

Holm Tetens

Experimentelle Erfahrung

Eine wissenschaftstheoretische Studie
über die Rolle des Experiments in der
Begriffs- und Theoriebildung der Physik



PARADEIGMATA 8

PARADEIGMATA

Die Reihe Paradeigmata präsentiert historisch-systematisch fundierte Abhandlungen, Studien und Werke, die belegen, daß sich aus der strengen, geschichtsbewußten Anknüpfung an die philosophische Tradition innovative Modelle philosophischer Erkenntnis gewinnen lassen. Jede der in dieser Reihe veröffentlichten Arbeiten zeichnet sich dadurch aus, in inhaltlicher oder methodischer Hinsicht Modi philosophischen Denkens neu zu fassen, an neuen Thematiken zu erproben oder neu zu begründen.

Holm Tetens, Dr. phil. habil., geboren 1948, Studium der Philosophie, Mathematik und Soziologie an den Universitäten Bochum und Erlangen. Promotion 1977 an der Universität Erlangen. 1978/79 Assistenzprofessor an der Nationaluniversität Brasilia (Brasilien). 1980–1986 Hochschulassistent an der Universität Marburg. Habilitation 1986. Zur Zeit Privatdozent in Marburg.

Holm Tetens

Experimentelle Erfahrung

Eine wissenschaftstheoretische Studie
über die Rolle des Experiments
in der Begriffs- und Theoriebildung der Physik

FELIX MEINER VERLAG
HAMBURG

Im Digitaldruck »on demand« hergestelltes, inhaltlich mit der ursprünglichen Ausgabe identisches Exemplar. Wir bitten um Verständnis für unvermeidliche Abweichungen in der Ausstattung, die der Einzelfertigung geschuldet sind.
Weitere Informationen unter: www.meiner.de/bod

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische
Daten sind im Internet über <http://portal.dnb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-7873-4035-4

ISBN eBook: 978-3-7873-3864-1

© Felix Meiner Verlag GmbH, Hamburg 1987. Alle Rechte vorbehalten. Dies gilt auch für Vervielfältigungen, Übertragungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen, soweit es nicht §§ 53 und 54 UrhG ausdrücklich gestatten. Gesamtherstellung: BoD, Norderstedt. Gedruckt auf alterungsbeständigem Werkdruckpapier, hergestellt aus 100 % chlорfrei gebleichtem Zellstoff. Printed in Germany. www.meiner.de

Hugo Dingler zum Gedenken

INHALT

Vorwort	IX
Einleitung: Das experimentelle Handeln – ein Stiefkind der Wissenschaftsphilosophie	1
1. Das physikalische Experiment und die Konzeption der experimentalistischen Kausalität	15
1.1 Das Experiment: Wechselspiel zwischen Handlung und Verläufen	15
1.2 Technisches Handeln und experimentalistische Kausalität	17
1.3 Das Experiment: Das Variieren der Anfangsbedingungen und die Realisierung quantitativer Invarianzen	19
1.4 Experimentalistische Kausalität und die differentielle Form der physikalischen Gesetzesaussagen	25
1.5 Das Experiment: Die Isolation kausal relevanter Umstände und die „Begradiung von Verläufen“	29
1.6 Raum, Zeit, Bewegung im Experiment	32
1.7 Die Experimentierapparaturen: Wirkräume für den raum- zeitlichen Verlauf physikalischer Phänomene	37
2. Forschungsprogramme	43
2.1 Der Aufbau eines Forschungsprogramms	43
2.2 Theoretische Größen	49
2.3 Reporte über den Forschungsstand als eigentliche experimentelle Erfahrungssätze	54
2.4 Erhaltungssätze und das Konzept der experimentalistischen Kausalität	56
3. Das Forschungsprogramm der klassischen nicht-relativistischen Physik	61
3.1 Direkte Quantifizierung der Bewegung in der klassischen Physik	61
3.2 Das Forschungsprogramm der Newtonschen Physik	63
3.3 Der Übergang zur Analytischen Mechanik	71
3.4 Ein historisch orientierter Exkurs zum Energieerhaltungssatz ..	75
3.5 Indirekte Quantifizierung durch kausal orientierte Modelle ..	82
3.6 Der methodische Anschluß der Elektrodynamik an das Forschungsprogramm der klassischen Mechanik	88
3.7 Zusammenfassung	96

4.	Die relativistische Revision des Forschungsprogramms der klassischen Physik	99
4.1	Die Spezielle Relativitätstheorie	100
4.1.1	Invarianzen und Relativitätsprinzip	100
4.1.2	Die Spezielle Relativitätstheorie als Revision des Forschungsprogramms der klassischen Dynamik	103
4.1.3	Die Spezielle Relativitätstheorie als Revision der klassischen Kinematik	105
4.1.4	Zwei Interpretationen der Speziellen Relativitätstheorie	115
4.2	Die Allgemeine Relativitätstheorie	117
4.2.1	Träge und schwere Masse in der klassischen Physik	117
4.2.2	Die Revision des Forschungsprogramms der klassischen Physik in der Gravitationstheorie durch die Allgemeine Relativitätstheorie	119
4.2.3	Die Eliminierung des „absoluten Raumes“ als „Entgeometrisierung“ der Raum-Zeit-Koordinaten	124
4.2.4	Geometrie und „physikalische Geometrie“	127
	Anmerkungen	133
	Literaturverzeichnis	153
	Personenregister	161
	Sachregister	163

VORWORT

Die hier vorgelegte Studie ist eine wissenschaftstheoretische Untersuchung zur Physik. In meinem Verständnis hat die Wissenschaftsttheorie die Aufgabe, *wissenschaftliche Theorien in erkenntnikritischer Absicht zu rekonstruieren*. In der wissenschaftsttheoretischen Darstellung einer Theorie sollen Reichweite und Grenzen der Geltung der theoretischen Aussagen bestimmt werden. Insoweit greift die Wissenschaftsttheorie die erkenntnistheoretische Grundfrage auf, wie sie Kant formuliert hat, und bezieht sie auf wissenschaftliche Theorien: „Was können wir durch wissenschaftliche Theorien wissen?“. Die Wissenschaftsttheorie ist ein gegenüber der einzelwissenschaftlichen Forschung *nachträgliches* Unternehmen der erkenntnikritischen Sichtung der Forschungsresultate. Die Wissenschaftsttheorie sollte nicht verwechselt werden mit einem System von Normen, die die Forschung selber unmittelbar anleiten. Den Forschern an der „Forschungsfront“ (Dingler) will und kann die Wissenschaftsttheorie nicht vorschreiben, was sie zu tun und zu lassen haben.

Dieses Buch ist eine zum Teil stark überarbeitete Fassung meiner Habilitationsschrift, die vom Fachbereich Gesellschaftswissenschaften und Philosophie der Philipps-Universität Marburg im Oktober 1986 als schriftliche Habilitationsleistung angenommen wurde.

Ich möchte an dieser Stelle meinem langjährigen Freund Rüdiger Inhet-veen dafür danken, daß er das Entstehen dieser Studie unermüdlich durch kritische und ermutigende Bemerkungen und Überlegungen begleitet und dadurch mehr, als er vielleicht selber weiß, tatkräftig gefördert hat. In gleicher Weise habe ich meinem Freund und Kollegen Peter Janich zu danken, der nicht nur Vorfassungen dieser Arbeit inhaltlich mit mir diskutiert hat, sondern meine Arbeit auch institutionell in jeder Hinsicht aktiv unterstützt hat. Inhaltliche Anregungen verdanke ich Prof. Günther Ludwig (Marburg), Prof. Lothar Schäfer (Hamburg) und Rudolf Kötter (Erlangen). Mit meinem Freund Gerd Hövelmann habe ich nicht nur immer wieder Passagen der Arbeit durchsprechen können, er hat mir auch unschätzbare Dienste bei der technischen Fertigstellung der Arbeit geleistet. Frau Sigrid Weber bin ich zu Dank verpflichtet für eine erste Reinschrift. Schließlich habe ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Gewährung eines Habilitationsstipendiums und der Hugo-Dingler-Stiftung (Aschaffenburg) für die Gewährung eines Druckkostenzuschusses zu danken. Ich danke dem Felix Meiner Verlag für sein freundliches Entgegenkommen und seine Bereitschaft, dieses Buch zu verlegen.

Marburg, im März 1987

Holm Tetens

EINLEITUNG: DAS EXPERIMENTELLE HANDELN – EIN STIEFKIND DER WISSENSCHAFTSPHILOSOPHIE

Die neuzeitliche Physik des Abendlandes ist im Unterschied zu ihren antiken und mittelalterlichen Vorläufern hauptsächlich durch drei Merkmale charakterisiert:

- 1) Die zu erforschenden Phänomene werden quantitativ beschrieben.
- 2) Die zu erforschenden Phänomene werden im Experiment technisch erzeugt oder doch zumindest simuliert.
- 3) Die Physiker stellen mathematische Theorien auf, die es gestatten, die reproduzierbaren Experimente zu berechnen und den Ausgang neuer, noch nicht durchgeführter Experimente quantitativ vorherzusagen.

Quantifizierung, experimentelle Reproduktion und *quantitative Prognose* sind hervorstechende methodologische Merkmale der Physik. Sie sind, jedenfalls in der Allgemeinheit, in der wir sie formuliert haben, in der Wissenschaftstheorie der Physik unbestritten. Um so auffälliger ist es daher, daß sich die Wissenschaftstheorie bisher unterschiedlich intensiv diesen drei methodologischen Charakteristika der Physik gewidmet hat. Die quantifizierende Begriffsbildung und die mathematisierende Theoriebildung in der Physik beschäftigen die Wissenschaftstheorie der letzten 60 Jahre eigentlich ohne Unterbrechung. Die experimentelle Erfahrungsbildung hat jedoch nie die Aufmerksamkeit der Wissenschaftsphilosophie auf sich gezogen, die sie ihrer Bedeutung nach eigentlich verdient.

Obwohl es natürlich geradezu ein Gemeinplatz aller wissenschaftstheoretischer Studien ist, daß physikalisches Wissen in Experimenten gebildet und durch Experimente getestet wird, mangelt es trotzdem an gründlichen wissenschaftstheoretischen Untersuchungen zum Experiment. Ein Indiz für seine etwas stiefmütterliche Behandlung ist der geringe Umfang von Artikeln zum Stichwort „Experiment“ in den einschlägigen Lexika und Handbüchern der Philosophie und Wissenschaftstheorie im Vergleich zu Artikeln wie „Quantität“ oder „physikalische Theorie“¹. Ein noch bemerkenswerteres Indiz ist allerdings, daß es eigentlich keine wissenschaftstheoretische Monographie über das Experiment gibt, ganz im Gegensatz zu den ungezählten wissenschaftstheoretischen Veröffentlichungen über Begriffs- und Theoriebildung in der Physik. Die einzige bedeutende Ausnahme ist das Buch „Das Experiment“ von Hugo Dingler, und schon allein das rechtfertigt es, bei Dinglers Analyse des Experiments von einer „Pioniertat“ zu reden².

So weit das Experiment also überhaupt etwas gründlicher in der Wissenschaftstheorie thematisiert wird³, herrscht zudem ein Verständnis des Experiments vor, für das sich in dem berühmten Buch „Ziel und Struktur der physikalischen Theorien“ von Pierre Duhem eine repräsentative Formulierung findet. Nach Duhem ist das Experiment „die genaue Beobachtung einer Gruppe

von Erscheinungen, die verbunden wird mit der *Interpretation* derselben“⁴. Man kann Duhems Deutung des Experiments in der Formel zusammenfassen: *Experiment = theoriegeleitete und theoretisch interpretierte Beobachtung*.

Inhaltlich ist Dinglers Buch „Das Experiment“ eine Pioniertat, weil er konsequent das Experimentieren als *technisches Handeln* erkenntnistheoretisch würdigt, im Gegensatz zur Deutung des Experiments als theoriegeleiteter Beobachtung, die der konstitutiven Rolle des technischen Handelns für die experimentelle Erfahrung deshalb nicht gerecht werden kann, weil sie einem *passivisch-kontemplativen Modell* von Erkenntnis verpflichtet ist. Dieses passivisch-kontemplative Erkenntnismodell hat seinen Ursprung im neuzeitlichen Empirismus, der die zwei Thesen vertritt:

- (A) Erfahrung ist Wahrnehmung (Beobachtung);
- (B) Erfahrung ist die ausschließliche Basis aller theoretischen Erkenntnis.

Die Wahrnehmung analysiert der Empirismus exemplarisch vornehmlich am Sehen. Gerade das Sehen jedoch scheint von Leibbewegungen oder manuellen Verrichtungen nicht abzuhängen, im Gegenteil scheint es erforderlich, den Leib und die Hände ganz stillzustellen, damit die Objekte der „Außenwelt“ die Sinne „ungetrübt“ und „unverzerrt affizieren“ können. Das Sehen ist ein passiver Sinn, der stellvertretend für die anderen Sinne erkenntnistheoretisch analysiert, geradezu provoziert, in der Erkenntnistheorie die epistemisch tragende Rolle physischer Handlungen zu übersehen.

Der Kreis schließt sich, wenn man zudem bedenkt, daß das Theorieideal der klassischen antiken Philosophie gleichfalls am Modell des Sehens orientiert ist: Der Theoretiker ist ein „Schauender“, der sich möglichst weit entfernt halten soll von der Welt der Handwerker und Techniker. Theorie ist zweckfreie Schau einer an sich vorhandenen Welt. Weil der Empirismus die Erfahrung erkenntnistheoretisch am Modell des Sehens auslegt, ist es auch für ihn naheliegend, die Theorie weiterhin als „zweckfreie Schau“ einer an sich vorhandenen Welt zu deuten. Indem der Empirismus wesentliche Momente des Ideals theoretischer Erkenntnis aus der klassischen antiken Philosophie beibehält, macht er sich vollends blind für die epistemologische Funktion des physischen Handelns im Experiment. Erkenntnistheoretisch kann der Empirismus im Experiment nicht mehr erblicken als eine nur technisch etwas aufwendigere Spielart der gewöhnlichen, noch gerätefreien Beobachtung des Alltags. Nach Dingler tut der Empirismus damit so, als ob wir uns dauernd in einer Welt befänden, „in der wir nur Zuschauer und Beobachter sind, nur Augen, Ohren, Tastorgane haben, aber keine Handwerker und Handarbeiter sind“⁵.

Während uns nach dem klassischen Empirismus Erkenntnis der Welt über unsere Wahrnehmung passivisch zustößt und widerfährt, hält Kant in seiner „kopernikanischen Wende“ dem entgegen, daß wir unsere Erfahrungen immer auch *machen*. Wie die Vorrede zur zweiten Auflage der „Kritik der reinen Vernunft“ unmöglich verständlich klarmacht, hat Kant dabei das naturwissenschaftliche Experiment als ein Erkenntnisunternehmen vor Augen, in

dem wesentlich gehandelt wird. Und doch verspielt Kant die Einsicht, daß Experimentieren Handeln ist, letztlich wieder, weil er dem mentalistischen Paradigma der Bewußtseinsphilosophie verhaftet bleibt: Kant versteht das Erkennen als mentalen Bewußtseinsakt, den er nur in einem metaphorischen Sinne als Handlung beschreibt, während er dagegen das physische Handeln der Experimentatoren – Handeln in der ursprünglichen Bedeutung des Wortes – eben nicht erkenntnistheoretisch in den Blick nimmt.

Seine Orientierung am mentalistischen Paradigma macht auch Kant letztlich blind für die spezifisch erkenntnistheoretische Rolle des technischen Handelns in den experimentellen Naturwissenschaften, und diese Blindheit bleibt nicht ohne Folgen für Kants theoretische Philosophie der Naturwissenschaften. Bekanntlich vertritt Kant ja die These, daß es synthetische Grundsätze a priori der Naturforschung gäbe. Trotz aller Interpretationsbemühungen sind Kants Argumente, diese These im begrifflichen Rahmen einer „Bewußtseinsphilosophie“ der Erkenntnis zu begründen, schwer verständlich und kaum nachzuvollziehen. Ein plausibler Sinn läßt sich hingegen mit Kants These sofort verbinden, sobald man das physische Handeln in den experimentellen Naturwissenschaften ernst nimmt.

Man kann sich das schnell an der zweiten Analogie der Erfahrung klarmachen, die in der Formulierung Kants lautet: „Alle Veränderungen geschehen nach dem Gesetze der Verknüpfung der Ursache und Wirkung“⁶. Inwiefern beinhaltet dieser Satz eine „Bedingung der Möglichkeit“ von Erfahrung, wie Kant behauptet? Und inwiefern ist es eine aktive Leistung der Erkenntnissubjekte, daß die Gegenstände der Erfahrung unter die Kategorie von Ursache und Wirkung fallen und daher der zweiten Analogie der Erfahrung genügen, wie Kant ebenfalls behauptet?

Experimente, die jederzeit von jedermann wiederholt werden können, gehören zu den „Bedingungen der Möglichkeit“ physikalischer Erfahrung. Nur wenn die Experimente prinzipiell von jedem reproduziert werden können, lassen sie sich intersubjektiv überprüfen, und diese intersubjektive Überprüfbarkeit ist ein wesentlicher Bestandteil der „Objektivität“ naturwissenschaftlicher Erkenntnis. Nun gelingt die Wiederholung eines Experiments keineswegs immer und auf Anhieb. Verläuft ein Experiment trotz scheinbar gleicher Rahmen- und Anfangsbedingungen anders als ein zweites Experiment, so werden die Wissenschaftler dies weder als unabänderlichen „Schiedsspruch der Natur“ hinnehmen, noch werden sie das Prinzip, daß jede Veränderung eine als Regel formulierbare Ursache hat, für widerlegt halten. Die Wissenschaftler gehen vielmehr davon aus, daß der unterschiedliche Ausgang der beiden Experimente dadurch *verursacht* wurde, daß zwischen den beiden Experimenten ein für den Experimentverlauf kausal relevanter Faktor sich unkontrolliert geändert hat. Und sie werden ihre Bemühungen nun daran setzen, diesen Faktor zu identifizieren, durch kontrollierte Variation seine kausale Wirkung auf den Verlauf einschlägiger Experimente quantitativ zu bemessen und ihn bei künftigen Experimenten als weitere Rahmen- und An-

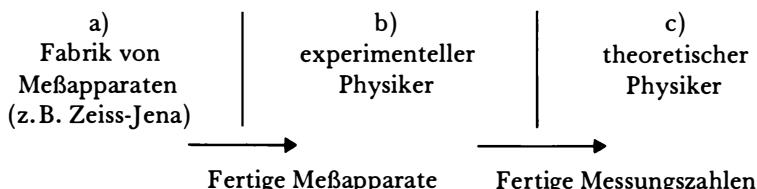
fangsbedingung selber herzustellen und konstant zu halten. Je mehr kausal relevante Bedingungen die Experimentatoren kennen und zu manipulieren verstehen, desto zuverlässiger gelingt ihnen die Wiederholung der Experimente. Auf diese Weise präparieren die Experimentatoren allmählich die typischen *Laborphänomene* heraus, die sie in allen wichtigen Einzelheiten reproduzieren und manipulieren können. Auf diese Laborphänomene allein können naturwissenschaftliche Theorien direkt angewendet werden.

Die Laborphänomene sind in einem wörtlichen Sinne *gemachte Phänomene*, und da die *Herstellungshandlungen der Experimentatoren gerade unter der regulierenden Direktive des Kausalprinzips stehen*, sind sie außerdem so hergestellt, daß sie dem Kausalprinzip genügen. Beide zentralen Bestimmungen der zweiten Analogie der Erfahrung, wie sie sich bei Kant finden, sind erfüllt: Das Kausalprinzip orientiert die Wissenschaftler bei ihrem Versuch, die Wiederholbarkeit der Experimente zu gewährleisten, und insoweit beinhaltet es eine „Bedingung der Möglichkeit physikalischer Erfahrung“; die direkten Anwendungsfälle einer experimentellen Naturwissenschaft, die Laborphänomene, gehorchen dem Kausalprinzip deshalb unmittelbar, weil dies von den Wissenschaftlern so eingerichtet wird.

Kants Theorie der Erfahrung, die programmatisch dem passivisch-kontemplativen Erkenntnismodell des Empirismus unmißverständlich absagt, verfehlt also gleichwohl die Erfahrung stiftende Rolle des physischen Handelns in den Naturwissenschaften⁷. Die „kopernikanische Revolution“ in der Erkenntnistheorie beruft sich auf das Beispiel des Handelns im naturwissenschaftlichen Experiment und ist im Ergebnis dann doch nur eine Revolution der mentalistisch begriffenen „Denkungsart“.

Was Kant nur nicht gelungen ist, kam dem modernen Logischen Empirismus und der Analytischen Wissenschaftsphilosophie, die sich beide in die Tradition des neuzeitlichen Empirismus stellen, erst gar nicht in den Sinn, nämlich das passivisch-kontemplative Erkenntnismodell zu überwinden. Und doch haben seine selbstkritischen Wandlungen den modernen Empirismus zu Einsichten geführt, von denen aus es nur noch ein kleiner Schritt wäre, das Experiment als *Handeln* zum Dreh- und Angelpunkt einer erkenntnikritischen Erfahrungs- und Wissenschaftstheorie zu machen. Ich will dies in aller Kürze skizzieren.

In „Die Methode der Physik“ veranschaulicht Dingler die nach seiner Meinung gängige Auffassung über das Verhältnis von physikalischer Theorie und experimenteller Empirie in dem folgenden Schema⁸:



Das Schema ist folgendermaßen zu lesen: Die Meßgerätehersteller versorgen die Experimentatoren mit Meßapparaturen, wobei sich die Experimentatoren um die Herstellung dieser Apparaturen nicht weiter kümmern⁹. Die Experimentatoren übermitteln anschließend den theoretischen Physikern die Meßdaten, und zwar in Gestalt von Meßtabellen, in denen die Werte der „abhängigen“ Meßgrößen jeweils den Werten der „unabhängigen“ Meßgrößen zugeordnet sind. Um das Zustandekommen dieser Meßtabellen kümmern sich wiederum die theoretischen Physiker nicht. Ihnen obliegt allein die „rein arithmetische“ (Dingler)¹⁰ Aufgabe, diese Meßtabellen theoretisch aufzubereiten. Dabei handelt es sich um „die Aufgabe, eine große Menge von Zahlentabellen möglichst genau aus einem einzigen mathematischen System von Gleichungen heraus darzustellen“¹¹. Dingler bezeichnet diese Auffassung über das Verhältnis von Theorie und experimenteller Erfahrung polemisch als die „arithmetische Form des empirischen Matrizenpriorismus“¹².

In der Perspektive des „empirischen Matrizenpriorismus“ vollzieht sich der Aufbau einer physikalischen Theorie in folgenden Schritten¹³.

- 1) Es wird zuerst gemessen und dann die Theorie nach Maßgabe der Meßdaten in folgender Weise aufgestellt:
 - a) Die Experimente liefern Meßdaten. Die Meßdaten werden in Meßtabellen so eingetragen, daß die Werte der „abhängigen“ Meßgröße m' bei den Werten der zugehörigen „unabhängigen“ Meßgrößen m_1, \dots, m_n aufgeführt werden.
 - b) Durch Interpolation und „Glättung“ wird eine mathematische Funktion gesucht, so daß sich die Meßtabellen berechnen lassen durch eine Gleichung der Form

$$m' = \Psi(m_1, \dots, m_n).$$

- c) Es werden die verschiedenen Ableitungen, Ψ' , Ψ'' usw. der Funktion Ψ gebildet und eine Differentialgleichung der Form

$$\Phi(\Psi, \Psi', \Psi'', \dots, m_1, \dots, m_n) = 0$$

aufgestellt, deren Lösungen die zu verschiedenen Meßtabellen gehörenden Funktionen Ψ sind.

- d) Es werden mathematisch formulierte Prinzipien aufgestellt, aus denen sich die verschiedenen Differentialgleichungen durch mathematische Ableitung und Spezialisierung ergeben.
- 2) Es werden nur Theorien *akzeptiert*, die durch die Meßergebnisse *bestätigt* werden.
- 3) *Falsifizieren* die Meßdaten eine Theorie, so wird sie *verworfen* und durch eine neue Theorie ersetzt, die wieder nach den Schritten 1a) bis 1d) aufzustellen ist.

Mit den Begriffen der Bestätigung (Verifikation) und Falsifikation sind

die beiden Stichworte gefallen, die die Diskussion um das Verhältnis von Theorie und experimenteller Erfahrung beherrschen. Die gängige Standardformel für das Verhältnis von Theorie und Erfahrung besagt, daß die Experimente Meßdaten liefern, die eine Theorie *bestätigen* oder *falsifizieren*. So gängig diese Formel bis zum heutigen Tag auch geblieben ist, so kann sie doch kaum vergessen machen, daß gerade die Konzeptionen der Verifikation oder Falsifikation erfahrungswissenschaftlicher Theorien durch (experimentelle) (Beobachtungs-)Daten mehr oder weniger Schiffbruch erlitten haben: Geht man einmal von der ursprünglichen Konzeption des „Wiener Kreises“¹⁴ aus, wonach eine Theorie nur dann (erfahrungs)wissenschaftlich ist, wenn sie durch Beobachtungen verifiziert werden kann, die in singulären, „empirischen Protokollsätzen“ beschrieben werden, so ist festzuhalten, daß im Verlauf der wissenschaftstheoretischen Diskussion von dieser Auffassung so gut wie nichts mehr übrig geblieben ist. Aufgegeben werden mußten vor allem die beiden folgenden Thesen, die nach dem „linguistic turn“ des modernen, sprachanalytischen Empirismus an die Stelle der Thesen (A) und (B) des neuzeitlichen Empirismus treten:

- (A') Die eigentlichen Erfahrungssätze sind die Beobachtungssätze und Meßprotokolle;
- (B') Die generellen Sätze der Theorie werden nach Maßgabe akzeptierter Beobachtungssätze aufgestellt, dann an weiteren Beobachtungen und Messungen geprüft, so daß die Theorien insgesamt mit den Beobachtungen und Messungen übereinstimmen.

Die wissenschaftstheoretische Kontroverse zwischen Verifikationismus und Falsifikationismus brachte zunächst die These (B') zu Fall. Es ist nämlich ein Ergebnis der Diskussion, das Verhältnis von Theorie und Erfahrung verifikationistisch oder falsifikationistisch zu bestimmen, daß es gar kein unmittelbares Ziel der Forschung sein kann, Theorien nach Maßgabe unabhängiger Beobachtungsdaten aufzustellen. Man kann das u.a. auf folgende Weise begründen: Die in Dinglers Schema unter 1b) genannte Aufgabe, eine mathematische Funktion zu finden, durch die sich eine Meßtabelle berechnen läßt, ist, mathematisch betrachtet, trivialerweise leicht zu erfüllen, denn bei einem bestimmten Forschungsstand verfügt man nur über endlich viele Meßergebnisse, und es gibt immer eine mathematische Funktion, die die endlich vielen Paare korrespondierender Werte für die „abhängige“ Größe und für die „unabhängigen“ Meßgrößen richtig wiedergibt. Aber es gibt sogar unendlich viele Funktionen, mit denen sich die bei einem bestimmten Forschungsstand verfügbaren Meßdaten richtig „approximieren“ lassen. Welche dieser unendlich vielen Funktionen beschreibt die „naturgesetzliche“ Beziehung richtig? Zwar scheiden im Fortgang der Forschung einige mögliche Kandidaten aus, weil sie sich prognostisch nicht bewähren, aber es bleiben auch dann noch unendlich viele Kandidaten für das „wahre Naturgesetz“ übrig. Da sich also das Ziel, die mathematisch formulierte Theorie in Einklang mit den Meßdaten zu halten, stets erfüllen läßt, ohne in der Aus-

wahl des „wahren Naturgesetzes“ dadurch irgendwie nennenswert weiterzukommen, kann die Wahl der mathematisierten theoretischen Darstellung der Meßdaten nicht allein von diesen Meßdaten selber abhängig gemacht werden.

Tatsächlich wählen die Physiker diejenigen Verlaufsfunktionen, die sich nach 1c) als *Lösungen von Differentialgleichungen* ergeben, die ihrerseits nach 1d) des Dinglerschen Schemas aus bestimmten *mathematisch formulierten Prinzipien* hergeleitet werden können. Diese Grundprinzipien jedoch werden ihrerseits, entgegen der Aussage des Schemas, gerade nicht nach Maßgabe von Meßdaten ausgewählt, sondern liegen dem gesamten *Forschungsprozeß als Prinzipien der theoretischen Auswertung von Meßdaten schon zugrunde*. Diesen Sachverhalt hat die moderne Wissenschaftsphilosophie um so weniger ableugnen können, je stärker Verifikationismus und Falsifikationismus gleichermaßen in Schwierigkeiten gerieten. Damit hat die Wissenschaftstheorie zur Kenntnis nehmen müssen, daß im Zentrum naturwissenschaftlicher Theorien Prinzipien stehen, die weder verifiziert noch falsifiziert werden, ja die nach der strukturalistischen Variante der Analytischen Wissenschaftsphilosophie noch nicht einmal mehr als Aussagen aufzufassen sind, sondern als mengentheoretisch definierte mathematische Strukturen.

Es ist bisher kaum bemerkt worden, daß sich die Analytische Wissenschaftsphilosophie damit in bemerkenswerter Weise einer These annähert, die Hugo Dingler gerade aus der Einsicht gewinnt, daß das Experimentieren ein physisch-technisches Handeln ist. Nach Dingler sind nämlich die „Fundamentalgesetze“, die im Zentrum der theoretischen Physik stehen, keine Aussagen, die empirisch wahr oder falsch sind oder die zu verifizieren oder falsifizieren Sinn macht, sondern es sind Prinzipien, die im Verlauf der Forschung durch die von den Experimentatoren hergestellten Laborphänomene immer genauer „realisiert“ werden, wie es bei Dingler heißt. Die „Fundamentalgesetze“ Dinglers haben nun methodologisch sehr ähnliche Eigenschaften wie das, was in der Terminologie der modernen Wissenschaftstheorie der „harte Kern eines Forschungsprogramms“ oder der „Strukturkern einer Theorie“ genannt wird.

Vielelleicht am klarsten hat sich Imre Lakatos zur „Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme“ geäußert¹⁵. Nach Lakatos besteht ein wissenschaftliches Forschungsprogramm aus methodologischen Regeln: „Einige dieser Regeln beschreiben Forschungswege, die man vermeiden soll (*negative Heuristik*), andere geben Wege an, denen man folgen soll (*positive Heuristik*).“¹⁶ „Man kann alle wissenschaftlichen Forschungsprogramme durch ihren ‘harten Kern’ charakterisieren. Die negative Heuristik des Programms verbietet uns, den Modus tollens gegen diesen ‘harten Kern’ zu richten. Stattdessen müssen wir unseren Scharfsinn einsetzen, um ‘Hilfshypothesen’ zu artikulieren, ja selbst zu erfinden, die dann einen Schutzhügel um den Kern bilden. Und wir müssen den Modus tollens auf sie umlenken. Es ist dieser Schutzhügel von Hilfshypothesen, der dem Stoß der Überprü-

fung standhalten, der geordnet und wiedergeordnet, ja sogar völlig ersetzt werden muß, um den so gehärteten Kern zu verteidigen.“¹⁷

Das erste Beispiel, das Lakatos für ein wissenschaftliches Forschungsprogramm nennt, ist die Newtonsche Mechanik, von der er schreibt: „Das klassische Beispiel für ein erfolgreiches Forschungsprogramm, vielleicht das erfolgreichste aller Zeiten, ist Newtons Gravitationstheorie. ... In Newtons Programm verlangt die negative Heuristik, daß wir den Modus tollens von Newtons drei Gesetzen der Dynamik und von seinem Gravitationsgesetz ablenken. Dieser Kern des Programms ist ‘unwiderlegbar’ aufgrund der methodologischen Entscheidungen seiner Protagonisten: Anomalien dürfen nur im ‘Schutzbügel’ von Hilfshypothesen, ‘Beobachtungshypothesen’ und Anfangsbedingungen zu Veränderungen führen“¹⁸.

Wenn Lakatos davon redet, daß vom „harten Kern“ eines wissenschaftlichen Forschungsprogramms der Modus tollens abgelenkt werden müsse, so führt er der Sache nach und mit einer vortrefflichen Formulierung das bei Hugo Dingler „Exhaustion“ genannte Verfahren in die „Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme“ ein. Zudem zeigt sich, wie „raffiniert“ die Abkehr von Poppers ursprünglichem Konzept des Falsifikationismus durch die „Methodologie wissenschaftlicher Forschungsprogramme“ terminologisch verbrämt wird, wenn der Sache nach die Exhaustion als methodologisches Verfahren rehabilitiert wird, von dem sich Popper in der „Logik der Forschung“ noch ausdrücklich mit dem Falsifikationskonzept abzugrenzen versucht hat¹⁹.

Dingler definiert die Exhaustion folgendermaßen: „Unter Exhaustion verstehen wir das Verfahren, fundamentale Begriffe des eindeutigen Systems²⁰ und ihre Folgerungen, d.h. solche Begriffe, welche innerhalb des Systems primär sind gegenüber allen weiteren, in die Wirklichkeit einzuführen. Diese Einführung geschieht geistig, indem die Begriffe und Vorgänge, soweit sie einschlägig, in Ansatz gebracht werden und alles, was durch sie noch nicht gedeckt ist, als überlagerte Erscheinung definiert wird. Manuell geschieht sie, indem die Umstände solange variiert werden, bis die genaue Wirkung eintritt. Dadurch erscheint dieses „Variieren der Umstände“ als ein „Fortschaffen der störenden Umstände“.“²¹

Auf die Formulierung von Lakatos zurückgreifend wollen wir die Exhaustion folgendermaßen definieren: Eine theoretische Aussage T wird exhauiert, wenn aus empirisch widerlegten Implikaten F von T (und möglicherweise weiteren theoretischen Aussagen) trotzdem nicht nach dem Modus tollens auf die Aussage Non-T geschlossen wird, sondern F gerade unter Zugrundelegung von T aus Sätzen über gewisse kausal relevante Störfaktoren hergeleitet wird²².

Sowohl Lakatos als auch Dingler²³ vertreten die These, daß die *Fundamentalgesetze eines Forschungsprogramms exhauiert werden (sollen)*, wenn das Forschungsprogramm angewendet wird auf einen physikalischen Phänomenbereich: Abweichungen zwischen den Fundamentalgesetzen und den

experimentellen Befunden werden durch Störhypothesen „weg“ erklärt. Widersprechen experimentelle Befunde zunächst einem Fundamentalgesetz, so versuchen die Experimentatoren die in dem Exhaustionsargument hypothetisch unterstellten störenden Faktoren durch *Variieren* bis dahin noch nicht berücksichtigter Umstände zu identifizieren und durch ihre *Isolation* oder ihr *Konstanthalten*, also durch den technischen Umbau der apparativen Versuchsanordnung unwirksam zu machen, so daß der im Experiment schließlich herbeigeführte Verlauf immer vollkommener, störungsfreier nach den Fundamentalgesetzen des Forschungsprogramms abläuft. Dem Verfahren der Exhaustion auf der Seite der Theoretiker korrespondiert also auf der Seite der Experimentatoren das „manuelle Geschick“, die Fundamentalgesetze eines Forschungsprogramms immer besser, wie Dingler sagt, zu realisieren.

Die durch die Fundamentalaussagen eines Forschungsprogramms dargestellten Sachverhalte können in der Regel überhaupt nicht in der „unberührten Natur“ beobachtet werden. Es bedarf äußerst umfangreicher technisch-apparativer Vorkehrungen, und die führen meist nicht zu einer vollständigen, sondern nur zu einer angenäherten Realisierung der Fundamentalgesetze eines Forschungsprogramms. Von den Fundamentalgesetzen gilt, daß sie den „Stempel unserer Einwirkung unveräußerlich an sich“ tragen. „Sind sie doch erst durch die von uns geschaffenen Grundformen unserer Apparate aus der fließenden Natur herausisoliert und herausgeschnitten worden. Auch von diesen Gesetzen kann man nicht sagen, daß sie als solche in der unberührten Natur schon in abgesondertem und isoliertem Zustand vorhanden seien und darin säßen.“²⁴

Mit der Kritik am Verifikationismus und Falsifikationismus gerät freilich nicht nur die These (B'), sondern auch die These (A') in Bedrängnis. Quines berühmter Angriff auf das „Dogma“ der Verifikation endet ja u.a. mit der These, daß es „irreführend“ sei, „von dem empirischen Gehalt einer individuellen Aussage zu reden“, denn an jeder Aussage, sei sie nun ein singulärer Beobachtungssatz oder ein generelles theoretisches Gesetz, könne man selbst bei abweichenden empirischen Befunden festhalten, solange man nur bereit sei, dafür andere Aussagen in geeigneter Weise abzuändern²⁵. Schon Wittgenstein hatte diese Einsicht, die er einmal so formulierte: „Jeder Erfahrungssatz kann als Regel dienen, wenn man ihn – wie ein Maschinenteil – feststellt, unbeweglich macht, so daß sich nun alle Darstellung um ihn dreht und er zu einem Teil des Koordinatensystems wird und unabhängig von den Tatsachen.“²⁶ Im Quineschen Holismus büßen die singulären Beobachtungssätze ihre epistemologische Sonderstellung ein, die unabhängigen Tatsachen zu beschreiben, an denen die (generellen) theoretischen Sätze zu überprüfen sind. Singuläre „Beobachtungssätze“ sind nicht mehr die eigentlichen Erfahrungssätze. Welche Sätze aber sind, wenn der Quinesche Holismus richtig ist, dann die eigentlichen Erfahrungssätze, die die empirischen Tatsachen beschreiben?

Kurt Hübner antwortet auf diese Frage mit einem Erfahrungsbegriff, der für ihn die endgültige Abkehr der Wissenschaftstheorie vom Verifikativismus und Falsifikationismus besiegt. Nach Hübner werden die empirischen Tatsachen durch *metatheoretische Wenn-Dann-Aussagen* ausgedrückt. Hübner erläutert diese These so: „Wenn die und die Festsetzungen, Postulate, Theorien (dies alles sind metatheoretische Bezeichnungen), dann die und die Basissätze, Falsifikationen und Verifikationen (und auch dies sind metatheoretische Ausdrücke). Oder anders formuliert: Wenn wir die und die Sätze haben – die nichts über die Natur aussagen –, dann folgen empirisch die und die anderen Sätze – die gleichfalls nichts über die Natur aussagen. Nur in *diesen* metatheoretischen Wenn-Dann-Beziehungen zeigen sich empirische Tatsachen; nicht aber stellt der Inhalt der Sätze der Theorie selber einen empirischen Sachverhalt in irgendwelcher Weise dar: *nicht in der Theorie, sondern erst in der Metatheorie erscheint die Realität.*“²⁷

Von dieser Formulierung Hübners ist es nur noch ein kleiner Schritt, um die konstitutive Rolle des physischen Handelns zu entdecken. Hübner unterläßt es nämlich zu explizieren, in welchem Sinne die Beobachtungs- und Meßdaten aus den theoretischen Grundsätzen eines Forschungsprogramms „empirisch folgen“, wie er sagt. Die Daten folgen ja nicht aus den Grundsätzen wie beim Gewitter der Donner empirisch aus dem Blitz „folgt“. Und es widerfährt den Wissenschaftlern ja nicht passivisch-kontemplativ, daß sie auf bestimmte Beobachtungs- und Meßdaten stoßen, wenn sie zugleich subjektiv an die Wahrheit bestimmter theoretischer Sätze glauben. *In Wirklichkeit ist es das physische Handeln der Experimentatoren, durch das die Verknüpfung der Meßdaten mit den theoretischen Prinzipien des Forschungsprogramms zustandegebracht wird.* Die theoretischen Grundsätze eines Forschungsprogramms lesen die Experimentatoren nämlich als *Handlungsanweisungen*. Indem die Experimentatoren diese Anweisungen befolgen und in die Tat umsetzen, produzieren sie Laborphänomene, und erst indem sie auf diese Laborphänomene die Meßvorschriften des Forschungsprogramms anwenden, erhalten sie überhaupt theorierelevante Beobachtungs- und Meßdaten.

Wie wir an den Überlegungen Hübners sehen können, trennt nur ein kleiner Explikationsschritt die moderne Wissenschaftstheorie von einer Einsicht, die Dinglers ganze Philosophie wie ein roter Faden durchzieht: *Es gibt gar keine theorierelevanten und unverrückbaren empirischen Daten an sich, an denen jede physikalische Theorie zu messen wäre.* Zu jeder Theorie gibt es jeweils andere Phänomene, an denen sie zu messen ist, weil die allmähliche mathematische Ausformulierung einer Theorie und die experimentelle Präparation der Phänomene, die theorierelevante Daten liefern, nur verschiedene Seiten ein und desselben Forschungsprozesses sind.

Würde die Wissenschaftstheorie des Empirismus wirklich das passivisch-kontemplative Erkenntnismodell zugunsten einer „pragmatischen Wende“²⁸

verabschieden, so würden für sie die folgenden beiden Thesen zu Selbstverständlichkeiten:

- (0-1) Experimentelle Erfahrung ist Wissensbildung durch technisch-intervenierendes Handeln. Die Konstituierung des Wissens durch technisches Handeln ist ein erkenntnistheoretisch relevanter Sachverhalt.
- (0-2) Theorierelevante Daten werden erst an experimentellen Versuchsanordnungen gemessen, bei denen im Labor Abweichungen von den Fundamentalgesetzen eines Forschungsprogramms als Störungen nach dem Exhaustionsprinzip hinreichend genau technisch beseitigt sind.

Zu diesen beiden Ausgangsthesen gesellen sich zwei weitere Thesen, für die sich ebenfalls wichtige Argumente bereits in den Schriften Hugo Dinglers finden lassen. Nichts belegt für Dingler deutlicher die Verfehltheit der vorherrschenden Analysen des Experiments, die an der Formel Experiment = theoriegeleitete Beobachtung orientiert sind, als deren mangelndes Verständnis für den Status und die Rolle von Experimentierapparaturen und Meßinstrumenten. Wo experimentelle Messung und Beobachtung nichts anderes sein sollen als raffiniertere Formen der Beobachtung, ist es nur konsequent, in den Experimentierapparaturen und Meßinstrumenten lediglich Verlängerungen und Erweiterungen unserer natürlichen Sinnesorgane zu sehen, die ausschließlich dazu dienen, daß der Beobachtung auch noch zugänglich zu machen, was, obwohl „objektiv vorhanden“, mit dem „bloßen Auge“ nicht mehr wahrgenommen werden kann. In dieser naturalistischen Sicht wird dann vor allem betont, daß die Apparaturen der Experimentatoren, ganz wie die natürlichen Sinnesorgane, den „Naturgesetzen“ unterliegen, die mit Hilfe dieser Apparate allererst erforscht werden sollen.

Für Dingler hingegen ist in erster Linie die unbestreitbare Tatsache, daß die wissenschaftlichen Apparate *technische Artefakte* sind, erkenntnis- und wissenschaftstheoretisch relevant und nicht der Umstand, daß die Apparate nach Naturgesetzen funktionieren. Einschlägig nämlich ist die Unterscheidung zwischen *ungestörten* und *gestörten* Apparaten, eine Unterscheidung, die deshalb nicht anhand der „Naturgesetze“ getroffen werden kann, weil gestörte ebenso wie ungestörte Apparate „Naturgesetzen“ unterworfen sind. Eine wissenschaftstheoretische Analyse der Apparate ist keine naturalistische, sondern eine *teleologische* Untersuchung, nämlich auf die Zwecke bezogen, die bei der Herstellung der Apparate verfolgt werden. Diese Zwecke sind methodologische Zwecksetzungen, die sich letztlich aus den Zielen physikalischer Wissensbildung herleiten. Und nur relativ zu den Zwecken der Apparate lassen sich überhaupt gestörte von ungestörten Apparaten unterscheiden. Anhand ungestörter Apparate kann ein Wissen von den „Natur-

gesetzen“ gebildet werden, so daß erkenntnistheoretisch betrachtet ein zuverlässiges Wissen über die „Naturgesetze“ methodisch ein normativ-methodologisches Wissen über die Apparate und Meßinstrumente voraussetzt²⁹. Das führt uns auf eine dritte These:

- (0-3) Experimentelle Erfahrung ist ein an Apparaten gewonnenes Wissen über Naturverläufe. Eine normativ-methodologische Analyse der Zwecksetzungen, nach denen die Apparate hergestellt werden, muß Teil einer erkenntnikritischen Analyse der Geltungsbedingungen und Reichweite physikalischer Theorien sein.

Die Physik gilt als experimentelle Naturwissenschaft. Aber wenn experimentelle Erfahrung ein über technisches Handeln an Apparaten gewonnenes Wissen ist, so bleibt davon der Naturbegriff nicht unberührt. „Technik, die die Umformung der Natur zu etwas ist, das zwar noch nicht existiert, aber möglich ist, fällt direkt unter den Begriff der Natur selbst, wenn Natur nicht lediglich das ist, was objektiv gegeben ist, sondern auch das, was objektiv sein kann. Das Ziel der Naturerkenntnis ist daher nicht das Auffinden von Tatsachen..., sondern die Konstruktion von Tatsachen nach Regeln, die den Bereich des Möglichen abstecken. Regeln beziehen sich nicht auf Tatsachen, sondern auf mögliche Zustände. Sie sind ursprünglich – als Handwerksregeln – Herstellungsweisen ... Die Wissenschaft der Natur geht ... über den „Bereich des von Natur Möglichen“.“³⁰ Experimentelle Erfahrung ist also nicht Beobachtung des in der Natur schon von sich aus Vorhandenen, sondern ist die handelnd *gemachte* Erfahrung der Veränderbarkeit des Natürlichen. Natur wird in der experimentellen Erfahrung vor allem als unüberschreitbare Grenze technischer Manipulation sichtbar. In diesem Sinne sind vielleicht Möglichkeits- bzw. Unmöglichkeitsbehauptungen die eigentlichen Naturgesetze, die experimentelle Erfahrung zutage fördert, also Sätze vom Typus der thermodynamischen Hauptsätze („Es ist unmöglich, ein perpetuum mobile erster und zweiter Art zu bauen“). Damit sind wir bei der These:

- (0-4) Experimentelle Erfahrung der Natur zielt auf ihre technische Beherrschung und Veränderbarkeit. „Natur“ im Sinne des unverrückbar „Gegebenen“ wird erst als unüberschreitbare Grenze, die jeder technischen Veränderung gesetzt ist, sichtbar.

Alle vier Thesen über die experimentelle Erfahrung verdanken sich ganz wesentlich den Analysen Hugo Dinglers zum Experiment. Aber Dingler will mit seiner Analyse eine viel weitreichendere These beweisen. Dingler behauptet nämlich, daß in der klassischen Mechanik Newtons unter Einschluß des klassischen Gravitationsgesetzes die unverzichtbaren Prinzipien des Experimentierens auf ihren theoretischen Begriff gebracht sind. Für Dingler ist die klassische Mechanik Newtons ein unverzichtbares Apriori jeder messen-

den und experimentierenden Physik. Nur die Mechanik Newtons ist nach Dingler „vollbegründet“, nur sie darf nach seiner Meinung den Titel einer strengen und exakten Wissenschaft beanspruchen. Ein physikalisches Phänomen ist nicht eher exakt-wissenschaftlich erklärt, so Dingler, als bis es beschrieben werden kann als die Wirkung von bewegten Partikeln, deren Bahnen aus superponierten Newtonschen Kräften hergeleitet werden, wobei als Grundkräfte nur die klassische Gravitationskraft und der bei Dingler daraus hergeleitete klassische Stoß zugelassen sind³¹.

Diese kompromißlos strenge Physikbegründung hat entsprechend einschneidende Folgen. Die Spezielle und die Allgemeine Relativitätstheorie werden von Dingler gänzlich verworfen. Der „Relativismus“ in der Physik ist für Dingler gleichbedeutend mit dem „Zusammenbruch der Wissenschaft“. An der Relativitätstheorie prangert Dingler die Symptome eines allgemeinen Zeitgeistes an, der längst die Idee der exakten Naturforschung verabschiedet habe³². Die Quantenphysik wird von Dingler zwar an der „Forschungsfront“ der Physik als nützlicher Formalismus vorläufig geduldet, aber er verlangt, daß die Quantenphysik dereinst einmal einer Mikrophysik Platz machen müsse, die sich ausschließlich Newtonscher mechanischer Modelle bedient³³.

In diesen radikalen Thesen Dinglers zur modernen Physik mag auch der Grund liegen, warum seiner Philosophie des Experiments ein nachhaltigerer Einfluß auf die Wissenschaftsphilosophie versagt geblieben ist. Für die Physiker und Wissenschaftstheoretiker der Physik bleibt als letztes Ergebnis der Dinglerschen Physikrekonstruktion nur, daß die „revolutionärsten Errungenschaften“ der modernen Physik, Relativitätstheorie und Quantenphysik, den Prinzipien einer „methodischen Physikphilosophie“ geopfert werden sollen. Das jedoch scheint allein die Dinglersche Physiktheorie, nicht aber die Physik selber zu diskreditieren. Und es entsteht der Eindruck, als ob die rasante Entwicklung der modernen Physik Dinglers „methodische Philosophie“ längst hat zum Anachronismus werden lassen.

Weil viele Einzelresultate in Dinglers Werk für die meisten Physiker und Wissenschaftstheoretiker durchaus zu Recht nicht akzeptabel sind, werden leider auch die Fragestellungen Dinglers nicht mehr weiter verfolgt. In dieser Arbeit möchte ich dagegen den Versuch machen, Dinglers Fragestellungen nach dem „Wesen des Experiments“ und der Rolle, die das Experiment für die Begriffs- und Theoriebildung spielt, erneut aufzugreifen, ohne mich seinen Auffassungen über die Relativitätstheorie und Quantenmechanik anzuschließen. Es soll also untersucht werden, inwiefern spezifische Strategien der physikalischen Begriffsbildung und des methodischen Aufbaus mathematisierter physikalischer Theorien aus den Charakteristika experimenteller Erfahrung methodologisch hergeleitet³⁴ werden können, die in dieser Einleitung thesenartig skizziert worden sind.

PERSONENREGISTER

- Bacon 33, 133
Balzer 153, 155, 158
Baumgartner 156, 157
Bayertz 153, 156
Bergmann 159, 150, 153
Black 148, 153
Böhme 137, 140, 153, 155, 156, 157
Braun 133, 140, 153, 155
Breger 147, 153

Carnap 49, 50, 141, 145, 153
Carnot 79

van den Daele 137, 140, 143, 153, 156
Danto 138, 153
Diederich 141, 153
Dijksterhuis 133, 153
Dingler 1, 2, 4, 5, 6, 8–13, 31, 33, 35,
 37, 38, 41, 64, 90, 91, 93, 128, 130,
 133–137, 139, 140, 145, 148, 149,
 151, 153, 154
Drieschner 88, 148, 154
Duhem 1, 2, 87, 88, 133, 134, 148, 154

Edwards 133
Einstein 103, 105–108, 119–121, 123,
 124, 127, 128, 132, 150, 151
Elkana 147, 154

Feyerabend 47, 141, 154
Fölsing 139, 154
Fraunberger 149, 154
Freudenthal 148, 154

Gähde 146, 154
Galilei 31, 139, 146
Gerland 140, 147, 149, 154
Gombrecht 153
Goodfield 143, 159
Gründer 133

Hamilton 78
Helmholtz 75, 77, 143, 144, 154
Hempel 142, 154
Hesse 148, 154
Holton 105, 150, 154

Hoyer 150, 154
Hübner 10, 136, 143, 155
Hund 147, 155
Huning 140, 155
Huygens 77, 102, 146

Inhetveen 35, 117, 128, 135, 140, 148,
 150, 151, 155

Jammer 147, 148
Janich 128, 137, 138, 140, 145, 149,
 150, 155, 159
Joule 78, 81

Kambartel 138, 141, 142, 148, 151, 155
Kamlah, A. 153, 155, 158
Kamlah, W. 137, 138, 140, 155
Kanitscheider 150, 155
Kant 2–4, 34, 36, 133
Kirchhoff 26
Kötter 148
Krafft 133, 156
Kraft 134, 156
Krampf 156, 157
Krantz 145, 156
Kraus 156
Krings 156, 157
Krohn 133, 137, 140, 143, 153, 156
Kuhn 52, 56, 75, 76, 78, 99, 147, 148,
 156
Kuypers 144, 156

Lakatos 7, 8, 48, 134–136, 141, 142, 156
Lavoisier 78
Liebig 78
Lorentz 150, 156
Lorenz 154, 156, 157
Lorenzen 124, 128, 131, 137, 138, 140,
 145, 147, 150, 151, 155–157
Losee 20, 139, 157
Luce 145, 156

Mach 133, 144, 147, 157
May 135, 149
Mayer 75, 77, 79–81, 143, 148, 157
Mill 20–22, 139, 157

- Minkowski 150, 156
 Mittelstaedt 147, 150, 157
 Mittelstraß 133, 138, 154, 155, 157, 159
 Möller 157
 Musgrave 156
 Newton 12, 13, 50, 52, 63, 71, 130, 132
 Noether 144
 Nyman 125, 157
 Oppenheim 142
 Pässler 144, 157
 Pfarr 156, 157
 Pohl 133
 Poincaré 127
 Popper 8, 134, 157
 Putnam 51, 53
 Quine 9, 136, 157
 Radermacher 133, 140, 153, 155
 Ramsauer 140, 157
 Ramsey 53, 56
 Reuleaux 41, 140, 157
 Riedel 155, 157, 159
 Ritter 133
 Schäfer, C. 139, 150, 153
 Schäfer, L. 134, 145, 157, 158
 Scheler 139, 158
 Schleichert 134, 158
 Schlick 151
 Schmidt, H. 150, 158
 Schmutzler 144, 158
 Schwemmer 147, 155, 156, 158
 Sexl 150, 158
 Sneed 49, 51–53, 142, 146, 158
 Speck 133, 158
 Stegmüller 17, 49, 51, 52, 53, 136, 137,
 138, 141, 142, 145, 146, 158
 Stiegler 150, 158
 Ströker 135, 158
 Suppes 145, 156, 158
 Teichmann 149, 154
 Tetens 137–139, 145, 146, 149, 150,
 155, 158, 159
 Thiel 155, 159
 Thüring 29, 90, 139, 145, 148, 149, 159
 Toulmin 143, 159
 Toumela 17, 138
 Traumüller 140, 147, 149, 154
 Tugendhat 150, 159
 Tversky 145, 156
 Urbantke 158
 Weinberg 150, 159
 Westphal 147, 159
 Weyl 147
 Wild 156, 157
 Wittgenstein 9, 136, 159
 Wohlrapp 149, 159
 Wolf 150, 159
 v. Wright 17–19, 22, 26, 27, 59, 137–
 139, 159

SACHREGISTER

- d'Alembertsches Prinzip 73
- Aquivalenzprinzip 120
- Analogie 84
- Apparat/Apparatur 9, 11, 12, 15–17, 28, 29, 37–41, 87
 - Apparateherstellung 16, 37, 131 (siehe auch Meßgerät)
- Bahnfunktion 63
- Beobachtung 2, 11, 12, 17, 22, 30
 - Beobachtungsdatum 6, 10
 - Beobachtungsgröße 49, 50, 63
 - Beobachtungssatz 6, 9, 10, 50
- Bestätigung 5, 6, 9, 10
- Bewegung 32–36, 41, 63
 - Bewegungsgleichung 66
- Bewährung 47, 48, 142
- Coulombsches Gesetz 89
- Differentialgleichung 5, 7, 28
- Dynamik 64
- elektrische Feldstärke 94
- Energie
 - Energieerhaltungssatz 78–81
 - kinetische 77
 - potentielle 78
- Erfahrung
 - Erfahrungstatsache 10, 55–56
 - experimentelle Erfahrung (Empirie) 4, 5, 11–13, 54–56
 - experimenteller Erfahrungssatz 54–56
- Erhaltungssatz 56–59, 144
 - Energieerhaltungssatz 75–81
 - Impulserhaltungssatz 70
- Erkenntnis
 - passivisch-kontemplatives Modell der Erkenntnis 2, 4, 10, 22
- Erklärung 54
- Exhaustion 8, 9, 11, 48, 135, 136
- Experiment 16
 - Anfangsbedingung eines Experiments 3, 8, 19–25, 27, 28, 41, 43
 - Experimentalgesetz 22
- experimentelle Begründigung 29, 31–32
- experimentelles Design 86
- experimentelle Tatsache 55–56
- Experimentierapparatur (siehe Apparat)
- Experimentieraum 38, 126
- Rahmenbedingungen eines Experiments 23, 30–32, 38
- experimentelle Invariante 24, 25, 28, 43, 45, 47, 48, 53
- Falsifikation 5, 6, 10, 52
- Falsifikationismus 6, 8–10
- Formprinzip 129, 151
- Forschungsprogramm 7–8, 10, 11, 43–48, 54, 58–59
 - Anwendungsregel eines Forschungsprogramms 46–47
 - Exhaustionsregel eines Forschungsprogramms 48
 - Forschungsprogramm der klassischen Mechanik 65–68
 - Forschungsprogramm der klassischen Physik 96–97
 - Fundamentalgesetz eines Forschungsprogramms 8, 9, 11, 47, 52
 - Grundgleichung eines Forschungsprogramms 48
 - Prinzip der Wirkungsüberlagerung 45
- Forschungsstand 55
- Geometrie 128
 - euklidische Geometrie 128f.
 - geometrische Formung 31, 40, 131
 - Geometrisierung 39, 131
 - nicht-euklidische Geometrie 129
 - technische Geometrie 130
- Geschwindigkeit
 - klassisches Additionstheorem der Geschwindigkeit 109 ff.
 - Gesetz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit 112f.
- Gesetz/Gesetzesaussage 9
 - Experimentalgesetz 22
 - Naturgesetz 6, 7, 11f., 37

- Verlaufsgesetz 23–25, 53
(siehe auch Verlaufsgesetz)
- Gleichung 5, 6
 - darstellende Gleichung einer Versuchsklasse 45, 47, 48, 53
- Gleichzeitigkeit
 - Gleichzeitigkeit an verschiedenen Orten 108, 109 f.
 - Relativität der Gleichzeitigkeit 109, 111
- Gravitationsgesetz 89, 118
- Größe
 - Beobachtungsgröße 49, 50, 63
 - Meßgröße 22–26, 28, 62
 - theoretische Größe 25, 46–53
- Handlung 15–17, 19, 22, 27
 - direkte (unmittelbare) Wirkung einer Handlung 18
 - Ergebnis einer Handlung 18, 19
 - experimentelles Handeln 4
 - Folge einer Handlung 18, 19
 - physisch-technisches Handeln 2, 3, 10, 15, 17, 18, 22, 32, 33, 36
- Homogenität 39, 40
- Impuls
 - Impulserhaltung 70, 104
 - klassischer Impuls 104
 - relativistischer Impuls 105
- Inertialsystem 149
- Invarianz 100
 - Galilei-Invarianz 106
 - Lorentz-Invarianz 106
- Isomorphie 82
- Isolation/Isolierung 9, 29–31, 38
- Kausalität 3, 17, 29, 58
 - experimentalistische Kausalität 16–19, 20–22, 25–29, 87
 - kausal relevanter Faktor (Umstand) 19, 23, 27–29, 46–48
- Kinematik 64
- klassische Elektrodynamik 88ff.
- Konstanthalten von Rahmen- und Anfangsbedingungen eines Experiments 4, 9, 23, 43, 47
- Kraft/Kraftfunktion 65
- Labor/Laborphänomen 4, 10, 29, 32, 54, 71
- Ladung 93f.
- Leib 32–33, 36
- Lorentzkraft 89
- magnetische Flußdichte 92f.
- Masse
 - träge Masse 65
 - schwere Masse 117f.
- Maxwellsche Gleichungen 88f.
- Mechanik 64
 - Analytische Mechanik 71–75
(siehe auch Forschungsprogramm)
- Messung 4, 5, 62f.
 - Meßapparatur(-gerät, -instrument) 4, 11, 12
 - Meßdatum 4, 6, 7, 10
- Metatheorie 10, 55
- Methode
 - Prinzip der methodisch-pragmatischen Ordnung 99, 149
- Methodologie 11–13
 - methodologische Regel 7
 - metrische Koeffizienten 122
 - Michelson-Morley-Versuch 112
 - Modell 82f.
- Natur 9, 10, 15, 17, 29, 30, 31, 54
 - Naturgesetz 6, 7, 11f., 37
- Nebenbedingung 71
- physikalisches System 17, 57, 141
 - Abgeschlossenheit eines physikalischen Systems 58
- Präparation der experimentellen Phänomene 4, 10, 16, 19
- Prognose 1, 25, 28, 44, 45, 47
- Quantifizierung 1, 23, 28, 29, 46, 61–63
 - indirekte Quantifizierung 63, 82–88
- Quasiordnung 61
- Raum 33–36, 55
 - absoluter Raum 124
 - astrophysikalischer Raum 35, 126
 - Experimentierraum 35, 126
 - mikrophysikalischer Raum 35
 - räumlicher Sachverhalt 34
 - Raum-Zeit-Koordinaten 126
- Relativitätsprinzip
 - Allgemeines Relativitätsprinzip 121
 - Spezielles Relativitätsprinzip 100f.
- Relativitätstheorie
 - dynamische Interpretation der Speziellen Relativitätstheorie 115f.

- kinematische Interpretation der Speziellen Relativitätstheorie 111, 115
- Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie 123
- Reproduktion (eines Experiments) 1, 30, 43
- Revision
 - Revision der klassischen Dynamik 103 f.
 - Revision der klassischen Kinematik 107
- Ruhmasse 104
- Simulation von Naturphänomenen 1, 54
- Störung (Störfaktor 8, 11, 48
- Stoß 69, 70
- Tatsache 1, 9, 10, 55f.
- Technik 12, 142, 143
- technologisches Syntheseprinzip 44
- theoretisches Objekt 88
- Theorie
 - empirischer Gehalt einer physikalischen Theorie 56
 - physikalische Theorie 4–6, 9, 12, 52, 54, 55
 - theorie relevante Daten (Phänomene, Versuche) 10, 11, 54, 55
- Transformation
 - Galilei-Transformation 106
 - Lorentz-Transformation 106
- T-Theoretizität 52f.
- Ursache 16, 19–22, 25, 26, 29, 58
(siehe auch Kausalität)
- Variation von Experimentierbedingungen 3, 8, 9, 19–25, 41, 43
- Verifikation (siehe Bestätigung)
- Verifikationismus 6, 9, 10
- Verlauf 15, 16, 18, 19, 27–31, 38
 - differentielles Verlaufsgesetz 27–29
 - Verlaufsfunktion 27–28
 - Verlaufsgesetz 23–25, 53
 - Wertverlauf einer Größe 23, 27
- Versuchsanordnung 9, 11, 16, 19, 22, 27, 30, 31
- Versuchsklasse 23–25, 43, 45–47
- virtuelle Verrückung 73
- Waage 69
- Wiederholung (siehe Reproduktion)
- Wirkung 16, 18–22, 25, 26, 58
(siehe auch Handlung bzw. Kausalität)
- Prinzip der Wirkungsüberlagerung 45
- Wirkraum 28, 37, 41
- wissenschaftliche Revolution 99
- Zeit 36
 - zeitlicher Sachverhalt 36
- Zwangskraft 72