Erkenntnistheorien sowie dem Empirismus könnten weitere Traditionslinien angeführt werden, etwa eine handlungstheoretische bzw. i.w.S. methodologische Tradition (Mittelstraß 1998; Janich 1984). Berechnen wird dann auch als Technik und Kunst verstehbar.

30 Hierzu meint Lay (1971, 252): „Von einer allgemeinverbindlichen Definition von ‚Prognose‘ ist die Wissenschaftstheorie noch weit entfernt.“ Später soll (Kapitel 3 und 4) gezeigt werden, dass und wie die nachmoderne Physik und die theoretische Informatik das Defizit aufgenommen haben: Aus Perspektive der Physik kann allgemein zwischen Mathematisierbarkeit/Mathematisierung, Lösungsexistenz, Lösbarkeit/Lösungsbestimmung, Darstellbarkeit der Lösung, Simulierbarkeit, Eliminierbarkeit von Redundanz in Zahlenfolgen, rekursive

liegt eine Unterscheidung nahe: Prognose (a) *eines* zukünftigen (neuen oder bekannten) Ereignisses („Zustand“), (b) *eines* Ereignisverlaufs aus gegebenen Anfangs- und Randbedingungen („Prozess“) oder (c) von *Gesamtheiten* von Ereignissen bzw. Ereignisverläufen („mögliche Weltverläufe“). Dabei handelt es sich nur um graduelle und nicht um grundlegende Unterschiede. Im Zentrum steht in allen Fällen das mathematische Gesetz. Entscheidend ist, dass damit ebenfalls hinreichende Stabilität und Nicht-Sensitivität vorausgesetzt wird. Starke Kausalität im Sinne des Hume'schen Regelfolgens ist notwendig, um überhaupt die Bedingungen der Möglichkeit von Prognosen zu gewährleisten. Erst in der aktuellen Physik der Instabilitäten werden diese Voraussetzungen thematisiert und problematisiert (Kapitel 3 und 4).

Wenn zusammenfassend nach der Funktion von Prognosen gefragt wird, deutet sich ein unerwarteter Konsens an. Unabhängig davon, ob aus Perspektive der Transzendentalen Erkenntnistheorie, des Empirismus, Positivismus und Instrumentalismus oder gar (Spielarten) des Realismus argumentiert wird, stimmen die Positionen darin überein, dass Prognose zumindest *eine* Bedingung zu einer *objektiven* Erkenntnis liefert.³¹ Mit Drieschner kann festgehalten werden: „Jede objektive Beschreibung von Wirklichkeit muss also eine Voraussage dessen sein, was einer [= jedermann] finden wird, wenn er nachprüft. [...] Bei näherer Betrachtung scheint also die Voraussagemöglichkeit fundamental für die Naturwissenschaft.“ (Drieschner 2002, 73)³² In diesem Sinne ist die Prognostizierbarkeit zentrales Kennzeichen der klassisch-modernen Physik.

Funktionen, u.a. unterschieden werden, und eine Verbindung zur Informationstheorie hergestellt werden (Schmidt, 2003a). Partiiell sind diese Verständnisweisen anschlussfähig an die Berechenbarkeitstheorien, etwa der symbolverarbeitenden Maschinen (1930er Jahre, Turing, Church, u.a.) und der Metamathematik und Logifizierungstheorien (Gödel, u.a.). Einen Überblick zum Themenkreis maschineller Berechenbarkeit, der Turingmaschine und ihrem Halteproblem findet sich in Mainzer (1994).

- 31 Beispielhaft sind Drieschners (2002, 12 f) Äußerungen. „Man kann nur etwas nachprüfen, was davor behauptet worden ist; nachprüfbar sind prinzipiell nur Voraussagen. Ein Naturgesetz – also die allgemeine Formulierung einer objektiven Aussage im Sinne der Naturwissenschaft – kann daher nur eine allgemeine Regel sein, die angibt, wie man aus den jeweiligen gegenwärtigen Bedingungen Voraussagen gewinnt, die sich in der Zukunft empirisch werden nachprüfen lassen.“
- 32 Ferner meint Drieschner (2002, 179): „Naturwissenschaft ist dadurch definiert, daß sie nach objektiven Naturgesetzen fragt, also nach Regeln für Voraussagen, die jedermann empirisch nachprüfen kann.“

2.4. Reproduzierbarkeit – ein zweites Merkmal

Physik ist seit dem 17. Jahrhundert nicht nur eine passiv-kontemplative Beobachtungswissenschaft desjenigen, was als äußere Natur von selbst da ist, oder eine kognitiv-theoretische Prognosewissenschaft. Vielmehr ist sie eine aktive, eingreifende, naturpräparierende und -verändernde Experimentalwissenschaft, die sukzessive zu einer technischen Labor- und Apparatewissenschaft wurde. Ohne Technik, ohne technische Apparate und Instrumente ist Physik als *Experimentalwissenschaft* unmöglich. Die „Geburt der modernen Wissenschaft in Europa“ (Rossi 1997) und das moderne Natur- (als reduziertes *Naturgesetzes-*) Verständnis sind undenkbar ohne die Entwicklung der Experimentierkunst als methodische, manipulierende, messende Naturbefragung und ohne die systematische Verbesserung der Instrumente und Beobachtungstechniken.

Durch technisches Handeln werden Phänomene produziert und ihre Reproduktion wird damit her- und sichergestellt. So haben Gernot Böhme und Wolfgang van den Daele für die Physik hervorgehoben, dass ihr „methodisches Ideal [...] die regelmäßige Tatsache [ist], die die Bedingungen enthält, unter der ihre Beobachtung für jedermann und jederzeit wiederholbar ist.“ (Böhme/van den Daele 1977, 189) Jürgen Mittelstraß sieht in der Reproduzierbarkeit „eine allgemeine wissenschaftliche Norm“, insofern sie „die Kontrollierbarkeit wissenschaftlicher Aussagen“ und damit Invarianzen sicherstelle, etwa die Personen-, Zeit- und Ortsinvarianz (Mittelstraß 1998, 106). So ist die „Reproduzierbarkeitsforderung [...] als Rationalitätskriterium im Wissenschaftsprozess unverzichtbar.“ (ebd., 107)³³ Damit spielt die Reproduzierbarkeit nicht nur in der Erkenntnisgenese, sondern auch im *Geltungsausweis* eine entscheidende Rolle. Böhme spitzt zu und meint, dass „Experimentalregeln und Regeln der Datenerzeugung [...] die Reproduzierbarkeit – und damit die universelle und intersubjektive Gültigkeit – von Experimenten [garantieren].“ (Böhme 1993a, 333)³⁴ Weitere Spielarten dieser Position könnten angeführt werden.³⁵

33 Die Rationalität mit ihren normativen Kriterien zeige sich nirgendwo so wie in der Physik (Mittelstraß 1996, 162).

34 „Ihr Ideal [= das Ideal der Physik] ist die reproduzierbare Tatsache, deren Beschreibung die Form eines allgemeinen Satzes hat.“ (Böhme/van den Daele 1977, 188)

35 In diesem Sinne hat auch Janich (1995, 622) als das „wichtigste Charakteristikum des klassischen Experiments [...] seine] prinzipielle Wiederholbarkeit“ genannt. „Der Übergang von Einzelerfahrungen zu wissenschaftlichen Erfahrungen